



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

**Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo**

**THIAGO PADILHA DA SILVA**

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Reatores**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Miguel Mattar Neto**

**São Paulo**

**2022**

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

**Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator  
nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo**

**Versão corrigida**

**Versão Original disponível no IPEN**

**THIAGO PADILHA DA SILVA**

Dissertação apresentada como parte  
dos requisitos para obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências na Área de  
Tecnologia Nuclear - Reatores

Orientador:

Prof. Dr. Miguel Mattar Neto

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

DA SILVA, T. P. **Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo**. 2022. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/>> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

da Silva, Thiago Padilha

Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo / Thiago Padilha da Silva; orientador Miguel Mattar Neto. -- São Paulo, 2022.  
167 f.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Reatores) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2022.

1. Análise probabilística de segurança. 2. perigo externo.  
3. processo de seleção . I. Mattar Neto, Miguel , orient. II. Título.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Autor: Thiago Padilha da Silva

Título: Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: 09/08/2022

### **Banca Examinadora**

Prof. Dr.: Miguel Mattar Neto

Julgamento: aprovado

Instituição: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

Prof. Dr.: Andressa dos Santos Nicolau

Julgamento: aprovado

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr.: Cláudia Pereira Bezerra Lima

Julgamento: aprovado

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

## **AGRADECIMENTOS**

A todos da minha família que sempre acreditaram e me apoiaram independente das dificuldades.

Ao meu orientador, Dr. Miguel Mattar Neto, pelo incentivo na busca incansável desse sonho.

À Dra. Patrícia da Silva Pagetti, pelo compartilhamento do conhecimento técnico da área de Análise Probabilística de Segurança e pela disponibilidade em todos os momentos ao longe dessa caminhada.

Ao Dr. Marcos Maturana, um exemplo de profissional e tutor ao longo dos anos em que trabalhamos juntos.

Aos amigos Vitor, Roberto e Gil da nossa querida seção de APS pelo apoio com o intuito de transformar esta dissertação na melhor possível.

E a todos que, de alguma forma, me apoiaram para a conclusão deste trabalho.

“Se eu fui capaz de ver mais longe é porque estava de pé nos ombros de gigantes”. (Isaac Newton)

## RESUMO

Da Silva, Thiago P. **Análise probabilística de segurança de eventos externos para um reator nuclear em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo**. 2022. 167 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

Este trabalho apresenta uma metodologia para a implantação de uma análise probabilística de segurança (APS) de nível 1 para eventos externos. Além disso, tem como objetivo aplicar esta metodologia à análise de um reator nuclear em fase de projeto, localizado no interior do Estado de São Paulo. Dentre as motivações deste trabalho, é necessário destacar a busca por uma abordagem abrangente e estruturada para identificar perigos externos únicos e combinados e selecionar possíveis cenários acidentais decorrentes de eventos iniciadores gerados por estes perigos. O processo de revisão bibliográfica e normativa possibilitou a formulação de uma metodologia alinhada às principais referências elaboradas pela IAEA, U.S.NRC, EPRI, entre outras organizações internacionais. Consequentemente, a metodologia foi delineada de forma a ser desenvolvida por meio de etapas consecutivas, considerando sua aplicação gradativa no que diz respeito à APS de eventos externos ao longo da vida útil do reator. O estudo de caso permitiu demonstrar a aplicação da metodologia até a etapa de seleção de perigos externos únicos. Assim, a aplicação para um reator nuclear experimental em fase de projeto é apresentada, demonstrando que é possível reduzir, de forma justificada e rastreável, o número de perigos externos a serem considerados nas etapas posteriores da APS de eventos externos.

Palavras-chave: Análise probabilística de segurança, perigo externo, evento externo, processo de seleção e reator nuclear.

## ABSTRACT

Da Silva, Thiago P. **External Event Probabilistic Assessment for a nuclear reactor in design phase to be located in the interior of the State of São Paulo**. 2022. 167 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

This work presents a methodology for the implementation of a level 1 probabilistic safety analysis (PSA) for external events. In addition, it aims to apply the proposed methodology to the analysis of a nuclear reactor that is in the design phase and will be constructed in the interior of the State of São Paulo. Among the motivations of this work, it is necessary to highlight the search for a comprehensive and structured approach to identify single and combined hazards and select possible accidental scenarios arising from initiating events generated by these hazards. The bibliographic and normative review process contributed for the consolidation of a methodology aligned with the main references published by the IAEA, U.S.NRC, EPRI, among other international organizations. Therefore, the methodology consists of consecutive stages, which shall gradually be applied to the External Events PSA development throughout reactor lifetime. The case study demonstrated the application of the first three stages of the methodology, including the selection of single external hazards by means of a screening analysis. Thus, the methodology application for an experimental nuclear reactor in its design phase was presented, demonstrating that the number of external hazards to be considered in the External Events PSA can be reduced in a traceable and justifiable way.

Key words: Probabilistic Safety Assessment; external hazard; external event; screening analysis; nuclear reactor.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução do escopo da APS de Eventos Externos ao longo da vida útil da instalação	22
Tabela 2 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o SKI Report 02:27 (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)	54
Tabela 3 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o IAEA-TECDOC-1804 (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)	55
Tabela 4 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo a norma ASME/ANS-Ra-Sb-2013 (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013)	57
Tabela 5 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o EPRI Technical Report 3002005287 (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)	58
Tabela 6 - Conjunto de Critérios de Seleção para Perigos Externos	62
Tabela 7 - Prédios e Estruturas Relevantes para a APS de Eventos Externos	75
Tabela 8 – Características de Projeto do Prédio da Contenção do Reator	76
Tabela 9 - Características de Projeto do Prédio da Turbina e Geração de Energia	77
Tabela 10 - Características de Projeto do Prédio de Alimentação de Água de Resfriamento de Segurança	78
Tabela 11 – Características de Projeto da Subestação Elétrica Principal A	79
Tabela 12 – Características de Projeto da Subestação Elétrica Auxiliar B	80
Tabela 13 – Potenciais Perigos Externos para o reator nuclear experimental em estudo	83
Tabela 14 – Correlação entre Perigos Externos e Efeitos Adversos na Instalação	88
Tabela 15 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-01 Ventos Fortes (vendaval)	92
Tabela 16 - Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-02 Tornado/Furacão	94
Tabela 17 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-03 Alta Temperatura do Ar	96
Tabela 18 - Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-04 Baixa Temperatura do Ar	97
Tabela 19 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-05 Pressão de Ar Extrema	98
Tabela 20 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-01 Explosão em Área Interna a Planta	99
Tabela 21 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-02 Explosão externa a planta	101
Tabela 22 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-03 Explosão após acidente de transporte	103
Tabela 23 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-04 Explosão após acidente em tubulações	104
Tabela 24 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-06 Chuva Extrema	105
Tabela 25 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-07 Neve Extrema	107
Tabela 26 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-08 Granizo extremo	108
Tabela 27 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-09 Névoa	109
Tabela 28 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-10 Geada	110
Tabela 29 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-11 Aridez / Seca	111
Tabela 30 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-12 Tempestade de Sal	112
Tabela 31 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-13 Tempestade de Areia	113
Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-05 Liberação química interna/externamente a planta	114

Tabela 33 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-06 Liberação química após acidente de transporte	116
Tabela 34 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-07 Liberação química após acidente em tubulações	117
Tabela 35 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-14 Raios / Relâmpagos	118
Tabela 36 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-08 Distúrbios eletromagnéticos	120
Tabela 37 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-09 Impulso Eletromagnético	121
Tabela 38 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-15 Meteorito	122
Tabela 39 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-10 Queda de satélite ou afim	123
Tabela 40 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-11 Queda de Aeronave	124
Tabela 41 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-01 Terremoto	126
Tabela 42 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-01 Impacto mediante a guerra/conflito	127
Tabela 43 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-02 Land Rise	128
Tabela 44 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-03 Congelamento de Solo	129
Tabela 45 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-04 Animais	130
Tabela 46 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-02 Trabalhos de Escavação	131
Tabela 47 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-05 Fenômeno Vulcânico	132
Tabela 48 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-06 Avalanche	133
Tabela 49 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-07 Deslizamento de terra acima do nível da água	134
Tabela 50 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-03 Transporte pesado dentro do sítio	135
Tabela 51 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-04 Misseis gerados por atividade militar	136
Tabela 52 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-05 Misseis gerados por outra instalação do sítio	137
Tabela 53 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-08 Incêndio Externo	138
Tabela 54 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-06 Incêndio alastrado de outra instalação	140
Tabela 55 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-08 Incêndio Florestal	141
Tabela 56 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-07 Contaminação química	142
Tabela 57 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-01 Forte corrente de água (Erosão de água no solo)	143
Tabela 58 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-02 Baixo nível de água na fonte fria	144
Tabela 59 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-03 Tsunami	145
Tabela 60 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-04 Alto nível de água da fonte fria	146
Tabela 61 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-05 Alta Temperatura de água da fonte fria	147
Tabela 62 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-06 Baixa temperatura de água da fonte fria	148

Tabela 63 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-07 Deslizamento de terra por água subterrânea	149
Tabela 64 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-08 Superfície de Gelo	150
Tabela 65 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-09 Gelo Frazil	151
Tabela 66 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-10 Barreiras de Gelo	152
Tabela 67 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-11 Material Orgânico na água	153
Tabela 68 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-12 Corrosão proveniente de água salgada	154
Tabela 69 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-01 Sólidos ou fluidos (não gasosos) por liberação de navios	155
Tabela 70 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-02 Liberação química para água	156
Tabela 71 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-03 Colisão de Navios	157
Tabela 72 – Resumo do Processo de Seleção Qualitativa de Perigos Externos Únicos	158

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escopo da APS e progressão de análises - adaptado de (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015b)	21
Figura 2 – Localização das fontes de perigos externos (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)	49
Figura 3 – Categorização dos Perigos Externos	50
Figura 4 – Ilustração simplificada dos principais pontos de impacto de perigos externos (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)	51
Figura 5 - Local do Sítio do reator nuclear experimental do tipo PWR - Sorocaba-SP	74
Figura 6 - Aplicação dos critérios de seleção (G-1 a G-8)	158

## LISTA DE ABREVIATURAS

AESJ	<i>Atomic Energy Society of Japan</i>
AgNSNQ	Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade
ANS	<i>American Nuclear Society</i>
APS	Análise Probabilística de Segurança
ASAMPSA_E	<i>Advanced Safety Assessment Methodologies: extended PSA</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
CCDF	<i>Conditional Core Damage Frequency</i> – Frequência Condicional de Dano ao Núcleo
CDF	<i>Core Damage Frequency</i> – Frequência de Dano ao Núcleo
CINA	Centro Industrial Nuclear de Aramar
CLERF	<i>Conditional Large Early Release Frequency</i> - Frequência Condicional de Liberação Prematura de Radioatividade
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNSC	<i>Canadian Nuclear Safety Commission</i>
EdF	<i>Électricité de France</i>
ENSI	<i>Swiss Federal Safety Inspectorate</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ESC	Estrutura, Sistema e Componente
EURATOM	<i>European Atomic Energy Community</i>
FDF	<i>Fuel Damage Frequency</i> – Frequência de Dano ao Combustível
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INL	<i>Idaho National Laboratory</i>
IRSN	<i>Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire</i>
LABGENE	Laboratório de Geração Nucleoelétrica
LERF	<i>Large Early Release Frequency</i> - Frequência de Liberação Prematura de Radiatividade
NPP	<i>Nuclear Power Plant</i>
NPSAG	<i>Nordic PSA Group</i>
NRMCC	<i>Nuclear Risk Management Coordinating Committee</i>
OECD	<i>Organization for Economic Co-Operation and Development</i>
PSAM	<i>Probabilistic Safety Assessment and Management</i>
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i>

RAS	Relatório de Análise de Segurança
RFAS	Relatório Final de Análise de Segurança
RMB	Reator Multipropósito Brasileiro
RPAS	Relatório Preliminar de Análise de Segurança
SKI	<i>Swedish Nuclear Inspectorate</i>
SRP	<i>Standard Review Plan</i>
SSG	<i>Specific Safety Guide</i>
TMI	<i>Three Mile Island</i>
U.S. NRC	<i>United States Nuclear Regulatory Commission</i>
WENRA	<i>Western European Nuclear Regulator's Association</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Visão Geral da Análise Probabilística de Segurança para Eventos Externos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Implicações do acidente de Fukushima Daiichi para o desenvolvimento da APS de Instalações Nucleares</b> .....	<b>25</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>28</b>
<b>4 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE EVENTOS EXTERNOS</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1 Etapa 1 - Planejamento e compilação de informações iniciais</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2 Etapa 2 - Identificação de Potenciais Perigos Externos</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3 Etapa 3 - Processo de Seleção de Perigos Externos – Únicos e Combinados</b> .....	<b>52</b>
<b>4.4 Etapa 4 – Análise da Resposta da Planta</b> .....	<b>69</b>
<b>4.5 Etapa 5 – Modelagem Probabilística e Quantificação</b> .....	<b>70</b>
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>72</b>
<b>5.1 – Etapa 1 – Planejamento e compilação de informações iniciais</b> .....	<b>72</b>
<b>5.2 – Etapa 2 – Identificação de Potenciais Perigos Externos Únicos e Combinados</b> .....	<b>81</b>
<b>5.3 – Etapa 3 – Processo de Seleção de Perigos Externos Únicos e Combinados</b> .....	<b>90</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>164</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Visão Geral da Análise Probabilística de Segurança para Eventos Externos

Para que um reator nuclear seja projetado e possa operar com riscos radiológicos tão baixos quanto razoavelmente exequível, é importante que estes riscos sejam avaliados previamente e reavaliados periodicamente ao longo da vida da instalação. Deste modo, uma análise de segurança englobando o projeto e a operação do reator deve ser conduzida, na qual métodos determinísticos e probabilísticos podem ser usados. Esta análise de segurança consiste, basicamente, de avaliações quantitativas das diversas ameaças à segurança que podem ocorrer ao longo da vida útil do reator nuclear, quer seja durante os estados operacionais normais ou em condições anormais e acidentais. A partir desta análise, pode-se consolidar a base de projeto para itens importantes para a segurança assim como aprimorar procedimentos operacionais, procedimentos de emergência e diretrizes para gerenciamento de acidentes. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Conforme a subdivisão estabelecida entre métodos determinísticos e probabilísticos, a Análise Probabilística de Segurança (APS) se destaca por usar uma abordagem abrangente e estruturada para a identificação de perigos e avaliação dos possíveis cenários de acidentes decorrentes de eventos iniciadores e constitui todo um ferramental conceitual e matemático para que o risco associado à operação de um reator nuclear seja estimado numericamente em diversas fases da vida da instalação. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

O primeiro documento a apresentar o desenvolvimento de uma APS para usinas nucleares comerciais com reatores refrigerados a água leve foi o relatório WASH-1400, publicado em 1975 e elaborado por um comitê de especialistas a serviço da Comissão Reguladora Nuclear dos Estados Unidos da América (*United States Nuclear Regulatory Commission*, U.S.NRC). Inicialmente, este relatório sofreu várias críticas da comunidade nuclear, mas após o acidente na usina nuclear *Three Mile Island* (TMI) em março de 1979, passou a ser uma recomendação aplicar este tipo de estudo em avaliações de segurança das instalações nucleares



americanas. A APS tem sido aprimorada no que diz respeito à metodologia, bases de dados, programas computacionais para cálculos e procedimentos de revisão. Organizações internacionais com reconhecida experiência na área nuclear têm publicado normas, guias e documentos técnicos que abordam o desenvolvimento de estudos de APS para instalações nucleares. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1975) (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT / NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2012) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1983) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1984)

Os principais objetivos de uma APS são determinar todos os fatores que contribuem de modo significativo para os riscos radiológicos decorrentes de um reator nuclear e avaliar em que medida o projeto está balanceado e atende às metas probabilísticas de segurança, caso tenham sido definidas. Além disso, um estudo de APS pode ser realizado para: (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016)

(1) demonstrar, por meio de uma análise sistemática, que o projeto do reator nuclear atende aos objetivos gerais de segurança;

(2) demonstrar que: (a) o projeto do reator está balanceado de tal forma que nenhuma característica particular ou evento iniciador postulado apresente contribuição desproporcional ou incerteza significativa para o risco global da instalação e (b) os dois primeiros níveis de defesa em profundidade, conforme definidos no *IAEA GSR Part 4*, são capazes de garantir a segurança nuclear; (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016)

(3) demonstrar que eventuais desvios nos parâmetros operacionais do reator, os quais poderiam dar origem a um comportamento anormal, serão evitados;

(4) avaliar as probabilidades de ocorrência de estados com potencial dano ao núcleo e os riscos de grandes liberações de radioatividade para o ambiente externo;

(5) avaliar as probabilidades de ocorrência de perigos externos e suas consequências na operação do reator nuclear, dando ênfase a eventos externos específicos do local em que se encontra o reator;

(6) identificar sistemas para os quais melhorias de projeto ou modificações nos procedimentos operacionais possam reduzir as probabilidades de acidentes severos ou mitigar suas consequências;

(7) avaliar a adequação dos procedimentos de emergência; e

(8) verificar o atendimento às metas probabilísticas de segurança, caso tenham sido definidas.

No que diz respeito ao nível de detalhe da APS, é importante frisar que este deve ser adequado ao uso e às aplicações previstos para este estudo, sabendo-se que a APS pode ter diferentes aplicações dependendo da fase da vida da instalação (projeto, construção, operação, extensão da vida útil e descomissionamento). Deste modo, o nível de detalhe da APS pode variar à medida que (i) o projeto e a operação do reator nuclear são modelados, (ii) a experiência específica é incorporada aos modelos e aos dados de entrada da análise, e (iii) o realismo é incorporado nas análises que refletem a resposta esperada do reator nas condições abordadas. Assim, a APS usada como estudo de suporte durante a fase de projeto do reator nuclear não terá o mesmo nível de detalhe que a APS de uma instalação que já tenha vários anos de experiência operacional. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2009)

No Brasil, o órgão responsável pela regulamentação, licenciamento, controle e fiscalização da energia nuclear no país é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A CNEN é uma autarquia federal criada em 1956 que, a partir de 1974, tornou-se a autoridade reguladora na área nuclear no Brasil. A missão da CNEN é garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nucleares e correlatas, visando o bem-estar da população. Nas responsabilidades da CNEN estão incluídas a emissão e a garantia do cumprimento de normas e posições reguladoras em segurança nuclear.

Além disso, em 2018, foi instituída a criação da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ) para fiscalizar e regular as atividades

da Marinha do Brasil ligadas à segurança nuclear e ao licenciamento de meios navais.

Mais recentemente, em 2021, por meio da criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e conforme a Lei nº 14.222/2021, foi criada a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) que tem como finalidade institucional monitorar, regular e fiscalizar a segurança nuclear e a proteção radiológica das atividades e das instalações nucleares, materiais nucleares e fontes de radiação no território nacional, nos termos do disposto na Política Nuclear Brasileira e nas diretrizes do governo federal. No entanto, até a presente data, a ANSN ainda não está no exercício de suas competências previstas na Lei nº 14.222/2021 e a Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear da CNEN permanece exercendo suas atribuições legais estabelecidas no Decreto nº. 8.886/2016. (BRASIL, 2016) (BRASIL, 2021)

Assim, de acordo com a norma CNEN NE 1.04, que regulamenta o licenciamento de instalações nucleares no Brasil, esse processo envolve a solicitação, por parte do requerente, e subscrito pela CNEN, dos seguintes atos: a) aprovação do local; b) licença de construção; c) autorização para uso de material nuclear; d) autorização para operação inicial; e) autorização para operação permanente. Além dessas autorizações, podem ser solicitadas renovações de licenças de operação, conhecidas como licenças de extensão de vida. (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2004)

Além disso, a CNEN exige que o requerimento de Licença de Construção venha acompanhado de um conjunto de documentos que inclui um Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2004). Do mesmo modo, para conceder a autorização para operação, a qual deve ser requerida em duas etapas complementares (a primeira relativa à operação inicial e a segunda à entrada em operação em caráter permanente), a CNEN exige que o requerente forneça informações sobre o cronograma preliminar para cada fase de operação, com prazos e datas estimadas para seu início e término, e submeta um conjunto de documentos que inclui o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2004). O RPAS e o RFAS são relatórios que devem conter informações que descrevam a instalação, apresentem as bases de projeto, os

limites de operação e uma análise de segurança da instalação como um todo. Do ponto de vista histórico, esta análise de segurança tem sido desenvolvida adotando-se uma abordagem determinística para avaliação de acidentes postulados, tendo em vista a verificação da aplicação do conceito de defesa em profundidade. Ao mesmo tempo, a análise de segurança baseada em uma abordagem probabilística tem sido incluída em algumas resoluções específicas emitidas pela CNEN. (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2004)

De um modo geral, pode-se dizer que o escopo de uma APS é definido pelo nível de análise a ser atingido (Nível 1, 2 ou 3) e pelos demais aspectos a serem abordados na análise, que são: (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2009)

- métricas utilizadas na caracterização do risco (frequência de danos ao núcleo, frequência de grandes liberações de radioatividade, número de fatalidades, etc.);

- estados operacionais do reator nuclear para os quais o risco deve ser avaliado (plena potência, baixa potência e desligamento);

- causas de eventos iniciadores que podem desafiar e interromper o funcionamento normal do reator (eventos iniciadores internos e grupos de perigos internos e externos); e

- perigos presentes no reator nuclear de potência: além do combustível localizado no núcleo do reator, podem também ser consideradas na APS outras fontes, tais como o combustível irradiado retirado do núcleo durante a recarga e armazenado na piscina de combustível irradiado ou o combustível irradiado armazenado em outro local do sítio.

De acordo com práticas internacionais de segurança, a APS é dividida metodologicamente em três níveis que são: Nível 1 – no primeiro nível da APS, o projeto e a operação da instalação são analisados com a finalidade de identificar sequências de eventos que possam causar dano ao núcleo do reator e a frequência de dano ao núcleo é estimada; Nível 2 – neste nível, considera-se a progressão cronológica dos eventos do Nível 1 e são desenvolvidos modelos de falha da contenção com a possibilidade de liberação de radioatividade para o ambiente

externo à instalação; Nível 3 – neste nível final, o risco para a saúde do público e os impactos socioambientais da liberação radioativa são quantificados. Os níveis 1, 2 e 3 da APS constituem análises sequenciais em que os resultados de cada nível normalmente servem como base para a APS do próximo nível. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Em geral, como representado na Figura 1, o escopo inicial exigido para um estudo de APS para reatores nucleares de potência é o desenvolvimento da APS Nível 1 para eventos iniciadores internos de acidentes que podem resultar em danos ao núcleo do reator e que podem ocorrer durante a operação do reator nuclear a plena potência. Entendem-se por eventos iniciadores internos, eventos causados por falhas aleatórias de equipamentos/componentes dos sistemas do reator, erros humanos na execução de procedimentos e perda do suprimento de energia elétrica para os sistemas do reator.

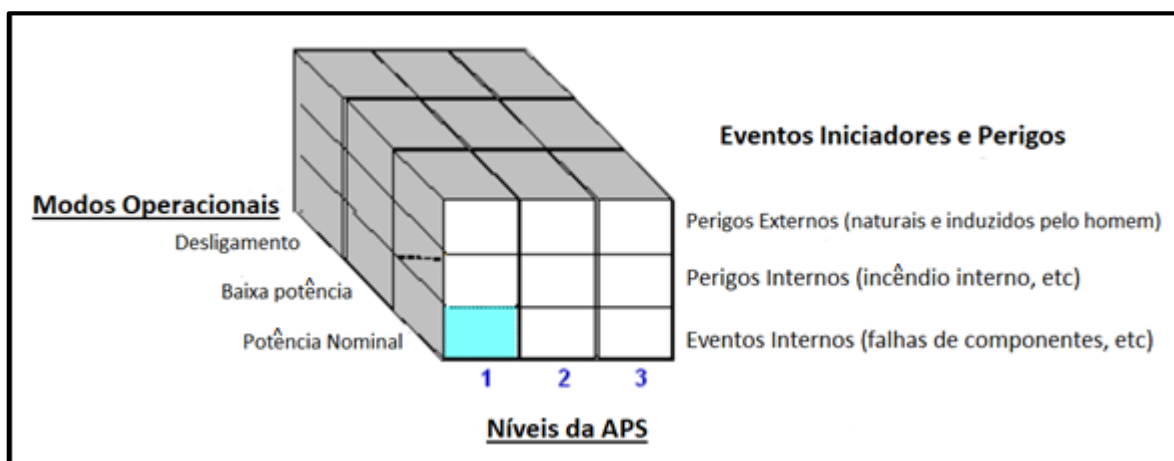


Figura 1 - Escopo da APS e progressão de análises - adaptado de (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015b)

No entanto, para que se possa efetuar uma avaliação mais abrangente do risco associado a um acidente com danos ao núcleo do reator, é necessário que sejam considerados na APS Nível 1 os demais grupos de perigos (internos e externos) que ameaçam a operação normal do reator nuclear e que podem gerar eventos iniciadores de acidente, assim como a análise do reator nos modos de operação a baixa potência e desligamento.

Dessa forma, a Tabela 1, elaborada com base nas informações disponíveis no IAEA-TECDOC-740, apresenta uma proposta de correlação direta entre o estágio da vida da instalação com a necessidade de evolução no

desenvolvimento da APS, tratando-se, em especial, da APS de Eventos Externos. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1994)

Além disso, os requisitos propostos na Tabela 1 consistem em uma abordagem gradativa para a implementação progressiva de uma APS de eventos externos durante a vida útil do reator nuclear (escolha de sítio, projeto, construção, operação / extensão de vida útil e descomissionamento), considerando os requisitos regulamentares e a maturidade do projeto. É importante observar que a fase de avaliação do sítio costuma compreender uma coleta inicial de dados sobre perigos externos nas proximidades da instalação antes do desenvolvimento da APS propriamente dita. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1994)

Tabela 1 - Evolução do escopo da APS de Eventos Externos ao longo da vida útil da instalação

Fase da vida útil da instalação	Requisitos de Modelagem da APS	Dados de entrada	Capacidade de Análise
Escolha de Sítio	-	1) Características do local em relação a sismologia, geologia, hidrologia, meteorologia e climatologia; 2) Dados sobre atividades antrópicas industriais e militares; e 3) Levantamento de dados demográficos da região	1) Análise preliminar da frequência de ocorrência e magnitude do perigo externo do sítio.
Projeto	– APS Conceitual Nível 1 de Eventos Internos em Plena Potência.	1) Informação do projeto no nível de detalhe condizente com o projeto de engenharia; 2) Critério de projeto de Estruturas, Sistemas e Componentes (ESCs) em relação à base de projeto de perigos externos; 3) Identificação de potenciais perigos externos únicos e combinados.	1) Seleção qualitativa dos eventos externos únicos.
Construção	– APS Nível 1 de Eventos Internos em Plena Potência; – APS Nível 1 de Incêndio Interno em	1) Avaliação da frequência de ocorrência de todos os eventos iniciadores possíveis;	1) Seleção quantitativa dos perigos externos únicos e combinados;

Fase da vida útil da instalação	Requisitos de Modelagem da APS	Dados de entrada	Capacidade de Análise
	<p>Plena Potência;            APS Nível 1 de Inundação Interna em Plena Potência;            APS Nível 1 de Eventos Internos em Baixa Potência e Desligamento.</p>	<p>2) Análise de vulnerabilidade dos ESCs em relação aos perigos externos;            3) Incorporação das ações esperadas do operador no modelo da APS.</p>	<p>2) Quantificação preliminar da Frequência Condicional de Dano ao Núcleo (CCDF) / Frequência Condicional de Liberação Prematura de Radioatividade (CLERF) para os perigos selecionados.</p>
<p>Operação /            Extensão de Vida Útil</p>	<p>APS Nível 1;            Desenvolvimento das APS de Nível 2 e Nível 3;            Caso seja exigido pelo órgão regulador ao operador, APS de outras fontes de radiação – piscina de combustível irradiado.</p>	<p>1) Atualização de dados / melhorias utilizando informações de operação e manutenção de ESCs e ações dos operadores seguindo o programa de Living PSA;            2) Acompanhamento da evolução dos perigos externos – aumento da população, atividade industrial, mudanças climáticas, entre outros.</p>	<p>1) Determinação de sequências de acidentes, conjuntos de cortes mínimos dos sistemas e quantificação da Frequência de Dano ao Núcleo (CDF), incluindo análise de incertezas – APS Nível 1 de Eventos Externos a Plena Potência;            2) Quantificação da Frequência de Liberação Prematura de Radiatividade (LERF) e métricas de risco para consequências fora do sítio. – Desenvolvimento da APS Nível 2 e Nível 3 de Eventos Externos.</p>
<p>Descomissionamento</p>	<p>Caso seja exigido pelo órgão regulador ao operador, APS de outras fontes de radiação – piscina de combustível irradiado.</p>	<p>1) Modificações do sistema de armazenamento de combustível irradiado e cálculo do inventário durante o processo de descomissionamento.</p>	<p>1) Determinação das sequências de acidentes, conjuntos de cortes mínimos e quantificação da Frequência de</p>

Fase da vida útil da instalação	Requisitos de Modelagem da APS	Dados de entrada	Capacidade de Análise
			Dano ao Combustível (FDF).

Dessa forma, é possível apresentar requisitos e recursos que são exigidos para a implantação de uma APS de eventos externos estruturada durante cada fase da vida útil da instalação.

No que diz respeito aos eventos iniciadores de acidente a serem considerados na APS, é importante apresentar as definições dos termos “Perigos Internos” e “Perigos Externos”, conforme apresentadas no guia de segurança IAEA No. SSG-3. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Os perigos internos são as fontes potenciais de eventos iniciadores originados em fontes localizadas no sítio, tanto interna como externamente aos prédios, tais como incêndios internos, inundações internas, mísseis internos, acidentes de transporte no sítio e liberação de substâncias tóxicas a partir de instalações de estocagem situadas no sítio. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Os perigos externos são situações originadas fora do sítio do reator nuclear de potência, tais como sismos, incêndios externos (incêndios em florestas ou em áreas que circundam o sítio), enchentes ou alagamentos externos, ventos fortes (tornados, furacões, etc.) e mísseis induzidos por ventos fortes, outras condições climáticas severas, grandes acidentes com meios de transportes fora do sítio e vazamentos de substâncias tóxicas a partir de unidades de estocagem localizadas fora do sítio. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Além disso, os perigos externos podem ser classificados como naturais ou induzidos pelo homem, ou uma combinação entre estes, tais como inundações costeiras, condições climáticas extremas, explosões de gás, queda de um avião no momento de um temporal, etc. Perigos externos podem ocorrer isolados (simples



ou únicos) ou como a combinação de dois ou mais perigos externos. Dessa forma, os perigos externos combinados são dois ou mais perigos externos que têm uma probabilidade não desprezível de ocorrer simultaneamente, como por exemplo, ventos fortes e níveis altos de água do mar. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Vale ressaltar que, ao longo do trabalho, os conceitos de perigo externo e evento externo serão utilizados constantemente. Dessa forma, é necessário definir esses termos para o melhor entendimento e padronização ao longo da dissertação. Portanto, entende-se que perigo externo é o fator ou condição externa capaz de operar contra a segurança com o potencial de causar prejuízo ou outros danos. Por outro lado, o evento externo é definido como uma ocorrência não desejada pelo operador, incluindo erro de operação, falha de equipamento e outros contratemplos, com consequências potenciais que não são desprezíveis do ponto de vista de proteção e segurança. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018)

## **1.2 Implicações do acidente de Fukushima Daiichi para o desenvolvimento da APS de Instalações Nucleares**

Plantas nucleares de potência (*Nuclear Power Plants* - NPPs) são projetadas para resistir aos eventos externos que estão incluídos na base do projeto. O acidente na central de *Fukushima Daiichi* no Japão, em março de 2011, excedeu a base do projeto em vários aspectos e afetou suas unidades devido a uma combinação de eventos externos. Embora a seleção do local e a avaliação do local tenham seguido práticas e regulamentos adotados na década de 1960, uma reavaliação abrangente das características do local não foi realizada durante a vida operacional das unidades do sítio de *Fukushima Daiichi*. Sabe-se que esta reavaliação não havia sido exigida pela autoridade reguladora, apesar da crescente preocupação mundial com os níveis de risco, incorporação de inovações técnicas e melhorias em ferramentas para estudos probabilísticos. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015)

O acidente de *Fukushima Daiichi* destacou que uma NPP pode ser suscetível a perigos externos únicos e combinados de baixa frequência e alta consequência e eventos iniciadores de causa comum, resultando em uma possível

incompatibilidade entre a base de projeto determinística e resultados obtidos a partir da análise probabilística. Portanto, há um consenso mundial sobre a importância de se abordar essas questões para melhorar a segurança geral das NPPs. (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2018)

O acidente de *Fukushima Daiichi* resultou da combinação de dois perigos externos combinados (terremoto e tsunami). As consequências desse evento, principalmente a inundação gerada por esses perigos, foram além do que era considerado no projeto inicial da usina nuclear. Tais situações podem ser identificadas aplicando uma metodologia de APS que complementa a abordagem determinística com a visão de acidentes além da base de projeto. Com a implementação das APSs de Nível 1 e Nível 2, os eventos de baixa probabilidade com altas consequências podem ser identificados. Dessa forma, as operadores e autoridades de licenciamento podem tomar medidas adequadas para reforçar a defesa de profundidade da instalação. (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)

Devido aos riscos associados aos perigos externos, é importante desenvolver uma abordagem sistemática que possa ser aplicada a qualquer local, de modo a aumentar a abrangência e melhorar a avaliação da frequência dos perigos externos e de suas combinações e avaliar o impacto nas funções de segurança da NPP, ou seja, aprimorar o processo de desenvolvimento da APS de Eventos Externos para usar de modo eficiente as informações disponíveis.

Após o acidente de *Fukushima Daiichi*, foi dada maior atenção aos perigos externos em relação aos potenciais eventos iniciadores e as seguintes implicações para a APS podem ser mencionadas:

- Buscar uma abordagem sistemática para determinar os perigos mais relevantes (únicos e combinados) para um determinado local;
- Refinar métodos para avaliar a magnitude potencial e a probabilidade de ocorrência de perigos externos;
- Identificar de maneira mais precisa o impacto nas estruturas, sistemas e componentes relacionados à segurança do reator nuclear no que diz respeito a eventos externos de baixa probabilidade e alto impacto.

## 2 OBJETIVOS

A APS se destaca por usar uma abordagem abrangente e estruturada na identificação de perigos e avaliação dos possíveis cenários de acidentes decorrentes de eventos iniciadores e constitui todo um ferramental conceitual e matemático para que o risco associado ao projeto, à construção e à operação de um reator nuclear seja estimado numericamente.

Após o acidente na central de *Fukushima Daiichi* no Japão, a análise dos eventos externos, tanto únicos como combinados, tornou-se assunto de relevância junto aos órgãos licenciadores, projetistas e operadores de instalações nucleares.

Deste modo, o objetivo principal deste trabalho de mestrado é:

- Desenvolver uma metodologia de APS de Eventos Externos adequada para as etapas de projeto, construção e operação de um reator nuclear no Brasil.

A partir deste objetivo principal, é possível elencar alguns objetivos específicos a serem alcançados ao longo do desenvolvimento desse trabalho, que são:

- Apresentar requisitos reguladores e boas práticas da indústria nuclear no que diz respeito a eventos externos;
- Avaliar os diversos métodos usados no desenvolvimento da APS de Eventos Externos, mostrando as convergências e divergências de processos e critérios qualitativos e quantitativos estabelecidos; e
- Aplicar a metodologia proposta a um reator nuclear experimental em fase de projeto no interior do Estado de São Paulo.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Em 1975, o órgão licenciador americano, a U.S. NRC, desenvolveu juntamente com o *Idaho National Laboratory* (INL) um estudo, denominado WASH-1400, para realizar estimativas realistas do risco de reatores nucleares comerciais e prover ao público uma perspectiva da segurança de instalações nucleares, quando comparada ao risco de instalações e atividades não nucleares a que a sociedade costuma estar exposta no dia a dia. Dessa forma, os eventos externos naturais e induzidos pelo homem tiveram seus riscos de fatalidade e financeiro calculados. Os resultados indicaram que o risco ao público devido a um acidente nuclear é comparativamente baixo, levando-se em consideração que: as consequências e as probabilidades de potenciais acidentes são muito menores do que as de outros acidentes não nucleares analisados, tais como como incêndios, explosões, liberação de material tóxico, falha de barragens, queda de aeronaves, terremotos, furacões e tornados. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1975).

Além disso, o estudo WASH-1400 pôde confrontar a base normativa de análise de segurança estabelecida anteriormente nos guias reguladores da comissão nuclear americana. (UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION, 1966) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1972) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1978).

Para reatores de potência do tipo água pressurizada (*Pressurized Water Reactor* - PWR), o formato e o conteúdo padrão para os relatórios de segurança nos EUA foram estabelecidos por meio do guia regulatório 1.70 da U.S. NRC, o qual apresenta de forma explícita tanto a itemização do relatório quanto os requisitos mínimos que cada seção do documento deve apresentar.

Os dezessete capítulos que compõem o relatório formam a base do processo de análise de segurança e devem atender às exigências para o licenciamento de reatores nucleares do tipo PWR nos EUA. Dessa forma, considerando as informações necessárias para um RAS, é possível notar o estabelecimento de critérios de base de projeto para determinados perigos externos e a natureza determinística das análises realizadas tanto no Capítulo 3 – Projeto

de Estruturas, Sistemas, Componentes e Equipamentos quanto no Capítulo 15 – Análise de Acidentes. Posteriormente, foram adicionados no NUREG-0800, o Capítulo 18 – Engenharia de Fatores Humanos e o Capítulo 19 – Acidentes Severos, em 1990 e 2002, respectivamente. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2020)

O NUREG-0800, por meio da apresentação dos *Standard Review Plans* (SRP), pretende ser um documento abrangente e integrado que fornece ao revisor as orientações, método e abordagens que o órgão licenciador considerou aceitável para atender os requisitos da U.S. NRC. Dessa forma, a implementação dos critérios e diretrizes contidos no SRP servem para garantir que um determinado projeto cumprirá a regulamentação da U.S. NRC e, portanto, fornecerá proteção adequada à saúde da população e ao meio ambiente. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2020)

Em 1983, a U.S.NRC, juntamente com a *American Nuclear Society* (ANS) e o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), preparou o Guia de Procedimentos para APS – NUREG/CR-2300. Nesse documento é possível notar que o desenvolvimento de requisitos de projeto para NPPs ocorreu em uma estrutura subjetivamente determinística. Consequentemente, houve pouco uso de técnicas de avaliação probabilística, uma vez que naquela época, estas técnicas não eram totalmente desenvolvidas para a aplicação em NPP. Desde a conclusão do estudo WASH-1400 em 1975, a U.S.NRC tem explorado maneiras de aplicar sistematicamente a análise probabilística a NPPs e o uso de técnicas de APS está rapidamente se tornando mais difundido na comunidade nuclear (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1983)

Com o aumento do uso de ferramentas probabilísticas e com a popularização da utilização de técnicas que implicavam em uso de métricas não homogêneas, a U.S.NRC implantou, em 1986, o *Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants - Statement*, com o intuito de estabelecer objetivamente o nível aceitável para o risco radiológico. Dessa forma, as metas qualitativas de segurança estabelecidas são:

- Indivíduos do público devem ser protegidos de maneira que as consequências da operação de uma NPP não apresentem nenhum risco adicional à vida ou à saúde dos mesmos; e
- O risco social da operação de uma NPP deve ser comparável com o risco da geração de energia elétrica considerando outras fontes viáveis.

Por outro lado, as metas quantitativas de segurança são:

- O risco de fatalidade imediata como resultado de um acidente nuclear para um indivíduo localizado na proximidade da NPP não deve exceder 0.1% da soma dos riscos de fatalidades imediatas resultantes de outros acidentes a que a população geral está exposta; e
- O risco de câncer para a população na área próxima da NPP não deve exceder 0.1% da soma dos riscos de fatalidades por câncer de todas as demais fontes.

Além disso, o documento em questão apresenta a visão de diversos especialistas que fizeram comentários sobre a proposição da U.S.NRC e sobre como atender os critérios mencionados acima. Pela primeira vez, foi apresentada a métrica LERF atrelada a uma meta quantitativa de segurança, propondo que a probabilidade média de grande liberação de materiais radioativos para o meio ambiente para um acidente em reator deve apresentar um valor menor que 1 em 1.000.000 por ano de operação do reator.

Com o progresso da APS ao longo dos anos 80 e 90, a estrutura e as métricas continuaram a ser estabelecidas para os eventos iniciadores potenciais que levariam a dano ao núcleo do reator, porém, as recomendações naquela época estavam voltadas para a análise de eventos iniciadores internos. Dessa forma, no início da década de 90, a IAEA preparou um grupo de publicações para estabelecer uma estrutura consistente para a elaboração de uma APS mais completa.

Em 1995, a IAEA publicou o guia da série de segurança No. 50-P-7 com o intuito de fornecer recomendações específicas para o desenvolvimento de

procedimentos para tratar eventos iniciadores externos a um reator nuclear. A experiência internacional indica que os perigos externos podem trazer uma contribuição significativa para o risco da planta, e é amplamente reconhecido que tais riscos devem ser incluídos em estudos de APS. A principal dificuldade em analisar seu efeito em uma usina nuclear é que eles têm o potencial de afetar múltiplos equipamentos na planta simultaneamente. Esta característica de causa comum, enquanto não é exclusiva para perigos externos, certamente é uma característica especial para todos eles. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1995)

No mesmo ano, a U.S. NRC apresentou a maneira pela qual a comissão iria regular e abordar a análise probabilística de segurança. A U.S. NRC definiu uma política geral na aplicação dos métodos de APS para que requerentes de licenças pudessem implantar e desenvolver as análises de forma consistente. (UNITED STATES REGULATORY COMMISSION, 1995)

Os principais pontos, de acordo com a U.S NRC, são: 1) permitir a consideração de um conjunto mais amplo de potenciais desafios à segurança; 2) proporcionar uma maneira lógica de priorizar os desafios baseados no risco; 3) permitir a consideração de um conjunto mais amplo de recursos para proteção contra esses desafios. Antes do acidente de TMI em 1979, a U.S. NRC utilizava critérios probabilísticos apenas em certas áreas especializadas para a escolha do sítio como perigos antrópicos (ex: queda de aeronave, colisão de embarcações, instalações com material química próximas) e perigos naturais (ex: tornados, inundações e sismos). Adicionalmente, nas investigações do acidente de TMI foram geradas recomendações para que as técnicas de APS fossem utilizadas de maneira mais ampla para apoiar os métodos determinísticos tradicionais para análise de segurança de reatores nucleares de potência. (UNITED STATES REGULATORY COMMISSION, 1995)

Posteriormente, o SKI Report 02:27 de 2003, desenvolvido pelo *Swedish Nuclear Inspectorate* (SKI) sob contrato com o *Nordic PSA Group* (NPSAG), forneceu as diretrizes para a APS de eventos externos e visou criar uma estrutura padronizada para o desenvolvimento desta análise para centrais nucleares. O esforço desse grupo possibilitou que as análises passassem a ser realizadas de forma eficaz, documentada e com nível aceitável de garantia de qualidade.

O procedimento de análise, proposto por SKI, inclui quatro fases: 1) planejamento do projeto, 2) identificação de eventos externos, 3) seleção de eventos e 4) análise probabilística. O objetivo é iniciar a análise com uma identificação completa de possíveis eventos externos únicos e combinados. Em seguida, o maior número possível de eventos externos deve ser selecionado. A capacidade de seleção deve ir aumentando no decorrer do projeto, usando as informações continuamente adquiridas sobre os eventos e sobre seus efeitos na planta. Portanto, o SKI Report 02:27 foi desenvolvido para fornecer uma abordagem mais ampla com etapas claras e uma análise bem estruturada. Além disso, ao longo dos anos, diversas NPPs, principalmente da Europa, concluíram suas APS de Eventos Externos com base na orientação fornecida no guia SKI Report 02:27. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Em 2004, a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) e a *American Nuclear Society* (ANS) formaram o *Nuclear Risk Management Coordinating Committee* (NRMCC) para coordenar e padronizar as atividades relacionadas à APS em suas organizações para a elaboração de normas.

Dessa forma, a norma ASME-RA-S-2008 publicada inicialmente, inclui requisitos para o desenvolvimento da APS Nível 1 para eventos internos em plena potência. Em paralelo, foi desenvolvido o adendo A dessa norma (ASME-RA-Sa-2009) que engloba na APS os eventos externos, incêndio interno e condições de baixa potência e desligamento. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2008) (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2009)

A combinação dessas normas estabelece requisitos para a APS Nível 1 para perigos internos e externos para todos os modos de operação da planta (os modos de baixa potência e desligamento foram adicionados na revisão de 2013 – ASME-RA-Sb-2013). Além disso, este documento estabelece requisitos para uma APS Nível 2 de escopo limitado que deve ser suficiente para avaliar a frequência de liberação de radioatividade para o meio ambiente. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013)



Os únicos perigos explicitamente excluídos do escopo da análise são os acidentes resultantes de ações induzidas pelo homem como sabotagem, espionagem e atos de guerra.

Adicionalmente, a norma se aplica a análises utilizadas para apoiar a tomada de decisão baseada no risco no tocante ao projeto, licenciamento, aquisição, construção, operação e manutenção de um reator nuclear de potência. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013)

O acidente ocorrido em *Fukushima Daiichi* em 2011, após um forte terremoto e tsunami, foi um dos acidentes nucleares mais graves ocorridos no mundo e impactou a percepção da população mundial em relação ao uso da energia nuclear. Portanto, lidar com acidentes, tanto em termos de consequências quanto na implantação correta de ações corretivas, tornou-se prioritário para os órgãos reguladores, para a indústria nuclear e governos mundiais em todos os países com usinas nucleares ou que desejam no futuro construir e operar usinas. (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2016)

Desta forma, o acidente de *Fukushima Daiichi* tem sido analisado pela comunidade nuclear mundial com o intuito de se aprender lições, e aplicar ações para melhorar o nível de segurança deste tipo de instalação. Os focos principais são nas áreas elencadas a seguir:

- Resposta da planta a eventos externos;
- Gestão de Emergência;
- Proteção radiológica;
- Recuperação pós-acidental;
- Infraestrutura reguladora; e
- Segurança do reator nuclear sob condições de acidentes severos.

O acidente de *Fukushima Daiichi*, em março de 2011, excedeu a base do projeto em vários aspectos com múltiplas instalações afetadas devido a uma combinação de perigos externos. Embora a seleção e avaliação do local tenham seguido práticas e regulamentos adotados na época (década de 60) para projeto e

construção destas usinas nucleares, uma reavaliação abrangente das características do local não foi realizada durante a vida operacional da central nuclear de *Fukushima Daiichi*.

Após o acidente, por exemplo, a *Canadian Nuclear Safety Commission* (CNSC), por meio da atualização do REGDOC-2.4.2 – *Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants*, incluiu alterações com as lições aprendidas sobre o evento de *Fukushima Daiichi* em março de 2011 e apresentou as conclusões do relatório da força-tarefa de *Fukushima Daiichi* do CNSC. Dessa forma, entende-se que a APS deve conter avaliações específicas para o sítio no que diz respeito às probabilidades de ocorrência e consequências dos perigos externos. Além disso, para sítios com várias unidades, deve-se analisar o risco agregado dos eventos internos, perigos internos, e perigos externos durante todos os modos de operação para todas as instalações daquele sítio. (CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION, 2014)

Em 2015, o relatório técnico – *Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment* – foi desenvolvido pelo *Electric Power Research Institute* (EPRI) para ajudar os proprietários e operadores de NPPs a avaliar a suscetibilidade de suas instalações a perigos externos baseado em um conjunto de critérios de seleção robustos e gerais. O relatório contém uma revisão da literatura existente relacionada à seleção de perigos externos, que inclui uma discussão sobre os métodos apresentados nas referências SKI Report 02:27 e ASME-RA-S-2008. O principal objetivo do relatório EPRI é identificar um conjunto completo de critérios qualitativos e quantitativos de seleção de perigos externos a serem usados nas NPPs. A experiência específica da aplicação da metodologia EPRI é apresentada para duas concessionárias americanas. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

Embora a consideração de perigos externos não seja nova, no passado estes eventos não receberam o mesmo nível de atenção que os eventos iniciadores nos sistemas da planta. Perigos externos são normalmente tratados por uma combinação de avaliação probabilística do perigo com medidas determinísticas para proteção contra seus efeitos. Como os riscos calculados associados aos perigos internos diminuíram ao longo do tempo, a importância relativa de outros

perigos externos, além dos eventos sísmicos, aumentou. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

Em 2016, a IAEA, com a cooperação de seus Estados Membros, publicou o documento técnico IAEA-TECDOC-1804 para cobrir as diretrizes apresentadas no guia de segurança específico IAEA No.SSG-3, bem como fazer uma revisão do conteúdo do IAEA-TECDOC-1511. A principal motivação para a elaboração do IAEA-TECDOC-1804 decorreu da necessidade de fornecer diretrizes associadas à análise de eventos externos a partir das lições aprendidas com o acidente de *Fukushima Daiichi*. A análise de risco sugerida neste documento visou considerar todos os riscos possíveis para a planta e desenvolvê-la até o ponto em que o local e os eventos específicos da planta sejam incorporados ao modelo da APS. Portanto, perigos que representam uma baixa contribuição para o risco da planta podem ser eliminados, para que o esforço de análise não seja aplicado de forma improdutiva. O IAEA-TECDOC-1804 também aborda o tratamento para APS multiunidades e eventos de risco correlacionados. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

Em alinhamento com os órgãos internacionais, a produção científica da área de APS de Eventos Externos também concentrou esforços para a elaboração e publicação de artigos e estudos sobre metodologia, estudos de caso e melhorias em ferramentas computacionais. A 13ª conferência internacional *Probabilistic Safety Assessment and Management* (PSAM-13), em 2016, apresentou um grande volume de trabalhos e sessões de discussão sobre APS. As próximas referências apresentadas discorrem sobre a análise probabilística de eventos externos e a implementação de metodologias como, por exemplo, o guia SKI Report 02:27.

(KOLLASKO et al, 2016) apresentaram uma metodologia de análise de seleção para identificar eventos externos relevantes e combinações de eventos externos com base na metodologia apresentada no SKI Report 02:27, com atualizações recomendadas pela *Western European Nuclear Regulators's Association* (WENRA) no tocante às lições aprendidas pela indústria no cenário pós-*Fukushima Daiichi*.

A abordagem apresentada por (KOLLASKO et al, 2016) fornece informações iniciais valiosas para a identificação de perigos combinados com o potencial de criar perigos externos raros e graves semelhantes aos ocorridos em *Fukushima Daiichi* e que precisariam ser tratados como eventos além da base de projeto.

A fim de analisar a metodologia proposta pela *Électricité de France* (EdF) para a seleção de perigos externos para os quais uma análise probabilística é necessária, o *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN), por meio do trabalho apresentado no PSAM-13 por (GEORGESCU et al, 2016), desenvolveu a sua própria abordagem. Esta abordagem serve para definir e justificar os estudos probabilísticos de perigos externos relevantes para o IRSN, levando em consideração os recursos disponíveis. Os estudos probabilísticos de perigos externos efetuados pelo IRSN destinam-se, principalmente, para dar suporte às APS de perigos externos desenvolvidos pela operadora EdF.

(GEORGESCU et al, 2016) realizaram uma análise comparativa de critérios propostos internacionalmente, inclusive pela IAEA, EPRI e SKI. Isso mostra que as abordagens são semelhantes, mas podem permitir diferentes aplicações práticas. Dessa forma, o relatório apresenta um grupo de critérios de seleção para eventos únicos e combinados baseados nos guias de referência com o intuito de customizar as necessidades da IRSN e da EdF para APS de Eventos Externos.

O artigo elaborado por (NARUMIYA et al, 2016), apresenta o desenvolvimento de um método de identificação das combinações de perigos externos mais significativas e realiza a avaliação preliminar dessas combinações com a documentação estabelecida pelo *Risk Technical Committee of Atomic Energy Society of Japan* (AESJ).

A primeira abordagem proposta é examinar as informações relacionadas a cada perigo externo e investigar os dados de perigos externos próprios da NPP. As combinações de perigos externos são investigadas pelo método de matriz de risco. Este método calcula a pontuação de risco da combinação de perigos externos avaliando a frequência e o impacto para a planta de cada perigo e suas correlações. (NARUMIYA et al, 2016)

No cenário pós-*Fukushima Daiichi*, o projeto *Advanced Safety Assessment Methodologies: extended PSA* (ASAMPSA\_E) foi criado pela *European Atomic Energy Community* (EURATOM) visando promover boas práticas para a identificação de situações acidentais com o apoio das APS e para a definição de critérios adequados de tomada de decisão no contexto da União Europeia. Este projeto oferece uma nova estrutura para discutir, em nível técnico, como a “APS Estendida” pode ser desenvolvida de forma eficiente e aplicada na avaliação da robustez das centrais nucleares. Dessa forma, em 2016, o grupo responsável pelo projeto elaborou um conjunto de documentos nos seguintes tópicos:

- Principais dificuldades para a APS;
- Perigos externos e APS;
- APS Nível 2 e estratégias para o gerenciamento de acidentes severos; e
- Pesquisa de aprendizado dos consumidores, principalmente operadores de centrais nucleares, em relação à APS.

O relatório técnico *Methodology for Selecting Initiating Events and Hazards for Consideration in an Extended PSA* (ASAMPSA\_E/WP30/D30.7 vol 2) apresenta a discussão sobre a seleção de eventos iniciadores tanto internos quanto externos para uma APS estendida. (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)

Primeiramente, é necessário definir o conceito de APS estendida que consiste em uma análise aplicável a um sítio com uma ou várias instalações nucleares e sua área de implantação. Por meio desta análise, pode-se calcular o risco induzido pelas principais fontes locais de radioatividade (núcleo do reator e armazenamento de combustível irradiado), levando em consideração todos os estados operacionais de cada fonte e todos os eventos iniciadores possíveis de acidentes relevantes (internos e externos) que afetam uma unidade ou o sítio como um todo. A combinação entre perigos e eventos iniciadores e o impacto em cada unidade ou no sítio é um ponto crucial para a APS Estendida. (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)

O projeto ASAMPSA\_E teve como principais objetivos discutir: as metodologias relevantes para a identificação de eventos iniciadores (internos e externos) na APS; as práticas adotadas internacionalmente; as métricas de risco apropriadas e limites a serem usados no processo de seleção de eventos iniciadores e perigos para uma APS Estendida; a ligação entre as abordagens determinística e probabilística para a seleção de eventos iniciadores; a seleção de eventos de alto impacto, geralmente associados a uma baixa frequência de ocorrência; e as especificidades no processo de seleção de perigos. (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)

Em 2018, a NEA, agência ligada à OECD, desenvolveu um relatório com o intuito de fornecer os resultados de um levantamento sobre as abordagens atuais para a seleção de perigos externos e para descrever o processo de seleção com base científica. Este relatório procura identificar as melhores práticas ao redor do mundo e as eventuais lacunas existentes nas diversas metodologias apresentadas. O documento contém um resumo das práticas de seleção de perigos externos de vários países, incluindo Canadá, Alemanha, Finlândia, Rússia, Suíça e Estados Unidos, bem como de organizações como a WENRA, por meio do projeto ASAMPSA. (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2018)

Com base no relatório NEA, algumas conclusões podem ser feitas: 1) a literatura existente abrange as melhores práticas encontradas na análise de risco; 2) mesmo que as melhores práticas relacionadas ao processo de seleção fossem adotadas, alguns desafios foram identificados; e 3) documentos existentes que realizam a seleção quantitativa não trazem informação adicional que justifique as bases aplicadas para um determinado critério de exclusão.

No mesmo ano de 2018, foi realizada a conferência bienal do PSAM, na qual, novamente, autores apresentaram trabalhos referentes ao processo de seleção de perigos externos e à APS de eventos externos como um todo.

Primeiramente, (GOLOVCHUK et al, 2018) apresentaram a metodologia de seleção desenvolvida e aplicada à lista de perigos externos naturais e antrópicos para ambos os sítios belgas (Tihange e Doel), a fim de identificar os perigos externos relevantes. Os critérios gerais de seleção tanto qualitativos quanto quantitativos, baseados nas melhores práticas internacionais, foram definidos.

Dessa forma, os critérios qualitativos estão baseados em características do perigo (por exemplo, gravidade, taxa de progressão/desenvolvimento) e sua relevância para o local (por exemplo, distância). Os critérios quantitativos, por outro lado, focam na frequência de ocorrência e contribuição potencial para a frequência de dano ao núcleo – *Core Damage Frequency* (CDF). Da mesma forma que os trabalhos anteriormente mencionados, o grupo de critérios de seleção é formado com base nas metodologias internacionais disponíveis como o guia SKI Report 02:27, o relatório do EPRI e a norma da ASME-RA-Sa-2013. (GOLOVCHUK et al, 2018)

De maneira a expandir a literatura existente para a análise de perigos externos combinados, (TAEKEMA et al, 2018) propuseram uma estrutura sistemática dividida em três etapas para a avaliação da combinação de perigos externos. Primeiramente, efetua-se a identificação de perigos a serem considerados. Em seguida, determina-se a dependência entre os perigos e, por fim, a seleção das combinações é realizada utilizando os resultados da seleção de eventos únicos.

Por outro lado, os resultados da seleção de perigos únicos podem ser usados após a reconsideração dos perigos combinados. Por exemplo, se a consequência da combinação excede a base do projeto, os perigos únicos podem ser excluídos com base na frequência de ocorrência. Em seguida, avalia-se se uma combinação possui alguma forma de dependência. Por fim, as combinações são rastreadas em seu possível impacto na planta em comparação com os riscos individuais. (TAEKEMA et al, 2018)

Em 2019, o *Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate* (ENSI), órgão regulador da Suíça, publicou um guia com o intuito de formalizar requisitos de qualidade e escopo relacionados às APS de Nível 1 e Nível 2 para eventos internos e externos, cobrindo todos os modos de operação de usinas nucleares. Dessa forma, o ENSI regula que um processo rigoroso de seleção de perigos externos deve ser realizado com a inclusão de todos os perigos únicos e combinados e o processo de exclusão de qualquer perigo externo é condicionado ao atendimento de dois critérios principais: (SWISS FEDERAL NUCLEAR SAFETY INSPECTORATE, 2019)

1. É possível demonstrar que, baseado em argumentos qualitativos, os perigos têm impacto desprezível à CDF e FDF (*Fuel Damage Frequency* – frequência de dano ao combustível). Isso pode ser demonstrado caso um perigo específico não resulte na atuação de um sistema de segurança ou que a consequência do perigo já esteja limitada por outro evento com frequência de ocorrência significativamente mais alta; e
2. É possível realizar uma análise conservadora do perigo em relação aos critérios (CDF ou FDF) e demonstrar que o valor é menor que  $10^{-9}/\text{yr}$ .

Em 2021, a *American Nuclear Society* (ANS) realizou, por meio virtual, a conferência “*2021 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis*”, na qual foram apresentados diversos trabalhos referentes à análise probabilística de segurança com enfoque em reatores avançados, e, principalmente, pequenos reatores modulares.

Entretanto, pode-se destacar o artigo apresentado por (GAUDRON et al, 2021), no qual é detalhada a primeira aplicação prática de uma metodologia estruturada e sistemática para o processo de seleção de perigos externos combinados realizado pela operadora francesa EdF.

Essa metodologia consiste em um processo de seleção em quatro etapas: (GAUDRON et al, 2021)

- 1) Lista de perigos individuais – a lista consiste em 52 perigos externos únicos divididos em 6 categorias;
- 2) Correlação entre os perigos – identificar todas as correlações potenciais consultando fontes tais como os documentos do projeto ASAMPSA-E e estudos da própria EDF; (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)
- 3) Processo de seleção semiautomático – processo de seleção rápido capaz de reduzir o número de combinações não relevantes; e
- 4) Processo de seleção manual – análise individual realizada para justificar a relevância das combinações remanescentes.



Dessa forma, o processo de seleção adotado pela EdF foi capaz de reduzir drasticamente o número de perigos externos combinados de uma maneira pragmática, com esforços de engenharia apropriados e, ao mesmo tempo, identificando as correlações relevantes para cada planta. (GAUDRON et al, 2021)

## 4 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE EVENTOS EXTERNOS

A Análise Probabilística de Segurança de Eventos Externos (APS de Eventos Externos) aborda perigos originados por elementos ou agentes que não compõem a planta, mas que possuem potencial de gerar um evento iniciador de acidente e afetar o reator nuclear. A metodologia proposta neste trabalho consiste em desenvolver uma análise sistemática que possa ser aplicada a qualquer sítio em que o reator nuclear estiver localizado com o objetivo de melhorar a avaliação da magnitude e da frequência de ocorrência dos perigos externos e suas combinações, e para avaliar o impacto destes eventos nas funções de segurança do reator.

Tomando por base as principais normas, relatórios e guias internacionais citados no Capítulo 3, verifica-se que o processo para o desenvolvimento de uma APS de Eventos Externos segue algumas etapas conforme apresentado a seguir. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2008) (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013) (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010) (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2020)

- Etapa 1 - Planejamento e compilação de informações iniciais:
  - Informações sobre o projeto no que diz respeito aos perigos externos considerados na base de projeto e na análise de segurança;
  - Arranjo das áreas do sítio, topografia do sítio e mapa da região;
  - Arranjo dos prédios, estruturas e sistemas;
  - Informações sobre a localização de tubulações, galerias de cabos, rotas de transporte e instalações de armazenamento de materiais perigosos dentro e fora do sítio;
  - Localização de instalações industriais e/ou militares nas proximidades do sítio; e

- Histórico de ocorrências de perigos externos no sítio ou na região.
  
- Etapa 2 - Identificação de potenciais perigos externos:
  - Análise de listas genéricas de perigos externos únicos e combinados; e
  - Identificação de perigos externos específicos para o reator nuclear e para o sítio.
  
- Etapa 3 - Análise para seleção de perigos externos (*screening analysis*):
  - Definição dos critérios de seleção (qualitativos e quantitativos);
  - Seleção qualitativa - perigos externos que não têm o potencial de dar início a uma sequência de acidente com danos ao núcleo do reator podem ser eliminados da análise;
  - Seleção quantitativa - eliminação de perigos externos cujo impacto no reator é tão baixo que a frequência de danos ao núcleo resultante destes eventos também é muito baixa:
    - Caracterização dos parâmetros relevantes que representam os perigos externos; e
    - Avaliação da frequência de ocorrência dos perigos externos.
  
- Etapa 4 - Análise da Resposta da Planta: esta etapa da análise visa reduzir a lista de perigos externos que serão submetidos a uma análise quantitativa.
  - Exame minucioso de prédios, locais e sistemas da planta para determinar, de forma conservadora, o possível impacto do perigo externo nas estruturas, sistemas e componentes do reator e nas ações do operador;

- Análise da fragilidade das estruturas, sistemas e componentes do reator em relação aos perigos externos selecionados (gerar estimativas realistas dos danos potenciais causados pelos perigos externos);
  - Obtenção de informação local detalhada relevante sobre as relações entre o potencial de dano e a frequência de ocorrência para cada evento externo, usando fontes de informação internas e externas.
- Etapa 5 - Modelagem Probabilística e Quantificação:
    - Definir um conjunto de cenários de acidentes nos quais os eventos iniciadores e possíveis danos a equipamentos estejam caracterizados. Para cada cenário, calcular: a probabilidade condicional de danos ao núcleo do reator; a frequência de ocorrência do evento iniciador (definida usando a frequência de ocorrência do perigo associado ao cenário);
    - Análise da resposta do reator e quantificação da métrica de risco estabelecida (CDF/ LERF) em relação aos eventos externos selecionados (esta fase consiste em incorporar os eventos externos no modelo da APS Nível 1 de Eventos Internos).

Dada a grande variedade de perigos externos únicos e combinados, é necessário determinar um conjunto adequado de critérios de seleção, principalmente para as etapas 1 a 3 da metodologia da APS de Eventos Externos, para que se possa efetuar uma análise consistente. Nesse sentido, algumas observações importantes sobre as abordagens para a seleção de perigos externos atualmente utilizadas devem ser feitas, que são: 1) a necessidade de criar grupos de perigos externos com características semelhantes; 2) o uso de listas genéricas de perigos externos e eventos iniciadores de acidente; 3) as limitações em relação aos dados sobre determinados fenômenos; e 4) a aplicação de métricas de risco consistentes ao longo do processo.

Um problema comum em estudos de APS é que recursos excessivos são facilmente gastos, a menos que o trabalho seja bem planejado, organizado e controlado. A fim de equilibrar aspectos de qualidade e complexidade destes estudos, recomenda-se que o trabalho de análise de eventos externos seja realizado como um projeto, que é dividido em várias fases e, posteriormente, em tarefas. Os princípios para realizar a análise de forma eficiente são: realizar uma identificação exaustiva de perigos externos e, em seguida, excluir o quanto antes da análise os perigos externos não relevantes, garantindo rastreabilidade o tempo todo; e aumentar a capacidade de seleção durante o projeto, usando continuamente as informações adquiridas sobre os eventos e seus efeitos na planta. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Além disso, um processo de seleção cuidadoso para perigos externos tende a tornar a modelagem usada para avaliar os riscos mais eficiente e consistente ao longo do projeto da planta, operação e fases de descomissionamento. No entanto, as práticas atuais indicam que há uma grande variedade de critérios que podem ser usados na seleção de perigos externos. (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2018)

#### **4.1 Etapa 1 - Planejamento e compilação de informações iniciais**

A primeira etapa consiste na coleta de informações relevantes para a análise. Esta etapa fornece as informações de entrada para a análise de seleção por meio da identificação de perigos externos potencialmente relevantes para a planta e para o local. Os dados necessários envolvem informações específicas do sítio, experiência operacional dos analistas e dados específicos sobre os perigos externos, tais como topografia do local, informações históricas sobre ocorrências, características de projeto do reator para lidar com os fenômenos naturais e/ou antrópicos, entre outros.

O responsável pelo gerenciamento da APS de Eventos Externos deve preparar um cronograma de tarefas que levem em consideração as seguintes informações: (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

1. Definir com clareza o escopo da APS de Eventos Externos;

2. Identificar e compilar as necessidades para a APS de Eventos Externos juntamente aos projetistas, analistas de segurança, operadores e órgão regulador;
3. Adquirir informações sobre a relação entre a APS de Eventos Externos e outros estudos de APS finalizados ou planejados;
4. Adquirir conhecimento sobre o estado da arte da metodologia de análise de eventos externos;
5. Identificar modificações que podem ser realizadas durante as diferentes etapas do projeto; e
6. Analisar o status do projeto do reator nuclear para realizar uma análise condizente com o nível de maturidade da instalação.

Assim, a etapa 1 da APS de Eventos Externos está fundamentada nas fontes de informação referentes aos perigos externos no local de implantação do sítio e ao projeto do reator nuclear para proteger e/ou mitigar os efeitos desses perigos. Essas fontes, geralmente, são categorizadas como:

- a) Guias e normas gerais considerando a análise e o projeto contra perigos externos;
- b) Guias específicos de perigos externos, principalmente no caso de perigos externos não usuais;
- c) Documentos tratando de análises de fenômenos naturais e/ou antrópicos que forneçam estimativas das probabilidades de ocorrência de eventos extremos únicos ou combinados; e
- d) Análises determinísticas e probabilísticas realizadas para o reator nuclear em estudo.

Nessa etapa devem ser apresentadas informações sobre prédios e estruturas do reator que sejam relevantes para a seleção de perigos externos. A interação de um perigo externo com as estruturas, sistemas e componentes do

reator ocorre, principalmente, por meio de danos aos prédios e outras estruturas independentes.

A determinação da relevância de um prédio ou estrutura é decidida pela sua importância para a segurança. Portanto, os critérios utilizados para incluir um prédio ou estrutura na APS de Eventos Externos são:

- Incluir a falha induzida pelo evento externo se essa falha puder resultar em transiente no reator com atuação do sistema de desligamento; ou
- Incluir sistemas e componentes considerados em outras APS desenvolvidas para o reator (Eventos Internos, Baixa Potência e Desligamento, entre outros), considerando falhas que podem prejudicar a mitigação de acidentes.

Além disso, características de projeto dos prédios e estruturas relevantes devem ser apresentadas para apoiar os analistas na aplicação dos critérios qualitativos e quantitativos da seleção dos perigos externos. Dessa forma, é necessário que as seguintes informações estejam disponíveis:

- Descrição básica do prédio;
- Descrição das funções a serem desempenhadas pelo prédio e pelas estruturas, sistemas e componentes abrigados pelo mesmo;
- Informações do projeto do prédio em relação a perigos externos, tais como classificação sísmica, características de proteção contra inundação, etc.;
- Dependência dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*, HVAC);
- Contribuição do prédio para a disponibilidade da fonte fria para a remoção de calor do núcleo do reator;
- Contribuição do prédio para a disponibilidade do suprimento de energia elétrica.

## 4.2 Etapa 2 - Identificação de Potenciais Perigos Externos

O processo de identificação de perigos externos pode ser considerado o ponto de partida da APS de Eventos Externos, conforme descrito no guia de segurança IAEA No. SSG-3. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2010)

Um ponto muito importante neste processo de análise é a completeza da análise com relação aos perigos considerados. Dessa forma, é necessário garantir que todos os perigos relevantes para o local sejam identificados e considerados pelo analista.

### 4.2.1 Identificação de Perigos Externos Únicos

O foco dessa etapa é descrever o procedimento de identificação do conjunto de potenciais perigos externos únicos. Portanto, para garantir que a identificação seja realizada de forma exaustiva, um grupo de referências deve ser utilizado a fim de garantir que a listagem seja tão completa quanto possível.

Os perigos externos são relevantes apenas se estiverem no ambiente natural da planta analisada, dentro de seus arredores relevantes, ou no sítio de implantação. Isso é ilustrado por meio da Figura 2, que mostra a planta analisada (Planta 1) localizada em um sítio hipotético, o qual possui outra planta instalada (Planta 2). As atividades humanas que ocorrem nos arredores relevantes podem impactar a planta por meio de perigos externos induzidos pelo homem. O ambiente natural pode impactar diretamente a própria planta, o local ou outras plantas existentes no local.



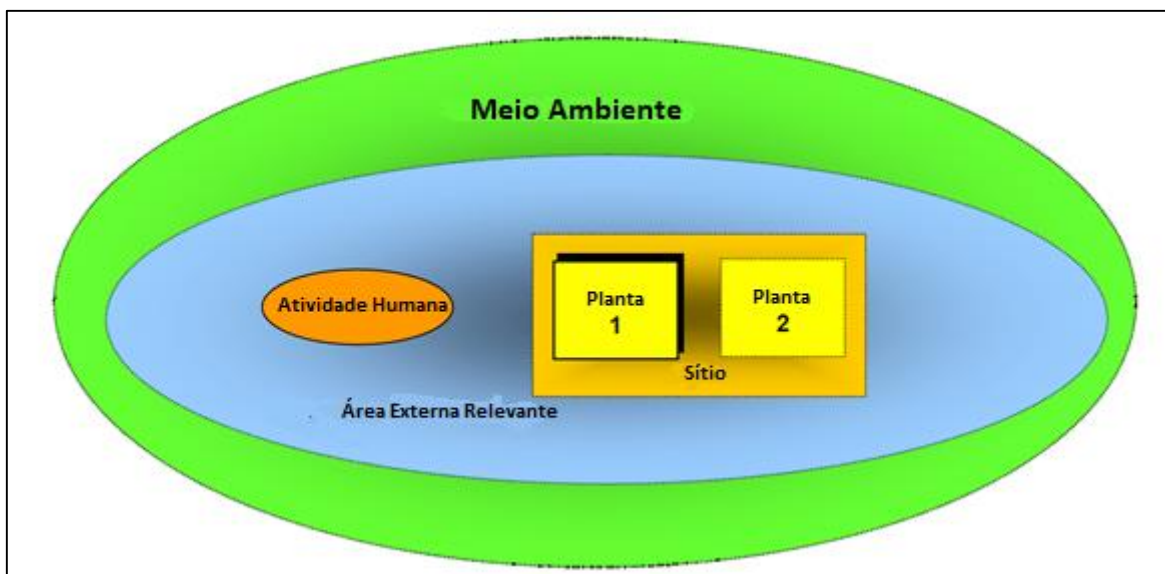


Figura 2 – Localização das fontes de perigos externos traduzido de (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Portanto, para estruturar as informações compiladas, deve-se agrupar os vários tipos de perigos externos com base em seus efeitos nas instalações dentro do sítio. Desta forma, será utilizado o método de agrupamento e classificação apresentado no SKI Report 02:27. As categorias de perigos externos são: (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

- Perigos Externos no Ar (A) - os perigos desta categoria são causados pela variação de parâmetros como velocidade do ar, temperatura do ar, pressão do ar, umidade, contaminação do ar, campos eletromagnéticos, impacto direto do ar, entre outros;
- Perigos Externos no Solo (G) - os perigos desta categoria são causados pela variação de parâmetros como movimentação do solo, impacto direto no solo, contaminação do solo e incêndio externo, entre outros; e
- Perigos Externos na Água (W) - os perigos desta categoria são causados pela variação de parâmetros como nível da água, temperatura da água, impurezas sólidas, contaminação e impacto direto na água, entre outros.

Além dessas categorias, com o intuito de diferenciar as causas dos perigos, foi adotada uma subdivisão entre perigos externos naturais (N) e perigos

externos causados pelo homem. A Figura 3 mostra a categorização e as abreviaturas utilizadas ao longo deste trabalho.

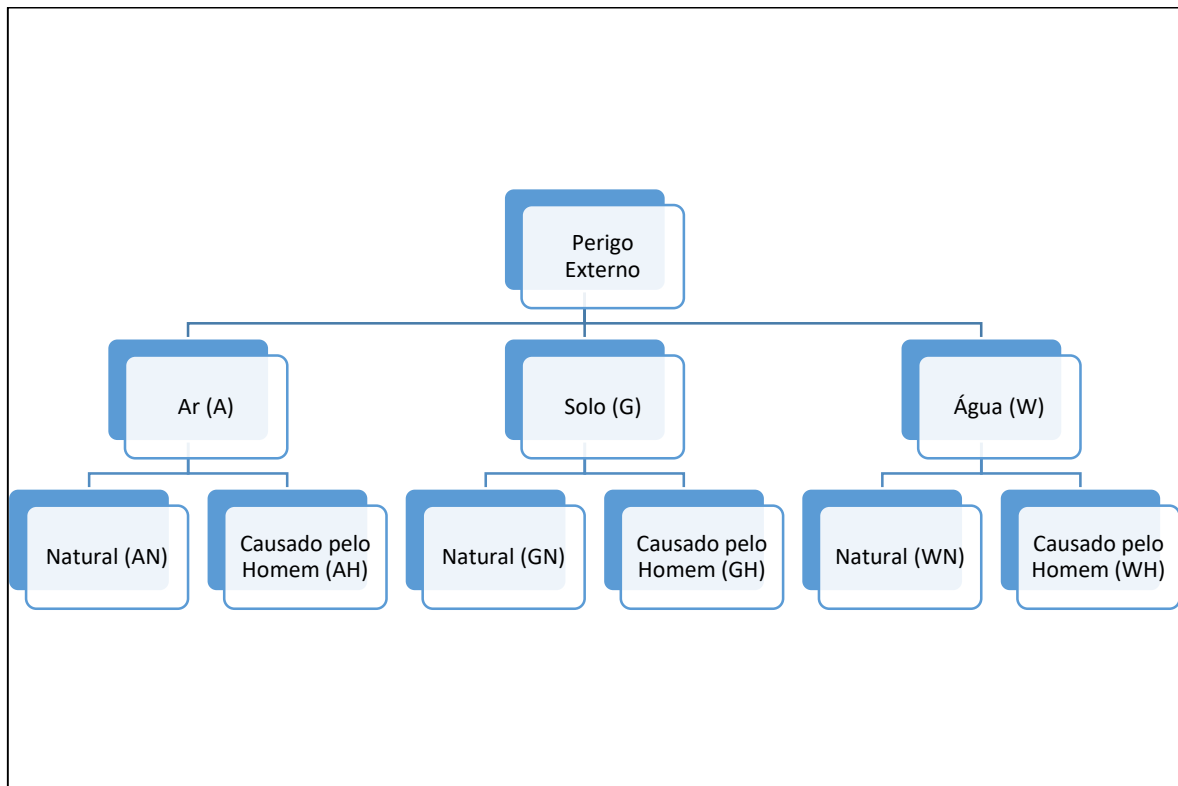


Figura 3 – Categorização dos Perigos Externos

A partir da lista de perigos externos, é importante identificar quais são os efeitos potenciais no reator, conforme ilustrado na Figura 4, para cada um dos perigos externos, com o intuito de correlacionar os impactos nos prédios e estruturas relevantes para a APS.

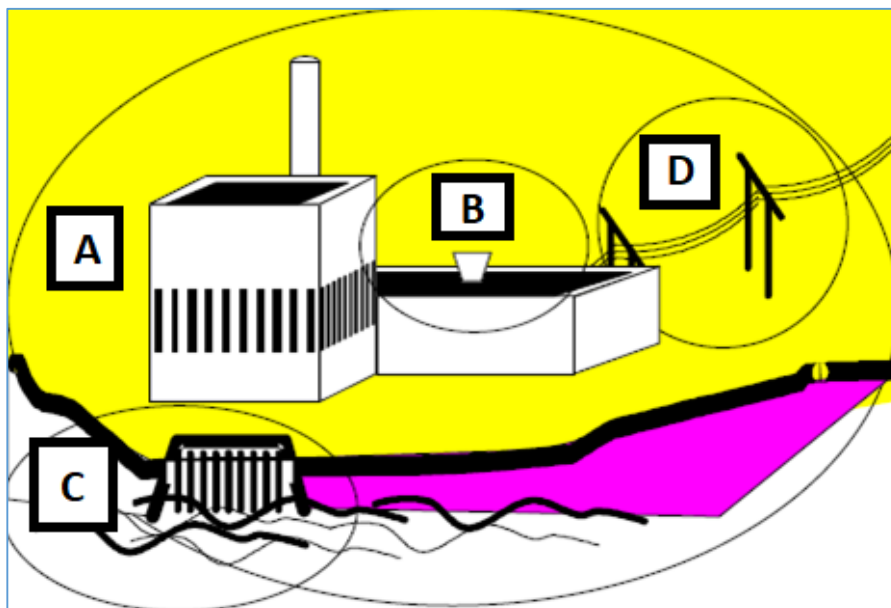


Figura 4 – Ilustração simplificada dos principais pontos de impacto de perigos externos (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

A Figura 4 apresenta os seguintes efeitos adversos de perigos externos nos prédios e estruturas:

- A. Efeitos na Estrutura: alguns perigos externos afetam a estrutura dos prédios da planta, podendo danificar os sistemas de segurança, componentes relacionados à segurança e/ou funções de segurança associadas. Esses eventos geralmente envolvem impacto direto ou geram onda de pressão nos prédios e estruturas;
- B. Efeitos na Ventilação e Ar Condicionado: em alguns casos, perigos externos podem afetar sistemas de ventilação e condicionamento de ar, ameaçando a operabilidade de componentes relacionados à segurança e/ou comprometendo a habitabilidade da sala de controle;
- C. Efeitos na Remoção de Calor: alguns eventos externos afetam a disponibilidade da remoção de calor do núcleo do reator. Esta categoria envolve, principalmente, eventos que afetam o fornecimento de água de resfriamento. Deve-se também analisar o impacto estrutural nos prédios e estruturas que recebem as rotas de água de resfriamento e segurança; e

D. Efeitos no Suprimento de Energia Elétrica: muitos perigos externos têm o potencial de gerar um evento iniciador que pode causar perda de alimentação elétrica externa.

#### 4.2.2 Identificação de Potenciais Perigos Externos Combinados

Dependendo da natureza e das características dos perigos externos, existe a possibilidade de mais de um perigo afetar quase que simultaneamente um reator nuclear, tal qual ocorreu no acidente de *Fukushima Daiichi*. Dessa forma, uma avaliação do impacto da combinação de perigos externos simultâneos, sequenciais e/ou correlatos é necessária. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

A identificação dos perigos externos combinados é baseada na lista de potenciais perigos externos únicos. É necessário destacar que todos os perigos externos incluídos na lista devem ser considerados antes que qualquer seleção seja realizada para os potenciais perigos externos únicos.

Deve-se levar em conta que um perigo externo único pode ser excluído da análise com base no seu impacto no reator, porém, quando combinado com outro perigo correlacionado, o impacto desta combinação pode não atender os critérios de eliminação da análise.

No entanto, ao contrário do caso dos perigos externos únicos, é necessário realizar uma pré-seleção, considerando as combinações relevantes. Isto se deve ao fato de que o número total de possíveis combinações é muito grande para permitir a análise de cada combinação (>1000 combinações de dois perigos). Assim, um conjunto de critérios de seleção de perigos combinados também deve ser definido. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

### **4.3 Etapa 3 - Processo de Seleção de Perigos Externos – Únicos e Combinados**

O objetivo desta etapa é identificar um conjunto completo de critérios qualitativos e quantitativos para o processo de seleção de perigos externos. Os critérios de seleção devem garantir que os perigos externos significativos sejam avaliados baseados no risco ao reator nuclear.

Além disso, um processo de seleção cuidadoso tende a tornar a modelagem usada para avaliar o risco mais eficiente e consistente ao longo da vida útil da planta. As práticas atuais indicam que há uma grande variedade de critérios que podem ser usados na seleção de perigos externos para que uma avaliação mais aprofundada possa ser feita na APS de Eventos Externos de um reator nuclear.

É importante ressaltar que a definição do conjunto de critérios e a aplicação dos critérios estabelecidos constituem uma das etapas mais importantes da APS de Eventos Externos. Dessa forma, cada perigo excluído da análise deverá ser devidamente justificado com base nos critérios estabelecidos.

Portanto, o estabelecimento de um conjunto de critérios de seleção tem como objetivo eliminar da análise os perigos externos, tanto únicos quanto combinados, que não são relevantes para o local do reator, que não podem ocorrer na planta ou nas regiões circunvizinhas, ou que tenham potencial de dano evidentemente muito baixo. Neste trabalho, propõe-se a comparação dos critérios de seleção apresentados no guia SKI 02:27, na norma ASME/ANS-RA-Sb-2013, no documento IAEA-TECDOC-1804 e no relatório técnico EPRI 3002005287 (Atualização do Relatório 1022997), com o intuito de estabelecer um conjunto geral de critérios de seleção. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003) (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013) (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

Primeiramente, o SKI Report 02:27 foi desenvolvido para fornecer uma abordagem ampla para a análise de eventos externos, com sequências claras de etapas e uma análise bem estruturada. O processo de seleção proposto neste relatório é baseado em quatro grupos de critérios apresentados na Tabela 2, que são: seleção por relevância (CR-1 a CR-4), seleção por impacto (CR-5 a CR-7), seleção determinística (CR- 5, CR-6 e CR-8) e seleção probabilística (CR-9). O

relatório SKI 02:27 também propõe um conjunto de critérios para perigos externos combinados (M1, M2, M3), o qual também é apresentado na Tabela 2. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Tabela 2 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o SKI Report 02:27 (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

<b>Código</b>	<b>Descrição do Critério</b>
<b>CR-1</b>	O evento não pode ocorrer próximo ao local da planta e de seus arredores relevantes em décadas futuras
<b>CR-2</b>	O evento deve ser incluído na definição de outro evento
<b>CR-3</b>	O evento não é aplicável ao sítio
<b>CR-4</b>	O evento já faz parte ou será incluído em algum outro estudo de APS
<b>CR-5</b>	O evento tem um potencial de dano menor ou igual ao de outro evento para o qual a planta foi projetada
<b>CR-6</b>	O tempo de previsibilidade do evento - A) é menor que o tempo especificado, ou B) a taxa de aumento da força do evento é baixa o suficiente para se tomar precauções previamente planejadas
<b>CR-7</b>	A severidade do evento em relação à planta já é conhecida, mas o trabalho de análise deve ser adiado porque a planta deve ser modificada, com efeitos notáveis em sua resistência
<b>CR-8</b>	Os efeitos da força máxima estimada do evento não excedem a base do projeto documentada ou a estimativa do especialista em relação à resistência. Isso significa que o evento não causa - A) durante a operação em potência, pelo menos, a necessidade de desligamento controlado ou scram e, adicionalmente, algumas perdas de sistemas de segurança necessários ou B) durante o desligamento, perdas de sistemas de segurança exigidos durante este desligamento
<b>CR-9</b>	A contribuição do evento para o risco é pequena e aceitável.
<b>M1</b>	a) Os eventos ocorrem independentemente um do outro no tempo; E b) a probabilidade de ocorrência simultânea é baixa
<b>M2</b>	a) Os eventos não ocorrem de forma independente no tempo; E b) evento combinado que esteja incluído na definição de um único evento já analisado pela instalação
<b>M3</b>	a) Os eventos não ocorrem independentemente no tempo; E

	<p>b) os eventos afetam a mesma função de segurança da planta; E</p> <p>c) o efeito combinado na função de segurança não é maior do que o efeito do mais grave dos eventos individuais envolvidos</p>
<b>M4</b>	Aplicação dos critérios de perigos únicos – após aplicação de M1, M2 e M3.

A partir da lista completa de perigos externos únicos e combinados, é possível avaliar se um evento potencial pode ser eliminado usando o conjunto de critérios apresentados acima. Deve existir consenso sobre a decisão de eliminar um evento potencial se esse evento atender a um determinado critério. Em geral, o SKI Report 02:27 fornece uma abordagem qualitativa ampla e especializada. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Vale ressaltar que a aplicação do critério CR-9 depende da realização de um cálculo prévio da métrica de risco estabelecida na análise e, conseqüentemente, de um banco de dados completo para a APS.

O documento IAEA-TECDOC-1804 também aborda o tratamento da APS de Eventos Externos com informações adicionais para sítios multiunidades e perigos externos combinados. A Tabela 3 resume os critérios de seleção propostos no IAEA-TECDOC-1804, que são classificados em dois grupos principais: qualitativos (HE-B1 a HE-B5) e quantitativos (HE-B6 a HE-B9). (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

Tabela 3 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o IAEA-TECDOC-1804 (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

<b>Código</b>	<b>Descrição do Critério</b>
<b>HE-B1</b>	A ocorrência do perigo não levará a um evento iniciador e/ou à degradação de um sistema de segurança. Este critério é aplicado apenas nos casos em que a conclusão é independente da gravidade do perigo
<b>HE-B2</b>	O perigo tem desenvolvimento lento e há tempo suficiente para evitar que o perigo afete a planta e pode ser mostrado que há tempo disponível para preparar e implantar uma resposta de modo a mitigar os efeitos do perigo com alta confiança
<b>HE-B3</b>	O perigo foi incluído na definição de outro perigo

<b>HE-B4</b>	A severidade máxima possível do perigo apresenta menor potencial de dano do que o evento de perigo da base de projeto
<b>HE-B5</b>	O perigo tem uma frequência média de ocorrência significativamente mais baixa do que outro perigo para o qual a planta foi projetada.
<b>HE-B6</b>	A) a planta tem uma base de projeto para o evento; e B) (frequência ocorrência do evento da base de projeto) X CCDP / CFDP (CLERP) < α% de CDF/FDF calculado para eventos internos.
<b>HE-B7</b>	A) a planta tem uma base de projeto para ambos os perigos; e B) (frequência ocorrência do perigo da base de projeto) x CCDP / CFDP (CLERP) < β% de CDF/FDF (LERF) calculado para eventos internos
<b>HE-B8</b>	Um perigo individual pode ser inspecionado a partir de uma análise mais detalhada se uma estimativa limitante ou comprovadamente conservadora de CDF/FDF (LERF) em toda a faixa de gravidade do evento for menor que α% dos eventos de CDF/FDF (LERF) calculado para eventos internos
<b>HE-B9</b>	O perigo correlacionado pode ser inspecionado a partir de uma análise mais detalhada se uma estimativa limitante ou comprovadamente conservadora de CDF / FDF / LERF em toda a faixa de gravidade do evento for inferior a 10% de CDF / FDF / LERF calculado para eventos internos
<b>HE-M1</b>	Os perigos individuais ou perigos correlacionados não têm o potencial de causar um evento iniciador que atinja várias unidades
<b>HE-M2</b>	Um perigo individual ou perigo correlacionado, se sujeito a uma análise realista detalhada, não teria uma contribuição significativa para as métricas de risco usadas em uma APS para multiunidades

Considerando os critérios definidos na Tabela 3, a recomendação apresentada no IAEA-TECDOC-1804 é efetuar uma aplicação progressiva desses critérios, por meio dos grupos de perigos previamente estabelecidos, para tornar a análise mais eficiente. Além disso, os critérios de seleção qualitativos (HE-B1 a HE-B5) são definidos de tal forma que apenas perigos desprezíveis sejam eliminados. Os critérios quantitativos (HE-B6 a HE-B9) baseiam-se no conceito de que uma estrutura, sistema ou componente (ESC) não irá falhar na ocorrência de um evento específico com determinada severidade por ser suficientemente conservador. Tanto α quanto β são definidos com base na métrica de risco estabelecida, no



número esperado de perigos aplicáveis e na contribuição esperada dos valores absolutos e relativos. A definição desses valores abrange quatro aspectos: análise de risco, análise da resposta de sistemas e estruturas da planta, avaliação da fragilidade dos sistemas e estruturas da planta e análise dos sistemas de segurança da instalação e das sequências acidentais da planta. (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

A norma ASME/ANS-Ra-Sb-2013 é utilizada, principalmente, na elaboração e aplicação de APS para usinas nucleares comerciais americanas e é endossada pela U.S. NRC. A Tabela 4 apresenta os critérios de seleção definidos para perigos externos definidos na norma ASME/ANS-Ra-Sb-2013. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013)

Tabela 4 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo a norma ASME/ANS-Ra-Sb-2013 (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013)

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
<b>EXT-B1-1</b>	O evento apresenta potencial igual ou menor de dano que os eventos para os quais a planta foi projetada. Isso requer uma avaliação das bases do projeto da planta para estimar a resistência das estruturas e sistemas da planta a um perigo externo específico.
<b>EXT-B1-2</b>	O evento tem uma frequência média de ocorrência significativamente menor do que outro evento, levando em consideração as incertezas nas estimativas de frequência <b>E</b> o evento não poderia resultar em consequências piores do que as consequências do outro evento.
<b>EXT-B1-3</b>	O evento não pode ocorrer próximo à planta de modo a afetá-la.
<b>EXT-B1-4</b>	O evento está incluído na definição de outro evento.
<b>EXT-B1-5</b>	O perigo tem desenvolvimento lento e pode ser demonstrado que há tempo suficiente para eliminar a fonte da ameaça ou fornecer uma resposta adequada
<b>EXT-B2</b>	A base de projeto para o evento atende aos critérios do <i>Standard Review Plan</i> (SRP) da U.S.NRC de 1975 ou uma versão posterior.
<b>EXT-C1-A</b>	O evento considerado na base de projeto não pode causar um acidente com dano ao núcleo.
<b>EXT-C1-B</b>	O evento da base de projeto atual para um perigo externo determinado tem uma frequência média

	<10 <sup>-5</sup> /ano e o valor médio do CCDP é avaliado como <0,1.
<b>EXT-C1-C</b>	A frequência de dano ao núcleo (CDF), calculada usando uma análise limitante ou comprovadamente conservadora, tem frequência média <10 <sup>-6</sup> /ano
<b>EXT-D1</b>	A base para a exclusão de um perigo deve ser confirmada por meio de uma análise da planta e de seus arredores

Finalmente, o relatório EPRI Technical Report 3002005287 (Update of Report 1022997) contém uma revisão da literatura existente relacionada à seleção de perigos externos, que inclui uma discussão sobre os métodos apresentados em referências anteriores. O principal objetivo do relatório EPRI é identificar um conjunto de critérios qualitativos e quantitativos para a seleção de perigos externos (Tabela 5) a serem usados nas centrais nucleares atendidas pelas equipes desta instituição. A experiência específica para a aplicação da metodologia EPRI em duas concessionárias americanas é apresentada no relatório. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

Tabela 5 – Critérios de Seleção de Eventos Externos segundo o EPRI Technical Report 3002005287 (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
<b>QL-1</b>	O perigo tem menor potencial de dano do que outros perigos semelhantes para os quais a planta foi projetada
<b>QL-2</b>	O perigo tem uma frequência média de ocorrência significativamente mais baixa do que a de outro perigo analisado, e o perigo não poderia resultar em consequências piores do que as do outro perigo.
<b>QL-3</b>	O perigo não pode ocorrer no local ou próximo o suficiente do local para afetar a planta
<b>QL-4</b>	O perigo está incluído na definição de outro perigo
<b>QL-5</b>	O perigo demora a se desenvolver, de modo que pode ser demonstrado que há tempo suficiente para eliminar a fonte da ameaça ou providenciar uma resposta adequada
<b>QL-6</b>	O perigo não causa um evento iniciador (incluindo a necessidade de um desligamento controlado), bem como perda de função de segurança.
<b>QL-7</b>	As consequências para a planta não resultam em desligamento do reator e não requerem a atuação dos sistemas de segurança do reator.
<b>QT-1</b>	CDF<10 <sup>-6</sup> /ano sem liberação ou falha da contenção

<b>QT-2</b>	Frequência do evento da base de projeto para o perigo específico $<10^{-5}$ /ano e CCDP $<0,1$ sem liberação ou falha da contenção
<b>QT-3</b>	CDF $<10^{-7}$ /ano com possível liberação e falha da contenção
<b>QT-4</b>	Frequência do evento da base de projeto para o perigo específico $<10^{-6}$ /ano e CCDP $<0,1$ com possível liberação e falha da contenção

Com base nos critérios apresentados na *Tabela 5*, a seleção qualitativa (QL-1 a QL-7) segue os mesmos princípios dos critérios recomendados nas demais referências analisadas neste trabalho. No entanto, a justificativa por trás do conjunto de critérios propostos no relatório técnico do EPRI inclui uma discussão sobre cada critério adotado, cita incompatibilidades entre conjuntos de critérios definidos por diferentes organizações e avalia a influência da opinião e julgamento de especialistas na aplicação dos mesmos. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)

Vale ressaltar que a comparação dos critérios expostos na *Tabela 2*, *Tabela 3*, *Tabela 4* e *Tabela 5* resultará em um conjunto de critérios gerais para a seleção de perigos externos, considerando as recomendações feitas nos documentos de referência e *insights* fornecidos pela compilação feita no relatório NEA/CSNI/R(2018)7, para manter uma aplicação consistente e coerente destes critérios. (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2018)

A *Tabela 6* contém a consolidação direta dos conjuntos de critérios definidos nos documentos analisados, estabelecendo um total de 27 critérios qualitativos para a seleção de perigos externos únicos, 12 critérios quantitativos para perigos externos únicos, 3 critérios de seleção de perigos externos combinados e 2 critérios de seleção para sítios com múltiplas unidades.

O processo de composição do conjunto de critérios gerais apresentado na *Tabela 6* é dividido em cinco colunas principais.

- Coluna 1 – código referente ao critério geral (G-1 a G-14);
- Coluna 2 – código do critério de referência;
  - Os códigos CR-1 a CR-9, M1, M2 e M3 correspondem aos critérios do SKI Report 02:27 (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003);

- Os códigos HE-B1 a HE-B9, HE-M1 e HE-M2 correspondem aos critérios da IAEA-TECDOC-1804 (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b);
  - Os códigos EXT-B1-1 a EXT-B1-5, EXT-C1 e EXT-D1 correspondem aos critérios da ASME/ANS-Ra-Sb-2013; (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2013);
  - Os códigos QL-1 a QL-7 e QT-1 a QT-4 correspondem aos critérios do EPRI Technical Report 3002005287. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)
- Coluna 3 – critério de seleção definido pela referência;
  - Coluna 4 – identificação do elemento do critério; e
  - Coluna 5 – definição do critério de seleção geral (G).

Os critérios para a seleção de perigos externos combinados (G-11 a G-14) são propostos a partir dos critérios qualitativos (M1, M2 e M3) estabelecidos no guia SKI 02:27 e os critérios quantitativos HE-B7 e HE-B9 definidos em IAEA-TECDOC-1804. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016b)

Para que a metodologia proposta seja aplicada de forma eficiente diante dos critérios de seleção indicados, o primeiro passo a ser realizado será a seleção para perigos externos únicos e, em seguida, com o resultado do processo, o qual influenciará o critério G-14, será realizada a seleção de perigos externos combinados.

Portanto, em linhas gerais, a identificação e seleção de perigos externos combinados utiliza a abordagem a seguir:

- A combinação de cada perigo externo (ar, terra e água) é investigada.
- Eventos externos que foram originalmente excluídos da análise como perigos externos únicos usando os critérios de seleção G-1, G-2 e G-6 não são considerados como candidatos relevantes para uma determinada combinação.

➤ Uma combinação de eventos externos é considerada relevante se a combinação tiver efeitos mais severos ou adicionais na planta em comparação com aqueles do evento externo único.

Tabela 6 - Conjunto de Critérios de Seleção para Perigos Externos

<b>Código</b>	<b>Referência</b>	<b>Critério de Referência</b>	<b>Elemento</b>	<b>Definição de Critério Adotado</b>
<b>G-1</b>	CR-1	O evento não pode ocorrer perto o suficiente do local e de seus arredores relevantes durante as próximas décadas.	Distância	O perigo não pode ocorrer no local ou em seus arredores de modo a afetar a planta, considerando também décadas futuras.
	EXT-B1-3	O evento não pode ocorrer perto o suficiente da planta para afetá-la.		
	QL-3	O perigo não pode ocorrer no local ou perto o suficiente do local para afetar a planta.		
	<b>Comentários</b>	De acordo com o relatório do EPRI, esse critério é de fácil entendimento e o analista deve ter a capacidade de aplicá-lo de maneira objetiva, exigindo pouco julgamento subjetivo. O relatório do SKI aponta, especificamente, que o critério deve abordar as mudanças durante as décadas futuras. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015) (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)		
<b>G-2</b>	CR-2	O evento deve ser incluído na definição de outro evento.	Inclusão	O perigo está incluído na definição de outro perigo.
	HE-B4	A severidade máxima possível do perigo é de menor potencial de dano do que o perigo considerado na base de projeto para outro perigo que afeta do mesmo modo os mesmos sistemas, estruturas e componentes.		
	EXT-B1-4	O evento está incluído na definição de outro evento.		
	QL-4	O perigo está incluído na definição de outro perigo.		
	<b>Comentários</b>	Sem comentários adicionais.		
<b>G-3</b>	CR-4	O evento já está incluído ou planejado para ser incluído em algum outro estudo (APS).	APS Específica	O perigo já está incluído ou planejado para ser incluído em algum outro estudo (APS Específica)
	<b>Comentários</b>	Esse critério aparece de forma destacada somente no relatório do SKI 02:27. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)		

Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
G-4	CR-3	O evento não é aplicável ao sítio.	Frequência	O perigo tem uma frequência média de ocorrência significativamente menor do que outro perigo analisado, e o perigo não poderia resultar em consequências piores.
	HE-B5	O perigo tem uma frequência média de ocorrência significativamente mais baixa do que outro perigo para o qual a planta foi projetada.		
	EXT-B1-2	O evento tem uma frequência média de ocorrência significativamente menor do que outro evento, levando em consideração as incertezas nas estimativas de frequência e o evento não poderia resultar em consequências piores do que as consequências do outro evento.		
	QL-2	O perigo tem uma frequência média de ocorrência significativamente mais baixa do que outro perigo analisado, e o perigo não poderia resultar em consequências piores do que o outro perigo.		
	<b>Comentários</b>	Este critério deve ser utilizado de maneira comparativa com perigos que já tenham sido excluídos da análise. Por exemplo, se um evento de geração de mísseis da turbina principal foi excluído devido à geração de mísseis com energia menor do que estabelecido como critério de projeto, então é esperado que eventos com mísseis gerados em turbinas com energia menor também possam ser excluídos da análise. (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015)		
G-5	CR-5	O evento tem um potencial de dano menor ou igual a outro evento para o qual a planta já foi projetada.	Severidade	O perigo tem menor potencial de dano do que outros perigos semelhantes para os quais a planta foi projetada.
	HE-B1	A ocorrência do perigo não levará a um evento iniciador e/ou à degradação de um sistema de segurança. Este critério é aplicado apenas nos casos em que a conclusão independe da gravidade do perigo.		

Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
	EXT-B1-1	O evento apresenta potencial igual ou menor de dano que os eventos para os quais a planta foi projetada. Isso requer uma avaliação das bases do projeto da planta para estimar a resistência das estruturas e sistemas da planta a um perigo externo específico.		
	QL-1	O perigo tem menor potencial de dano do que outros perigos semelhantes para os quais a planta foi projetada.		
	<b>Comentários</b>	Em relação aos critérios apresentados, é necessário destacar os seguintes pontos: 1) o critério não deve ser utilizado, de forma geral, para excluir perigos que estão na base de projeto; e 2) o critério é utilizado para perigos cujos impactos serão significativamente menores dos quais a instalação é projetada.		
<b>G-6</b>	CR-6	O tempo de antecipação do evento - A) é menor que o tempo especificado, ou B) a taxa de aumento da força do evento é baixa o suficiente para a realização da precaução pré-planejada.	Aviso / Previsibilidade	O perigo tem desenvolvimento lento e pode ser demonstrado que há tempo suficiente para eliminar a fonte da ameaça ou fornecer uma resposta adequada.
	HE-B2	O perigo se desenvolve de maneira lenta e há tempo suficiente para evitar que o perigo afete a planta e pode ser mostrado que é viável, dentro do tempo disponível, preparar e implantar uma resposta para mitigar os efeitos do perigo com alta confiança.		
	EXT-B1-5	O perigo tem desenvolvimento lento e pode ser demonstrado que há tempo suficiente para eliminar a fonte da ameaça ou fornecer uma resposta adequada.		
	QL-5	O perigo demora a se desenvolver, de modo que pode ser demonstrado que há		



Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
		tempo suficiente para eliminar a fonte da ameaça ou fornecer uma resposta adequada.		
	<b>Comentários</b>	O critério apresentado é comum a todas as referências, considerando que as medidas a serem implantadas demandam um tempo consideravelmente menor que o tempo de evolução do acidente.		
G-7	HE-B1	A ocorrência do perigo não levará a um evento iniciador e/ou à degradação de um sistema de segurança. Este critério é aplicado apenas nos casos em que a conclusão independe da gravidade do perigo.	Capacidade de Gerar Eventos Iniciadores	A ocorrência do perigo não levará a um evento iniciador e/ou à degradação de sistema de segurança.
	QL-6	O perigo não causa um evento iniciador (incluindo a necessidade de um desligamento controlado), bem como perda de função de segurança.		
	<b>Comentários</b>	Se um perigo externo não causa um evento iniciador e independe da magnitude estimada do perigo, entende-se que o risco de dano ao núcleo não é relevante, pois seria equivalente a um transiente durante a operação normal.		
G-8	CR-8	Os efeitos da força máxima estimada dos eventos não excedem a base do projeto ou a estimativa do especialista baseada na resistência. Isso significa que o evento não causa - A) durante a operação em potência, pelo menos, a necessidade de desligamento controlado ou SCRAM e, adicionalmente, algumas perdas de sistemas de segurança ou B) durante o desligamento, perdas de sistemas de segurança exigidos especificamente no desligamento.	Impacto	As consequências para a planta não resultam em desligamento do reator e não requerem a atuação de sistemas de segurança.
	QL-7	As consequências para a planta não resultam em desligamento do reator e		

Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
		não requerem a atuação dos sistemas de segurança do reator.		
	<b>Comentários</b>	O critério G-8 tem definição similar à do critério G-7, porém o critério G-8 desafia, especificamente, as bases de projeto estabelecidas para um determinado perigo externo em relação aos efeitos sobre sistemas de segurança.		
<b>G-9</b>	CR-9	A contribuição do evento ao risco associado ao reator é pequena e aceitável.	Métricas Condicionais de Risco	A) Frequência de ocorrência do perigo da base de projeto $< 10^{-5}$ /ano e CCDP $< 0,1$ sem liberação de radioatividade ou falha da contenção; ou  B) Frequência de ocorrência do perigo da base de projeto $< 10^{-6}$ /ano e CCDP $< 0,1$ com liberação de radioatividade ou falha da contenção.
	HE-B6	A) o perigo é considerado na base de projeto da planta; e  B) (frequência de ocorrência do perigo da base de projeto) X CCDP / CFDP (CLERP) $< \alpha\%$ dos eventos internos CDF/FDF.		
	EXT-C1-B	O perigo externo considerado na atual base de projeto tem uma frequência média de ocorrência $< 10^{-5}$ /ano e o valor médio do CCDP é avaliado como $< 0,1$ .		
	QT-2	Frequência do evento da base de projeto para o perigo específico $< 10^{-5}$ /ano e CCDP $< 0,1$ sem liberação de radioatividade ou falha da contenção		
	QT-4	Frequência do evento da base de projeto para o perigo específico $< 10^{-6}$ /ano e CCDP $< 0,1$ com possível liberação e falha da contenção.		
	<b>Comentários</b>	As métricas condicionais de risco são comuns a todas as referências utilizadas. O documento IAEA-TECDOC-1804 apresenta $\alpha$ como uma estimativa a ser definida pelos analistas e especialistas durante a aplicação do método. Dessa forma, levando em consideração o exposto nas demais referências, fica convencionado que $\alpha$ é igual a 0,1.		

Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
G-10	CR-9	A contribuição do evento para o risco associado ao reator nuclear é pequena e aceitável.	Métricas Absolutas de Risco	A) CDF < $10^{-6}$ /ano sem liberação de radioatividade ou falha da contenção; ou B) CDF < $10^{-7}$ /ano com liberação de radioatividade ou falha da contenção.
	EXT-C1-C	A frequência de dano ao núcleo, calculada usando uma análise limitante ou comprovadamente conservadora, tem frequência média < $10^{-6}$ /ano.		
	QT-1	CDF < $10^{-6}$ /ano sem liberação de radioatividade ou falha da contenção.		
	QT-3	CDF < $10^{-7}$ /ano com possível liberação de radioatividade e falha da contenção.		
	<b>Comentários</b>	O critério G-10 é uma composição dos critérios apresentados pelas referências consultadas dado que o documento SKI Report 02:27, por exemplo, não indica um critério quantitativo para o critério em questão.		
G-11	M1	Os eventos ocorrem independentemente um do outro no tempo e a probabilidade de ocorrência simultânea é baixa.	Independência	A) Os eventos ocorrem independentemente um do outro no tempo; B) A probabilidade de ocorrência simultânea dos eventos é baixa.
	HE-B7	A) a planta considera ambos os perigos na base de projeto; e  B) (frequência ocorrência do perigo na base de projeto) x CCDP / CFDP (CLERP) < $\beta\%$ do CDF/FDF calculado para eventos internos.		
	<b>Comentários</b>	O critério geral adotado apresenta, fundamentalmente, uma abordagem qualitativa para permitir que o analista possa estabelecer a especificidade do modelo de independência de perigos externos combinados. O documento IAEA-TECDOC-1804 apresenta $\beta$ como uma estimativa a ser definida pelos analistas e especialistas durante a aplicação do método. Dessa forma, levando em consideração o exposto nas demais referências consultadas, fica convencionado que $\beta$ é menor ou igual a 1.		
G-12	M2	Os eventos não ocorrem de forma independente no tempo e eventos múltiplos incluídos na definição de um	Definição	A) Os eventos não ocorrem de forma independente no tempo; e

Código	Referência	Critério de Referência	Elemento	Definição de Critério Adotado
		único evento, que é analisado para a planta.		B) Perigos combinados incluídos na definição de um perigo único, que já é analisado para a planta.
	<b>Comentários</b>	Critério originalmente estabelecido no SKI Report 02:27.		
G-13	M3	Os eventos não ocorrem independentemente no tempo E os eventos afetam a mesma função da planta E o efeito combinado na função de segurança não é maior que o efeito do mais grave dos eventos individuais envolvidos.	Severidade	A) Os eventos não ocorrem independentemente no tempo; e B) Os eventos afetam a mesma função da planta; e C) O efeito combinado na função de segurança não é maior que o efeito do mais grave dos eventos individuais envolvidos.
	HE-B9	O risco correlacionado pode ser rastreado a partir de uma análise mais detalhada se uma estimativa limitante ou comprovadamente conservadora de CDF / FDF (LERF) em toda a faixa de gravidade do perigo for inferior a 10% do CDF / FDF (LERF) calculado para eventos internos.		
	<b>Comentários</b>	O critério G-13 foi mantido conforme estabelecido no critério M3 do SKI Report devido à abrangência deste critério.		
G-14	M4	Aplicação dos critérios de seleção de perigos externos únicos – após aplicação de M1, M2 e M3.	Critério de Seleção Perigos Externos Únicos	Aplicação dos critérios de seleção de perigos externos únicos – após aplicação de G-11, G-12 e G-13.
	<b>Comentários</b>	Sem comentários adicionais.		

#### 4.4 Etapa 4 – Análise da Resposta da Planta

A Etapa 4 da metodologia tem como foco principal definir e reunir as informações necessárias para analisar a resposta da planta em relação aos perigos externos determinados após o processo de seleção.

Dessa forma, o conjunto de informações deve ser composto por características de projeto relevantes, como por exemplo: critérios estruturais, funções de sistemas de segurança (ativos / passivos), interações humanas para proteção e mitigação de acidentes, entre outras, com o intuito de avaliar os possíveis impactos dos perigos externos no reator. (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)

Conseqüentemente, a análise da resposta da planta deve cobrir o espectro completo das respostas não desejadas considerando as seguintes informações:

1. Comportamento de estruturas, sistemas e componentes após a ocorrência do perigo externo, incluindo avaliação da possibilidade da geração de eventos iniciadores; e
2. Caracterização detalhada dos perigos externos selecionados nas etapas anteriores.

Esta tarefa é uma das mais extensas do processo analítico, pois envolve uma inspeção detalhada da planta, um estudo minucioso da configuração da mesma, a realização da análise de carregamento/fragilidade e uma análise dos procedimentos operacionais.

O objetivo desta tarefa é determinar modo(s) de falha específico(s) para cada ESC vulnerável ao perigo externo. No contexto da APS, a falha deve ser identificada considerando a função de segurança desempenhada por um determinado ESC.

A determinação dos modos de falha, usualmente, é realizada por meio da análise de carregamento e análise de fragilidade em decorrência de um perigo externo. Normalmente, a carga de entrada é parametrizada considerando uma

variável única, como por exemplo, a máxima aceleração do solo – *peak ground acceleration* - para terremotos.

Além disso, neste ponto da análise, entende-se que os resultados obtidos serão os eventos externos a serem modelados e quantificados.

O detalhamento dos perigos externos selecionados deve ser efetuado para subsidiar as análises descritas na seção 4.4.2. Dessa forma, esta etapa da análise deve gerar informações gerais, de forma conservadora, sobre a resposta do reator em relação aos perigos externos relevantes, a saber:

1. Capacidade de cada perigo externo em desencadear eventos iniciadores de acidente;
2. Grau de degradação das funções de segurança do reator;
3. Indisponibilidade de sistemas de proteção e mitigação; e
4. Capacidade dos procedimentos emergenciais serem realizados de forma satisfatória.

#### **4.5 Etapa 5 – Modelagem Probabilística e Quantificação**

Ao se chegar nesta etapa, entende-se que o analista tenha realizado as Etapas 1 a 4, além de dispor da modelagem da APS de Eventos Internos. Os principais objetivos são modelar e quantificar as árvores de eventos e árvores de falhas especificamente para os eventos externos relevantes.

Assim, em termos gerais, um evento externo é modelado da mesma forma que um evento de causa comum é modelado na APS de Eventos Internos. Conseqüentemente, as informações necessárias para a modelagem de cada evento externo são:

1. Escolha do transiente e/ou grupo de eventos iniciadores de acidente que o evento externo provoca no reator. Essa informação pode ser obtida pela Etapa 4;
2. Desenvolvimento da árvore de falhas dos eventos iniciadores provocados pelo evento externo em estudo;

3. Reavaliar e modificar a árvore de eventos para representar de forma coerente a sequência acidental provocada pelo evento externo; e
4. Quantificar a métrica de risco adotada (por exemplo, CDF) e calcular medidas de importância.

## **5 ESTUDO DE CASO**

Com o propósito de apresentar uma aplicação da metodologia descrita na Seção 4 para desenvolvimento da APS de Eventos Externos, seguindo os requisitos e diretrizes atualmente adotados na indústria nuclear, foi elaborado um estudo de caso simplificado para um reator experimental do tipo PWR.

Neste estudo, a aplicação da metodologia consiste, em linhas gerais, no levantamento de informações relevantes do sítio e do reator nuclear (Etapa 1), na identificação de potenciais perigos externos únicos e combinados (Etapa 2), e na seleção de perigos externos únicos (parte da Etapa 3) para um reator nuclear experimental em fase de projeto localizado no interior do Estado de São Paulo, conforme apresentado na Tabela 1.

A análise da resposta da planta e do sítio em relação aos perigos externos selecionados na Etapa 3, incluindo a determinação dos eventos iniciadores de acidente (Etapa 4), assim como a análise probabilística de segurança dos eventos externos (Etapa 5) poderão ser realizadas com o avanço do projeto do reator. Dessa forma, somente após a conclusão da Etapa 5 será possível calcular a frequência de danos ao núcleo (CDF) induzido por perigos externos naturais e induzidos pelo homem.

A partir da definição de CDF como métrica quantitativa específica para a APS de Eventos Externos, pode-se efetuar comparações com valores de CDF normalmente estabelecidos como limites em normas, guias ou estudos similares. Além disso, será possível evidenciar possíveis fragilidades e pontos passíveis de alteração no projeto, construção e operação do reator nuclear experimental desenvolvido no interior do Estado de São Paulo.

### **5.1 – Etapa 1 – Planejamento e compilação de informações iniciais**

#### **5.1.1 – Localização e Descrição do Sítio**

O sítio escolhido para a implantação do reator experimental do tipo PWR está localizado no interior do Estado de São Paulo, na região do município de Sorocaba.



A escolha dessa região mostrou-se adequada para um estudo de caso por ser o local escolhido para a futura implantação de outros projetos da área nuclear, tais como:

- Reator Multipropósito Brasileiro (RMB): empreendimento desenvolvido no âmbito da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da CNEN (DPD/CNEN), por meio de recursos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). O RMB terá um reator nuclear de pesquisa do tipo Piscina Aberta com o intuito de apoiar as áreas de saúde, indústria, meio ambiente, agricultura, e o ciclo do combustível nuclear;
- Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE): empreendimento da Marinha do Brasil (MB) que consiste em um reator nuclear de potência compacto com o intuito de dar subsídio tecnológico e operacional para o submarino brasileiro com propulsão nuclear; e
- Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA): empreendimento da MB que concentra as instalações do ciclo do combustível nuclear.

Esta região supre as necessidades dos empreendimentos quanto à disponibilidade de infraestrutura, facilidade para a aquisição de matéria-prima e outros componentes do processo industrial, redução dos custos de implantação e operação, e contratação de serviços.

A Figura 5 apresenta a macrorregião de implantação do reator experimental.

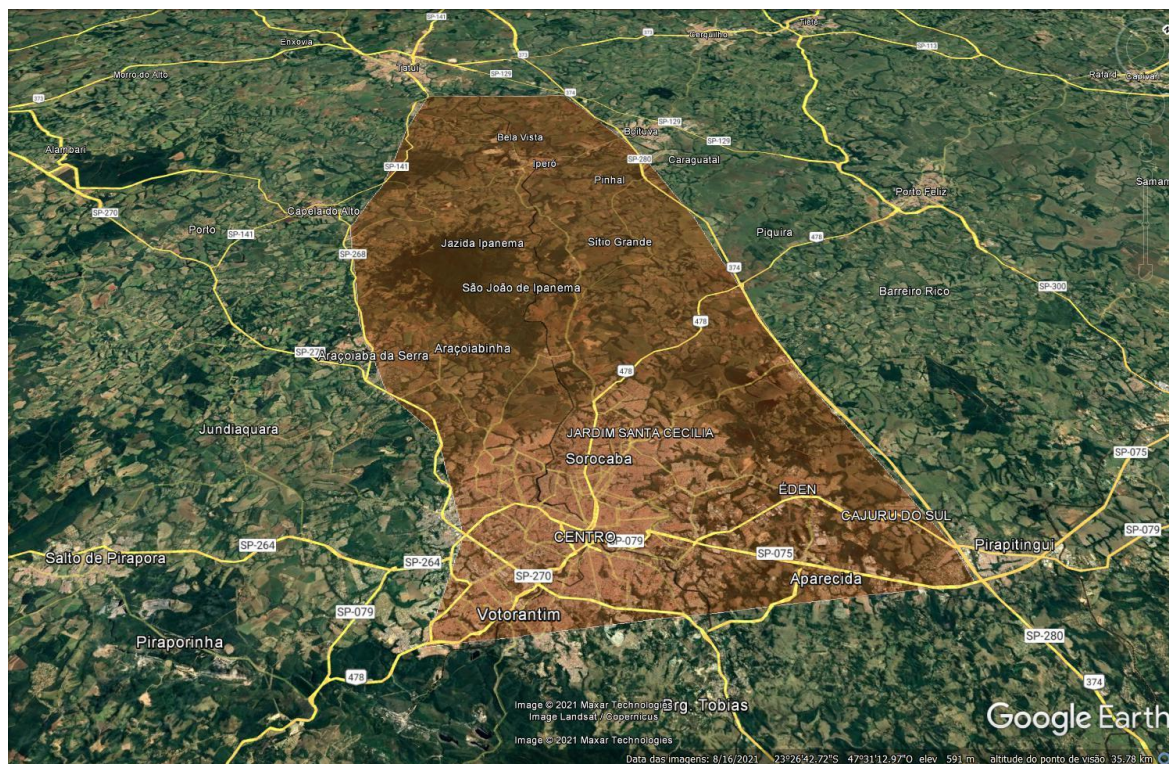


Figura 5 - Local do Sítio do reator nuclear experimental do tipo PWR - Sorocaba-SP

### 5.1.2 – Descrição Geral do Reator Nuclear Experimental

O reator nuclear experimental considerado no estudo de caso é um reator do tipo água leve pressurizada (PWR) com potência térmica menor que 200 MWth.

As principais edificações e estruturas deste reator são:

- Prédio da Contenção do Reator (PCR);
- Prédio da Turbina e Geração de Energia (PTGE);
- Prédio de Estocagem de Combustíveis Irrradiados (PECI);
- Prédio de Estocagem de Combustíveis Novos (PECN);
- Prédio de Tratamento de Rejeitos (PTR);
- Prédio de Alimentação de Água de Resfriamento de Segurança (PAARS);
- Subestação Elétrica Principal A (SUB-A);
- Subestação Elétrica Auxiliar B (SUB-B); e
- Prédio Administrativo (PA).

O reator experimental em estudo está atualmente em fase de projeto e não possui histórico operacional. A Tabela 7 apresenta os prédios e estruturas relevantes para a APS de Eventos Externos considerando a aplicação dos critérios apresentados na Seção 4.

Tabela 7 - Prédios e Estruturas Relevantes para a APS de Eventos Externos

<b>Prédio/Estrutura</b>	<b>Descrição</b>	<b>Relevante para a APS</b>
<b>PCR</b>	Prédio da Contenção do Reator	SIM
<b>PTGE</b>	Prédio da Turbina e Geração de Energia	SIM
<b>PAARS</b>	Prédio de Alimentação de Água de Resfriamento de Segurança	SIM
<b>PECI</b>	Prédio de Estocagem de Combustível Irradiado	NÃO <sup>1</sup>
<b>PECN</b>	Prédio de Estocagem de Combustível Novo	NÃO
<b>PTR</b>	Prédio de Tratamento de Rejeitos	NÃO
<b>SUB-A</b>	Subestação Elétrica Principal A	SIM
<b>SUB-B</b>	Subestação Elétrica Auxiliar B	SIM
<b>PA</b>	Prédio Administrativo	NÃO

Nota 1: O foco da presente análise é referente à fonte de radiação contida no núcleo do Reator; a Piscina de Combustível Irradiado, que é outra fonte de radiação, poderá ser implantada posteriormente com o intuito de realizar uma análise de escopo estendido.

As Tabela 8 a Tabela 12 apresentam as informações detalhadas dos prédios relevantes. A estrutura da tabela será mantida para todos os prédios relevantes, com o intuito elencar as seguintes informações:

- Descrição Básica do Prédio/Estrutura
  - Abreviação e nome do prédio/estrutura
  - Descrição do prédio/estrutura
  - Descrição das funções a serem desempenhadas por ESC localizados no prédio
- Base de dados relacionados a perigos externos
  - Informações estruturais – classificação sísmica, atendimento a critérios de ventos e de sobrepressão;
  - Influência nos sistemas de ventilação e ar-condicionado;
  - Influência para a disponibilidade da remoção de calor da planta; e
  - Influência para a disponibilidade do fornecimento de energia elétrica.

Tabela 8 – Características de Projeto do Prédio da Contenção do Reator

PRÉDIOS E ESTRUTURAS RELEVANTES PARA A APS DE EVENTOS EXTERNOS
<b>PRÉDIO DA CONTENÇÃO DO REATOR (PCR)</b>
<p><b>Descrição:</b> É o prédio que contém o vaso de pressão do reator e todos os sistemas e componentes necessários para a sua operação. Os sistemas de segurança encontram-se instalados, em sua maioria, dentro do PCR.</p>
<p><b>Função:</b> Abrigar o vaso de pressão do reator e todos os sistemas e componentes necessários para a operação.</p>
<p><b>Critério de Projeto Estrutural</b></p> <p>O PCR apresenta os seguintes critérios de projeto estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Classe Sísmica 1 – suporta o sismo base de projeto e o sismo de desligamento seguro (aceleração de 0,1g);</li> <li>○ Resistente a Onda de Pressão – sobrepressão devido à explosão de TNT em área próxima;</li> <li>○ Resistente ao Tornado da base de projeto</li> <li>○ Projetado contra o Vento da base de projeto (45m/s)</li> </ul>
<p><b>Ventilação</b></p> <p>O Sistema de Ventilação e Ar-Condicionado do PCR tem como função:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manter as condições definidas para o ar ambiente e, ao mesmo tempo, remover todos os ganhos de calor;</li> <li>○ Manter pressões negativas definidas para evitar a entrada de qualquer matéria radioativa no ar ambiente; e</li> <li>○ Remover qualquer radioatividade por filtração do ar de recirculação ou pela exaustão do ar através de sistemas de filtros</li> </ul>
<p><b>Remoção de Calor</b></p> <p>O sistema de remoção de calor normal e o sistema de emergência têm como usuário o reator que está alojado no prédio</p>
<p><b>Fornecimento de Energia</b></p> <p>Não aplicável</p>
<p><b>Outros</b></p> <p>Não aplicável</p>

Tabela 9 - Características de Projeto do Prédio da Turbina e Geração de Energia

PRÉDIOS E ESTRUTURAS RELEVANTES PARA A APS DE EVENTOS EXTERNOS	
PRÉDIO DA TURBINA E GERAÇÃO DE ENERGIA (PTGE)	
<b>Descrição:</b>	É o prédio que contém os componentes do ciclo de geração de vapor, água de alimentação em operação normal e inclui a turbina e o sistema de condensadores.
<b>Função:</b>	Abrigar a turbina de alta e baixa pressão, o gerador, os componentes do ciclo térmico de vapor, o sistema de fornecimento de água principal, os condensadores, e outros sistemas auxiliares da planta. Não desempenha função de segurança nuclear.
<b>Critério de Projeto Estrutural</b>	<p>O PTGE apresenta os seguintes critérios de projeto estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Não Sísmico 1 com critério adicional – não colapsa durante o sismo base de projeto e o sismo de desligamento seguro para não afetar negativamente o PCR;</li> <li>○ Resistente a Onda de Pressão – sobrepressão devido à explosão de TNT em área próxima;</li> <li>○ Resistente ao Tornado da base de projeto</li> <li>○ Projetado contra o Vento da base de projeto (45m/s)</li> </ul>
<b>Ventilação</b>	O Sistema de Ventilação e Ar Condicionado do PTGE não apresenta funções relacionadas à segurança. Funcionará no modo de ventilação forçada para evitar entrada de poeira.
<b>Remoção de Calor</b>	Abriga os sistemas de água de resfriamento para operação normal.
<b>Fornecimento de Energia</b>	Não aplicável
<b>Outros</b>	Não aplicável

Tabela 10 - Características de Projeto do Prédio de Alimentação de Água de Resfriamento de Segurança

PRÉDIOS E ESTRUTURAS RELEVANTES PARA A APS DE EVENTOS EXTERNOS	
PRÉDIO DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO DE SEGURANÇA (PAARS)	
<b>Descrição:</b>	É o prédio que contém os sistemas de água de resfriamento de segurança e funciona como dissipador de calor final ( <i>ultimate heat sink</i> )
<b>Função:</b>	Abrigar os sistemas de resfriamento de emergência para utilização durante acidentes.
<b>Critério de Projeto Estrutural</b>	<p>O PAARS apresenta os seguintes critérios de projeto estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Classe Sísmica 1 – suporta o sismo base de projeto e o sismo de desligamento seguro (aceleração de 0,1g);</li> <li>○ Resistente a Onda de Pressão – sobrepressão devido à explosão de TNT em área próxima;</li> <li>○ Resistente ao Tornado base de Projeto</li> <li>○ Projetado contra o Vento base de projeto (45m/s)</li> </ul>
<b>Ventilação</b>	<p>O Sistema de Ventilação e Ar Condicionado do PAARS tem como função:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manter as condições definidas para o ar ambiente e, ao mesmo tempo, remover todos os ganhos de calor;</li> </ul>
<b>Remoção de Calor</b>	<p>O prédio abriga o Sistema de Água de Resfriamento de Segurança do Reator que trabalha também como o dissipador de calor final.</p>
<b>Fornecimento de Energia</b>	Não aplicável
<b>Outros</b>	Não aplicável

Tabela 11 – Características de Projeto da Subestação Elétrica Principal A

PRÉDIOS E ESTRUTURAS RELEVANTES PARA A APS DE EVENTOS EXTERNOS	
SUBESTAÇÃO ELÉTRICA PRINCIPAL A (SUB-A)	
<b>Descrição:</b>	É a estrutura que fornece energia elétrica para as áreas do reator durante a operação normal.
<b>Função:</b>	Abrigar os grupos diesel geradores, sala de baterias, transformadores, painéis elétricos e equipamentos elétricos de baixa e alta tensão.
<b>Critério de Projeto Estrutural</b>	A SUB-A apresenta critérios projeto estrutural convencionais, sem critérios adicionais
<b>Ventilação</b>	O Sistema de Ventilação e Ar Condicionado da SUB-A não apresenta funções relacionadas à segurança. Funcionará no modo de ventilação forçada para evitar entrada de poeira.
<b>Fonte Fria</b>	Não aplicável
<b>Fornecimento de Energia</b>	É responsável pelo fornecimento de energia em operação normal. Falhas desse prédio podem acarretar na utilização da SUB-B
<b>Outros</b>	Não aplicável

Tabela 12 – Características de Projeto da Subestação Elétrica Auxiliar B

PRÉDIOS E ESTRUTURAS RELEVANTES PARA A APS DE EVENTOS EXTERNOS	
<b>SUBESTAÇÃO ELÉTRICA AUXILIAR B (SUB-B)</b>	
<b>Descrição:</b>	É o prédio que contém os sistemas de fornecimento de energia elétrica de emergência como os grupos diesel geradores de emergência
<b>Função:</b>	Abrigar os sistemas de fornecimento elétrico de emergência além dos trens dos grupos diesel geradores de emergência.
<b>Critério de Projeto Estrutural</b>	<p>O SUB-B apresenta os seguintes critérios de projeto estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Classe Sísmica 1 – suporta o sismo base de projeto e o sismo de desligamento seguro (aceleração de 0,1g);</li> <li>○ Resistente a Onda de Pressão – sobrepressão devido à explosão de TNT em área próxima;</li> <li>○ Resistente ao Tornado da base de projeto</li> <li>○ Projetado contra o Vento da base de projeto (45m/s)</li> </ul>
<b>Ventilação</b>	<p>O Sistema de Ventilação e Ar-Condicionado da SUB-B tem como função:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manter as condições definidas para o ar ambiente e, ao mesmo tempo, remover todos os ganhos de calor; e</li> <li>○ Remover qualquer radioatividade por filtração do ar de recirculação ou pela exaustão do ar através de sistemas de filtros</li> </ul>
<b>Fonte Fria</b>	Não aplicável
<b>Fornecimento de Energia</b>	É o sistema de segurança responsável pelo fornecimento de energia elétrica em estado de emergência
<b>Outros</b>	Não aplicável



### 5.1.3 – Escopo e Premissas para a APS de Eventos Externos

Na elaboração de um estudo de APS de Eventos Externos é necessária a definição do escopo e das premissas da análise. Dessa forma, os tópicos a seguir contêm essas informações, a saber:

- a. O reator nuclear proposto se encontra em fase de projeto;
- b. A base de projeto do reator para os perigos externos se resume aos perigos estabelecidos em normas e exigidos para o desenvolvimento do relatório de análise de segurança da instalação, segundo o guia regulador NUREG-0800; (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2020)
- c. Os perigos externos resultantes de outras instalações nucleares e/ou do ciclo do combustível não serão analisados;
- d. Supõe-se que o reator nuclear do estudo de caso é a única instalação nuclear do sítio;
- e. Supõe-se que o aquecimento global ou outras mudanças climáticas terá efeito pouco significativo para os resultados da análise apresentada;
- f. Os perigos externos considerados no escopo de outras APS específicas não serão avaliados (por exemplo: APS de Eventos Sísmicos); e
- g. Eventos resultantes de guerras, atos de sabotagem ou terrorismo não serão considerados;
- h. As informações referentes ao funcionamento e modos de falha dos sistemas e equipamentos de segurança do reator serão obtidas a partir da APS Nível 1 de Eventos Internos da instalação.

### **5.2 – Etapa 2 – Identificação de Potenciais Perigos Externos Únicos e Combinados**

A identificação de potenciais perigos externos deve ser exaustiva e não deve ser limitada pela quantidade de perigos identificados ou noções pré-concebidas sobre as características do perigo (ou seja, intensidade ou probabilidade). Além disso, os

perigos devem ser incluídos na lista, independentemente do seu potencial de causar danos a equipamentos da planta ou afetar suas funções de segurança. A exclusão de perigos só é realizada durante a etapa de seleção por meio dos critérios específicos.

### 5.2.1 – Lista de Perigos Externos Únicos e Combinados

Conforme a metodologia apresentada nas seções 4.2.1 e 4.2.2, o conjunto de informações reunidas a partir das seguintes referências foi considerado no estudo de caso:

- IAEA-TECDOC-1804 - “Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants”; (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2016)
- SKI Report 02:27 - “Guidance for External Events Analysis”; (SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE, 2003)
- NEA/CSNI/R(2018)7 - “Examination of Approaches for Screening External Hazards for Nuclear Power Plants”; (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2018)
- IAEA Safety Series No. NS-G-1.5 - “External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants”; (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2003)
- IAEA Safety Guide No. NS-G-3.1 - “External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants”; (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2002)
- IAEA Safety Guide No. 50-SG-S5 (*superseded by IAEA NS-G-1.5*) - “External Man-Induced Events in Relation to Nuclear Power Plant Siting”; (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1981)
- ASME/ANS RA-S-2008 - “Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications” (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, 2008)

- EPRI Report 3002005287 (Update of Report 1022997) – “Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Assessment”; e (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2015);
- ASAMPSA\_E/WP30/D30.7 Vol.2 – “Methodology for Selecting Initiating Events and Hazards in Consideration in an Extended PSA”. (EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, 2016)

A Tabela 13 apresenta a lista genérica dos potenciais perigos externos únicos, incluindo grupo de perigo, código de identificação, e caracterização sucinta do evento.

Tabela 13 – Potenciais Perigos Externos para o reator nuclear experimental em estudo

<b>Grupo de Perigos</b>	<b>Código</b>	<b>Perigo Externo</b>	<b>Caracterização do Evento</b>
Velocidade do Ar	AN-01	Ventos Fortes (vendaval)	Evento definido pelo dano à planta causado por ventos fortes. É incluído tanto o dano direto proveniente da pressão do vento quanto pelo dano indireto de mísseis.
	AN-02	Tornado / Furacão	Evento definido pelo dano à planta causado por tornado ou furacão. Esse evento é tratado separadamente mediante as características especiais relacionadas a duração, velocidade do vento e frequência de ocorrência.
Temperatura do Ar	AN-03	Alta temperatura do Ar	Evento definido pelo impacto à planta causado por alta temperatura do ar.
	AN-04	Baixa temperatura do Ar	Evento definido pelo impacto à planta causado por baixa temperatura do ar.
Pressão de Ar	AN-05	Pressão de ar extrema (alta/baixa/gradiente)	Impacto à planta causado por alta ou baixa pressão ou variações rápidas de pressão.

<b>Grupo de Perigos</b>	<b>Código</b>	<b>Perigo Externo</b>	<b>Caracterização do Evento</b>
	AH-01	Explosão em área interna à planta	Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) de substâncias sólidas ou nuvens de vapor dentro do sítio. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.
	AH-02	Explosão externa à planta	Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) de substâncias sólidas ou nuvens de vapor fora do sítio. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.
	AH-03	Explosão após acidente de transporte	Evento definido pelo dano à planta devido a acidente com transporte terrestre dentro ou fora do sítio ou devido a acidente de transporte marítimo. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.
	AH-04	Explosão após acidente em tubulações	Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) após um acidente de tubulação. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.
Precipitação	AN-06	Chuva extrema	Evento definido pelo dano à planta devido a chuvas extremas. É incluído tanto o carregamento da chuva nas estruturas quanto o dano de alagamento devido às chuvas.
	AN-07	Neve extrema (incluindo tempestade de neve)	Evento definido pelo dano à planta causado por neve extrema, incluindo tempestade de neve.
	AN-08	Granizo extremo	Evento definido pelo dano à planta devido a granizo extremo. É incluído o carregamento do granizo nas estruturas.
Umidade	AN-09	Névoa	Evento definido pelo impacto à planta devido a névoa.
	AN-10	Geadas	Evento definido pelo impacto à planta devido a geada.

<b>Grupo de Perigos</b>	<b>Código</b>	<b>Perigo Externo</b>	<b>Caracterização do Evento</b>
	AN-11	Aridez/Seca	Evento definido por períodos longos de seca que provocam diminuição dos níveis de água de lagos, rios e bacias abertas.
Contaminação do Ar	AN-12	Tempestade de sal	Evento definido como uma tempestade que cobre de sal as estruturas da instalação.
	AN-13	Tempestade de areia	Evento definido pelo impacto à planta devido a uma tempestade carregando areia.
	AH-05	Liberação química interna/externamente à planta	Evento definido pelo impacto tóxico devido à liberação química interna/externamente à planta. Essa liberação pode ser originada de acidentes de processo interna/externamente à planta ou do vazamento de substâncias armazenadas interna/externamente à planta.
	AH-06	Liberação química após acidente de transporte	Evento definido pelo impacto tóxico devido à liberação após acidente de transporte terrestre interna/externamente à planta ou devido a acidentes marítimos.
	AH-07	Liberação química após acidente em tubulações	Evento definido pelo impacto tóxico devido à liberação química de acidentes em tubulações.
Impacto Eletromagnético	AN-14	Raios/Relâmpagos	Evento definido pelo dano à instalação devido a descargas atmosféricas. O impacto pode ser direto, causando dano estrutural ou eventos de perda de energia elétrica externa (LOSP), variação no campo eletromagnético ou incêndio provocado por raios.
	AH-08	Distúrbios eletromagnéticos (radares, rádio ou celulares)	Evento definido pelo impacto de campos elétricos ou magnéticos feitos pelo homem. Os principais exemplos são radares, rádios e celulares.
	AH-09	Impulso Eletromagnético	Evento definido pelo impacto à planta devido a um impulso eletromagnético gerado por ação do homem.
Impacto Direto com origem aérea	AN-15	Meteorito	Evento definido pelo dano à planta causado por impacto de meteorito.
	AH-10	Queda de satélite ou afim	Evento definido pelo dano à planta devido a impacto de satélite.

<b>Grupo de Perigos</b>	<b>Código</b>	<b>Perigo Externo</b>	<b>Caracterização do Evento</b>
	AH-11	Queda de aeronave	Evento definido pelo dano às estruturas da planta devido à queda de aeronave dentro da área do sítio.
Velocidade do Solo (movimentação)	GN-01	Terremoto	Evento definido pelo impacto na planta devido à movimentação do solo de origem sísmica.
	GH-01	Impacto mediante guerra/conflito	Evento definido pelo impacto na planta devido à movimentação do solo pela detonação/deflagração de materiais em conflitos.
Impacto limitado no solo	GN-02	"Land Rise"	Evento definido pelo impacto na planta devido à elevação do nível do solo.
	GN-03	Congelamento de Solo	Evento definido pelo impacto à planta devido ao congelamento do solo.
Impacto direto no solo	GN-04	Animais	Evento definido pelo impacto à planta por animais.
	GH-02	Trabalhos de escavação	Evento definido pelo impacto à planta por trabalhos de escavação, interna/externamente à área do sítio.
	GN-05	Fenômeno Vulcânico	Evento definido pelo impacto à planta por erupções vulcânicas.
	GN-06	Avalanche	Evento definido pelo impacto à planta por avalanches.
	GN-07	Deslizamento de terra acima no nível da água	Evento definido pelo impacto à planta por movimentação no solo com origem acima do solo.
	GH-03	Transporte pesado dentro do sítio	Evento definido pelo dano à planta causado pelo impacto direto de transporte pesado dentro do sítio. Também é incluída a plataforma de manutenção da contenção externa.
	GH-04	Mísseis gerados por atividade militar	Evento definido pelo impacto à planta por mísseis de atividades militares.
	GH-05	Mísseis gerados por outra instalação no sítio	Evento definido pelo dano gerado por mísseis de outra planta no sítio.
Fogo	GN-08	Incêndio Externo	Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados externamente à planta.

<b>Grupo de Perigos</b>	<b>Código</b>	<b>Perigo Externo</b>	<b>Caracterização do Evento</b>
	GH-06	Incêndio alastrado de outra instalação	Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados por outra instalação.
	GN-08	Incêndio Florestal	Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados por floresta próxima a instalação
	GH-07	Contaminação química	Evento definido pelo impacto à planta mediante a contaminação de agentes químicos no solo.
Velocidade da Água	WN-01	Forte corrente de água (erosão de água no subsolo)	Evento definido pelo dano a estruturas da planta devido a fortes correntes de água.
Nível da Água	WN-02	Baixo nível de água da fonte fria	Evento definido pelo impacto à planta devido ao baixo nível da água.
	WN-03	Tsunami	Evento definido pelo impacto à planta devido ao baixo nível da água
	WN-04	Alto nível de água da fonte fria	Evento definido pelo impacto à planta devido ao alto nível da água.
Temperatura da Água	WN-05	Alta temperatura de água da fonte fria	Evento definido pelo impacto à planta devido à alta temperatura da água.
	WN-06	Baixa temperatura de água da fonte fria	Evento definido pelo impacto à planta devido à baixa temperatura da água.
Impacto no Solo com origem na Água	WN-07	Deslizamento de terra por água subterrânea	Evento definido pelo impacto à planta devido a deslizamento de terra por água subterrânea.
Impacto de Gelo	WN-08	Superfície de gelo	Evento definido pelo impacto à planta devido a superfície rígida de gelo formado.
	WN-09	Gelo Frazil	Evento definido pelo impacto à planta devido à formação de gelo frazil na tomada da fonte fria.
	WN-10	Barreiras de gelo	Evento definido pelo impacto à planta devido à formação de barreiras de gelo.
Impurezas sólidas	WN-11	Material orgânico na água (algas, peixes, etc.)	Evento definido pelo impacto à planta devido a materiais orgânicos na tomada da fonte fria. Esses materiais podem ser algas, peixes, moluscos, águas-vivas, etc.

Grupo de Perigos	Código	Perigo Externo	Caracterização do Evento
Contaminação de Água	WN-12	Corrosão proveniente de água salgada	Evento definido pelo impacto à planta devido a corrosão.
	WH-01	Sólidos ou fluidos (não gasosos) por liberação de navios	Evento definido pelo impacto à planta devido a liberação de impurezas sólidas na água a partir de um navio.
	WH-02	Liberação química para água	Evento definido pelo impacto à planta devido a liberação de material químico para a água. Enfoque deve ser dado para a redução da qualidade de água. As liberações podem ser de navios ou originadas em terra.
Impacto direto com origem na água	WH-03	Colisão de navios	Evento definido pelo impacto direto da colisão de navio.

Para os perigos externos combinados, entende-se que o método convencional aplicado consiste em desenvolver uma matriz com todos os perigos únicos incluídos em linhas e colunas. Em seguida, uma revisão de cada combinação de dois perigos únicos pode ser realizada, usando os critérios de seleção apresentados na seção 4.4, para identificar perigos potenciais correlacionados ou consequentes.

Com base na lista de perigos externos únicos estabelecida na Tabela 13, é necessário, conforme apresentado na seção 4.2.1, correlacionar a lista de perigos externos com os efeitos adversos na planta, que são: A – Efeitos Estruturais, B – Efeitos na Ventilação, C – Efeitos na Remoção de Calor e D – Efeitos na Alimentação Elétrica, com o intuito de mostrar como os perigos externos podem afetar o reator. Dessa forma, a Tabela 14 apresenta essa correlação.

Tabela 14 – Correlação entre Perigos Externos e Efeitos Adversos na Instalação

Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação				Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação			
		A	B	C	D			A	B	C	D
<b>AN-01</b>	Ventos Fortes (vendaval)	X	X		X	<b>GN-03</b>	Congelamento de Solo				
<b>AN-02</b>	Tornado / Furacão	X	X		X	<b>GN-04</b>	Animais		X		X
<b>AN-03</b>	Alta temperatura do Ar		X			<b>GH-02</b>	Trabalhos de escavação				X
<b>AN-04</b>	Baixa temperatura do Ar		X			<b>GN-05</b>	Fenômeno Vulcânico	X	X	X	



Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação				Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação			
		A	B	C	D			A	B	C	D
<b>AN-05</b>	Pressão de ar extrema (alta/baixo/gradiente)	X				<b>GN-06</b>	Avalanche	X			X
<b>AH-01</b>	Explosão em área interna a planta	X			X	<b>GN-07</b>	Deslizamento de terra acima no nível da água	X			X
<b>AH-02</b>	Explosão externa à planta	X			X	<b>GH-03</b>	Transporte pesado dentro do site	X			
<b>AH-03</b>	Explosão após acidente de transporte	X			X	<b>GH-04</b>	Mísseis gerados por atividade militar	X			X
<b>AH-04</b>	Explosão após acidente em tubulações	X			X	<b>GH-05</b>	Mísseis gerados por outra instalação no sítio	X			X
<b>AN-06</b>	Chuva extrema	X			X	<b>GN-08</b>	Incêndio Externo		X		X
<b>AN-07</b>	Neve extrema (incluindo tempestade de neve)	X	X		X	<b>GH-06</b>	Incêndio alastrado de outra instalação		X		X
<b>AN-08</b>	Granizo extremo	X			X	<b>GN-08</b>	Incêndio Florestal		X		X
<b>AN-09</b>	Névoa					<b>GH-07</b>	Contaminação química				
<b>AN-10</b>	Geadas		X		X	<b>WN-01</b>	Forte corrente de água (erosão de água no subsolo)			X	
<b>AN-11</b>	Aridez/Seca			X		<b>WN-02</b>	Baixo nível de água da fonte fria			X	
<b>AN-12</b>	Tempestade de sal				X	<b>WN-03</b>	Tsunami	X		X	X
<b>AN-13</b>	Tempestade de areia		X			<b>WN-04</b>	Alto nível de água da fonte fria			X	
<b>AH-05</b>	Liberação química interna/externamente à planta		X			<b>WN-05</b>	Alta temperatura de água da fonte fria			X	
<b>AH-06</b>	Liberação química após acidente de transporte		X			<b>WN-06</b>	Baixa temperatura de água da fonte fria			X	
<b>AH-07</b>	Liberação química após acidente em tubulações		X			<b>WN-07</b>	Deslizamento de terra por água subterrânea	X		X	X
<b>AN-14</b>	Raios/Relâmpagos	X			X	<b>WN-08</b>	Superfície de gelo			X	

Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação				Código	Perigo Externo	Efeitos na Instalação			
		A	B	C	D			A	B	C	D
<b>AH-08</b>	Distúrbios eletromagnéticos (radares, rádio ou celulares)				X	<b>WN-09</b>	Gelo Frazil			X	
<b>AH-09</b>	Impulso Eletromagnético				X	<b>WN-10</b>	Barreiras de gelo			X	
<b>AN-15</b>	Meteorito	X				<b>WN-11</b>	Material orgânico na água (algas, peixes, etc.)			X	
<b>AH-10</b>	Queda de satélite ou afim	X				<b>WN-12</b>	Corrosão proveniente de água salgada	X			
<b>AH-11</b>	Queda de aeronave	X				<b>WH-01</b>	Sólidos ou fluidos (não gasosos) por liberação de navios			X	
<b>GN-01</b>	Terremoto	X			X	<b>WH-02</b>	Liberação química para água			X	
<b>GH-01</b>	Impacto mediante a guerra/conflito	X			X	<b>WH-03</b>	Colisão de navios	X			X
<b>GN-02</b>	"Land Rise"	X		X							

### 5.3 – Etapa 3 – Processo de Seleção de Perigos Externos Únicos e Combinados

O processo de seleção de perigos externos únicos é realizado conforme exposto na seção 4.4 com o intuito de reduzir o número de perigos que precisam ser analisados detalhadamente.

Os perigos externos relevantes são aqueles eventos que impactam ESC da planta com o potencial de degradar uma ou mais funções de segurança do reator ou aquelas que causam um evento iniciador de acidente na planta.

Dessa forma, a fim de se chegar a uma quantidade gerenciável de perigos externos únicos e combinados, foram aplicados os critérios de seleção qualitativos (G-1 a G-8).

A aplicação dos critérios quantitativos (G-9 e G-10) e o critério M4 para perigos externos combinados depende de informações indisponíveis no momento para o reator nuclear em estudo. Estas informações seriam extraídas da APS Nível 1 para

Eventos Internos, elaborada para a planta a Plena Potência, conforme exposto na Tabela 1.

Os resultados do processo de seleção de perigos externos únicos estão documentados na Tabela 15 até a Tabela 71. As informações apresentadas nas tabelas são:

- Descrição do Evento;
- Impacto do Evento na instalação considerando os seguintes aspectos: A – Efeitos Estruturais, B – Efeitos na Ventilação, C – Efeitos na Remoção de Calor e D – Efeitos na Alimentação Elétrica;
- Informações genéricas sobre o evento, ou seja, informações de eventos relevantes para o Brasil, condições do local, informações de base de dados genéricas etc.;
- Informações específicas do sítio sobre o evento, ou seja, informações do evento que sejam relevantes para a planta;
- Informações dos critérios da base de projeto para o evento, ou seja, descrição das características do projeto que visam proteger a planta contra determinado perigo externo;
- Consequência do evento, inclui o impacto e as consequências do perigo externo na instalação nuclear. Isso inclui uma descrição de como a planta pode lidar com o evento e uma avaliação sobre a relevância do evento externo na planta (avaliar se a planta é projetada para resistir ao evento externo);
- Critério de Seleção, caso o evento externo tenha sido eliminado da análise, os critérios de seleção são detalhados nesta parte da tabela. As razões para a inclusão/exclusão também são descritas resumidamente; e
- Conclusão, inclui um resumo do processo de seleção em relação à inclusão/exclusão do evento como evento único e como parte de uma combinação de eventos externos.

Tabela 15 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-01 Ventos Fortes (vendaal)

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AN-01 – VENTOS FORTES (VENDAVAL)</b>
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta causado por ventos fortes. É incluído tanto o dano direto proveniente da pressão do vento quanto pelo dano indireto de mísseis
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – X</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>A presença de ventos fortes em altos níveis da atmosfera caracteriza a corrente de jato subtropical, muitas vezes responsável pelo desenvolvimento ou intensificação da atividade convectiva na região sudeste do Brasil.</p> <p>Além da influência dos fenômenos de grande escala, a circulação do vento na região de estudo é afetada por efeitos de mesa escala e efeitos topográficos. Existem evidências observacionais da penetração de brisa marítima em regiões distantes do litoral do Estado de São Paulo como, por exemplo, no município de Campinas localizado acerca de 150 km da faixa litorânea. Assim sendo, o município de Sorocaba, distante cerca de 120 km da faixa litorânea, também pode estar sujeito à influência da circulação tipo brisa observada em Campinas. Outra contribuição importante para a distribuição do vento na região, está associada ao efeito de canalização dos ventos ao longo do vale do rio Ipanema, que se alinha na direção Norte-Sul.</p> <p>Verifica-se que a direção média predominante no decorrer do ano é de (S) com velocidade média de 2,7 m/s e frequência de 22,63%, seguida da direção de SE com velocidade média de 4,0 m/s e frequência de 18,03%. A menor frequência de ventos é observada para fluxos de E com velocidade média de 1,9 m/s e frequência de 0,31%</p>
<p><b>Critérios de Base de Projeto</b></p> <p>As cargas de ventos consideradas no projeto estão definidas de acordo com a Norma Brasileira NBR 6123/88 e com os requisitos da NUREG-0800. (ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, 2013) (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2020)</p> <p>A velocidade básica do vento a ser considerada é de 45m/s, correspondente à região de Sorocaba – SP, na qual se situa o reator em estudo. Esta velocidade básica é definida como a velocidade de uma rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.</p>

<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
<p>As estruturas relacionadas à segurança são projetadas para suportar cargas estruturais extremas, que cobrem as cargas originadas por mísseis induzidos pelo vento.</p> <p>O impacto do vento forte nos sistemas de ventilação é considerado não relevante. A operação de um sistema de ventilação depende da pressão atmosférica estável para manter as taxas de fluxo de ar necessárias. Quedas de pressão muito grandes podem causar despressurização rápida com consequências como colapso de dutos ou falhas de ventiladores, que levam à falha dos sistemas de ventilação. A perda de energia elétrica externa é considerada a consequência mais provável de ventos fortes, uma vez que excedem a base de projeto das linhas de transmissão.</p> <p>Se um vento forte danificar uma única linha de transmissão, existe outra linha de transmissão redundante. Além disso, caso sejam perdidas as duas linhas de transmissão, só será realmente impactante no caso de o reator estar operando em baixa potência ou desligamento. Sabe-se que o reator em estudo trabalha isolado da rede externa e utiliza a própria energia gerada para atender às demandas dos sistemas relacionados à segurança. Existe, também, a possibilidade de se utilizar a SUB-B para fornecer energia, utilizando os diesel geradores de emergência como fonte de energia elétrica alternativa em <i>standy-by</i>.</p> <p>Quanto ao impacto estrutural nos prédios e estruturas do reator, o critério de base de projeto para vento forte é utilizado tanto nas estruturas Sísmicas 1 quanto nas estruturas Não Sísmicas 1 com critério Adicional</p>								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X			
<p>Ventos Fortes são excluídos pois o impacto nas funções de VAC e fornecimento de energia elétrica é considerado menor do que os prédios e estruturas do reator são projetados para suportar. Em relação à parte estrutural, todos os prédios e estruturas são projetados utilizando o vento forte como base de projeto. O impacto do perigo AN-02 – Tornado nas estruturas é considerado maior do que o impacto do perigo AN-01.</p>								
<b>Conclusão</b>								
<p>Perigo Único: Excluído utilizando o critério G-5</p> <p>Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos</p>								

Tabela 16 - Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-02 Tornado/Furacão

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AN-02 – TORNADO / FURACÃO</b>
<p><b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta causado por tornado ou furacão. Esse evento é tratado separadamente mediante as características especiais relacionadas à duração, velocidade do vento e frequência de ocorrência.</p>
<p><b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – X</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>Não foram observados fenômenos ou tempestades tropicais que possam ser classificados no grupo de furacão na costa brasileira. Com relação a fenômenos que possam ser classificados como tornados, no Brasil nunca foram sistematizadas as informações de ocorrência de tornados por parte dos órgãos oficiais de meteorologia, porém existem relatos jornalísticos e trabalhos científicos publicados que apontam para a possibilidade da ocorrência deste fenômeno meteorológico, principalmente em algumas regiões do Estado de São Paulo, bem como relatos da população local.</p> <p>Dentre os eventos meteorológicos extremos com grande poder de destruição, destaca-se o tornado. Trata-se de um vórtice com aparência de nuvem funil, com ventos fortes girando ao redor de um centro de baixa pressão, que se desloca como um pião. Os tornados têm um tempo de vida variando entre 10 e 30 minutos, com dimensões menores que 1.000 metros de diâmetro e ventos associados, cujas velocidades podem atingir centenas de quilômetros por hora. Os tornados são classificados pelos danos que provocam, sendo classificados por meio da escala clássica de Fujita.</p> <p>A compilação de dados de diversos autores e fontes, mídia impressa e internet da ocorrência de tornados no Brasil é fragmentada e esporádica. No entanto, encontram-se 148 registros de ocorrência, dos quais 6 foram classificados como F3.</p>
<p><b>Crítérios de Base de Projeto</b></p> <p>Dessa forma, considerando a possível ocorrência de tornados de escala F3/EF3, para os quais foram feitos os cálculos de velocidade de translação variando entre 20 e 50 km/h, raio de velocidade de rotação máxima variando entre 100 e 500 m e velocidade máxima de rotação considerando os extremos e a média da categoria F3/EF3, ou seja, 218, 241 e 264 km/h.</p>

<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Para o reator em estudo, a ocorrência de um tornado F3 geraria a possível perda do sistema de fornecimento de energia elétrica normal combinado a uma perda do fornecimento de água de resfriamento em operação devido ao projeto do PTGE.								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
O perigo AN-02 Tornado não pode ser excluído da seleção de perigos externos								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: Evento não excluído por meio dos critérios qualitativos.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 17 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-03 Alta Temperatura do Ar

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-04 – ALTA TEMPERATURA DO AR								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta dada alta temperatura do ar								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Verifica-se que:								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anteriormente aos anos 1980, os valores extremos de temperatura na região de Sorocaba variaram entre a máxima de 36,0°C e a mínima de -1,8° C.</li> <li>• Após os anos 1980, os valores extremos de temperatura variaram entre 39,0°C para a máxima e -0,1° C para a mínima.</li> </ul>								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
As estruturas, sistemas e componentes importantes para a segurança estão projetados para resistir, sem apresentar falhas, à pior combinação de temperatura, pressão e umidade esperada durante o período operacional requerido.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Com base nas informações do projeto, a temperatura externa não representa um efeito relevante já que todos os componentes de VAC são projetados com margem de segurança suficiente para não impactarem nenhuma função de segurança do reator								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X		X	X
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								



Tabela 18 - Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-04 Baixa Temperatura do Ar

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-04 – BAIXA TEMPERATURA DO AR								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta dada baixa temperatura do ar.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Verifica-se que:								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anteriormente aos anos 1980, os valores extremos de temperatura na região de Sorocaba variaram entre a máxima de 36,0°C e a mínima de -1,8° C.</li> <li>• Após os anos 1980, os valores extremos de temperatura variaram entre 39,0°C para a máxima e -0,1° C para a mínima.</li> </ul>								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
As estruturas, sistemas e componentes importantes para a segurança estão projetados para resistirem, sem apresentar falhas, à pior combinação de temperatura, pressão e umidade esperada durante o período operacional requerido.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Com base nas informações do projeto, a temperatura externa não representa um efeito relevante já que todos os componentes de VAC são projetados com margem de segurança suficiente para não impactarem nenhuma função de segurança do reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X		X	X
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 19 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-05 Pressão de Ar Extrema

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-05 – PRESSÃO DE AR EXTREMA								
<b>Descrição:</b> Impacto à planta devido à alta ou baixa pressão ou variações rápidas de pressão.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Verifica-se que as pressões mais elevadas ocorrem entre os meses de junho (951.5 hPa), julho (952.6 hPa) e agosto (951.2 hPa) devido a passagem de sistemas anticiclônicos de alta pressão sobre a região.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
A alta ou baixa pressão de ar ou cargas de mudanças rápidas de pressão estão abaixo das cargas de pressão causadas pela explosão de TNT da base de projeto ou pelas cargas de tornados. Os efeitos dos tornados também foram considerados no projeto dos sistemas de ventilação e, portanto, mudanças rápidas de pressão são consideradas no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Evento não impactará adversamente o reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
		X			X			
A pressão de ar extrema geralmente é acompanhada por mudanças climáticas como ventos fortes, chuva intensa etc.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-2 e G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 20 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-01 Explosão em Área Interna a Planta

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
AH-01 – EXPLOSÃO EM ÁREA INTERNA À PLANTA
<p><b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) de substâncias sólidas ou nuvens de vapor dentro do sítio. O dano pode ser devido ao impacto da onda de pressão ou de mísseis.</p>
<p><b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – NA</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>A capacidade de armazenamento no local de cada trem dos diesel geradores da SUB-A prevê operação contínua de cada conjunto por pelo menos um dia. O tanque de serviço fornece armazenamento para aproximadamente duas horas de operação em plena carga.</p> <p>Por outro lado, a capacidade de armazenamento de cada trem dos diesel geradores de emergência da SUB-B é projetada para uma operação contínua de 24 horas com armazenamento inicial de 7 dias. O risco de explosão do combustível diesel é muito pequeno.</p> <p>Os sistemas de fornecimento de gases são, normalmente, utilizados em pequena quantidade e pontualmente.</p>
<p><b>Crítérios de Base de Projeto</b></p> <p>As estruturas que não apresentam quantidade suficiente de material potencialmente explosivo são projetadas externamente para suportar o carregamento da Explosão de TNT de Base de Projeto além dos critérios de carregamento sísmico.</p> <p>No caso da SUB-A e SUB-B, o projeto dessas estruturas leva em consideração todas as práticas para diminuir a probabilidade de um evento de explosão.</p>
<p><b>Consequências Potenciais do Evento</b></p> <p>Diante do exposto, a consequência desse evento seria a perda do fornecimento de energia normal ou a perda do fornecimento de emergência. No entanto, caso sejam perdidas as duas linhas de transmissão, só será realmente caso o reator esteja durante o modo operacional de baixa potência ou desligamento já que a o reator em estudo trabalha isolado da rede externa e utiliza a própria energia gerada para atender às demandas dos sistemas relacionados à segurança.</p>

<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>					<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 21 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-02 Explosão externa a planta

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AH-02 – EXPLOSAO EXTERNA A PLANTA</b>
<p><b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) de substâncias sólidas ou nuvens de vapor fora do site. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.</p>
<p><b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – NA</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>Na grande maioria dos países com centrais nucleares, é efetuada uma análise do risco de explosões de origem externa para cada sítio separadamente. Após a identificação das instalações industriais onde pode haver materiais explosivos e das vias de comunicação adjacentes, são examinadas as consequências da detonação dos explosivos e/ou a explosão de materiais gasosos (confinados ou não), que podem atingir a central e colocar em risco as suas funções de segurança. Em função disso, são definidas as proteções necessárias para o sítio. Esse estudo deve levar em conta o desenvolvimento previsto para a região adjacente ao sítio, devendo ser revisto caso ocorram evoluções importantes no local, com implicações práticas.</p> <p>A frequência média anual estimada de explosões de cargas por transporte rodoviário é da ordem de <math>8,0 \times 10^{-8}</math> /ano, sendo consideradas não críveis.</p> <p>Além disso, as indústrias e instalações próximas não oferecem riscos que comprometam a operação segura do reator. Dessa forma, podem-se desconsiderar os efeitos de mísseis externos gerados por explosões.</p>
<p><b>Critérios de Base de Projeto</b></p> <p>Por outro lado, mesmo que a probabilidade de ocorrência de explosões justificasse a análise do risco de geração de mísseis, caberiam as seguintes considerações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) os prédios com classificação Sísmica I não gerariam mísseis por terem sido projetados para resistir ao efeito de explosão de 23000kg de TNT a 500 m de distância; e</li> <li>b) os prédios com classificação não Sísmica I estão igualmente protegidos.</li> </ul> <p>O projeto considera uma explosão de um caminhão transportando 23.000 kg de TNT, circulando em uma via de tráfego distante a 500 m do reator, atendendo aos requisitos do <i>Regulatory Guide 1.91</i>. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 2013)</p>

<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Como a área em um raio de 5 km ao redor da planta está livre de atividades industriais, as possibilidades de explosão, incêndio ou produtos químicos que podem danificar a planta estão excluídos.								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-4, G-5 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 22 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-03 Explosão após acidente de transporte

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-03 – EXPLOSÃO APÓS ACIDENTE DE TRANSPORTE								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a transporte terrestre dentro ou fora do sítio ou devido a acidente de transporte marítimos. O dano pode ser devido ao impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver <i>Tabela 21</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Ver <i>Tabela 21</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver <i>Tabela 21</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>		<b>X</b>						
Esse evento está incluído na análise do perigo AH-02								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-2.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 23 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-04 Explosão após acidente em tubulações

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-04 – EXPLOSÃO APÓS ACIDENTE EM TUBULACOES								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a explosões (deflagração e detonação) após um acidente de tubulação. O dano pode ser devido a impacto da onda de pressão ou impacto de mísseis.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver Tabela 21 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Ver Tabela 21 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver Tabela 21 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-02								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>		<b>X</b>						
Esse evento está incluído na análise do perigo AH-02								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-2.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								



Tabela 24 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-06 Chuva Extrema

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AN-06 – CHUVA EXTREMA</b>
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido às chuvas extremas. É incluído tanto o carregamento da chuva nas estruturas quanto o dano de alagamento devido às chuvas.
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – NA</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<b>Informação do Perigo Externo</b> <p>A estação seca é compreendida entre os meses de inverno, com índices pluviométricos da ordem de 10 mm no mês de julho, enquanto, durante o verão é uma estação mais úmida, onde são verificados valores de precipitação da ordem de 160 mm durante o mês de dezembro. O regime pluviométrico da região é caracterizado basicamente por uma contribuição de chuvas convectivas durante o verão e de chuvas devido à passagem de sistemas frontais durante o inverno.</p> <p>A maior chuva registrada na região interior do Estado de São Paulo, foi a montante das barragens de Graminha, Euclides da Cunha e Limoeiro, o que levou à ruptura dessas duas últimas no dia 20 de janeiro de 1977.</p> <p>Duração: 24h; Total precipitado: 260 mm, onde; Precipitação máxima provável (PMP): 325 mm.</p>
<b>Crítérios de Base de Projeto</b> <p>A precipitação total da chuva com período de retorno de 10.000 anos e duração de 24 horas foi calculada em 247,8 mm para São Paulo e em 310,8 mm por duas metodologias, ou seja, a PMP de 325 mm, é maior que a total para uma chuva de 24 horas calculada para o período de retorno de 10.000 anos.</p>
<b>Consequências Potenciais do Evento</b> <p>A precipitação na região do interior de São Paulo. As consequências da chuva forte incluem principalmente danos de cargas de chuva nas estruturas e danos devido a inundações induzidas pela chuva.</p> <p>Danos nas estruturas devido à chuva, como cargas extremas no telhado ou nas paredes, são considerados irrelevantes. Isso porque todas as estruturas de segurança do reator são projetadas para suportar cargas mais pesadas que as outras causados pela chuva, como cargas de ventos fortes (45 m / s) ou explosões (ver, por exemplo, eventos A01, A02).</p>

<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>					<b>X</b>			
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 25 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-07 Neve Extrema

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-07 – NEVE EXTREMA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta dada a neve extrema, incluindo tempestade de neve.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não é esperada a ocorrência de tempestades de neve, já que as temperaturas mínimas sobre a região raramente são abaixo de 0 °C, assim como a altitude e latitude da localização do município de Sorocaba não favorecem condições termodinâmicas para esse tipo de fenômeno meteorológico.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Neve extrema não é aplicável para o sítio em análise, portanto, a consequência do evento pode ser declarada como nula.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Esse perigo não é relevante para o reator em questão								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos								

Tabela 26 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-08 Granizo extremo

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-08 – GRANIZO EXTREMO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a granizo extremo. É incluído o carregamento do granizo nas estruturas.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não é esperada a ocorrência de granizo extremo, já que as temperaturas mínimas sobre a região raramente são abaixo de 0 °C, assim como, a altitude e latitude da localização do município de Sorocaba não favorecem condições termodinâmicas para esse tipo de fenômeno meteorológico								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Neve extrema não é aplicável para o sítio em análise, portanto, a consequência do evento pode ser declarada como nula.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Esse perigo não é relevante para o reator em questão								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos								

Tabela 27 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-09 Névoa

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-09 – NÉVOA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a névoa.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
A ocorrência de nevoa é notada na região do reator								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não há impacto direto, e o único impacto indireto imaginável é através do aumento da frequência de certos perigos provocados pelo homem.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
					X	X	X	X
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5, G-6, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos								

Tabela 28 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-10 Geada

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-10 – GEADA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a geada.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>Não é esperada a ocorrência de geadas, já que as temperaturas mínimas sobre a região raramente são abaixo de 0 °C, assim como, a altitude e latitude da localização do município de Sorocaba não favorecem condições termodinâmicas para esse tipo de fenômeno meteorológico.</p> <p>Porém, a região de Sorocaba está sujeita à ocorrência de geadas durante 2 a 4 dias no decorrer do ano, basicamente nos meses de julho e agosto, sendo que essas geadas costumam ser de pouca intensidade afetando geralmente as colheitas agrícolas e pastagens.</p>								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X							X	X
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 29 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-11 Aridez / Seca

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-11 – ARIDEZ / SECA								
<b>Descrição:</b> Evento definido por períodos longos de seca que provocam diminuição dos níveis de água de lagos, rios e bacias abertas								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Na estação seca, o clima é predominantemente influenciado pela passagem rápida de frentes frias provenientes do sul do continente, sendo esta estação caracterizada não só pela diminuição da precipitação, mas também pela diminuição das temperaturas e ocorrências de períodos de grande estabilidade atmosférica, proporcionando condições desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera. A estação seca é compreendida entre os meses de inverno, com índices pluviométricos da ordem de 10 mm no mês de julho. Outra característica é que neste período seco a umidade relativa pode chegar a atingir valores de 15%, acarretando um grande desconforto à população.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Os ESC importantes para a segurança estão projetados para resistir, sem apresentar falhas, à pior combinação de temperatura, pressão e umidade esperada durante o período operacional requerido.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Os possíveis efeitos desse perigo são cobertos pelos efeitos considerados para Temperatura do Ar Alta (AN-04)								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 30 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-12 Tempestade de Sal

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-12 – TEMPESTADE DE SAL								
<b>Descrição:</b> Evento definido como uma tempestade que cobre de sal as estruturas e prédios do reator nuclear.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Nenhuma informação específica do site está disponível.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Os efeitos em relação as pressões de vento são inferiores aos efeitos de vento forte (AN-01)								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento não é excluído da análise por falta de informação, é necessário reavaliar a base de dados de perigo.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								



Tabela 31 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-13 Tempestade de Areia

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-13 – TEMPESTADE DE AREIA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a uma tempestade carregando areia.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Nenhuma informação específica do site está disponível.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Os efeitos em relação as pressões de vento são inferiores aos efeitos de vento forte (AN-01)								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento não é excluído da análise por falta de informação, é necessário um reavaliar a base de dados de perigo.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-05 Liberação química interna/externamente a planta

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
AH-05 – LIBERAÇÃO QUÍMICA INTERA/EXTERNAMENTE A PLANTA
<p><b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto tóxico devido a liberação química interna/externamente à planta. Essa liberação pode ser originada de acidentes de processo interna/externamente à planta ou do vazamento de substâncias armazenadas interna/externamente à planta</p>
<p><b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – NA</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – X</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>De acordo com o Guia Regulatório 1.78, liberações de produtos químicos podem ser desconsiderados como insignificantes se ocorrerem a distâncias superiores a 8 km de um local. Se ocorrer uma liberação em tal distância, a dispersão atmosférica irá diluir e dispersar a pluma de entrada a tal grau que ou os limites tóxicos nunca serão alcançados ou haveria tempo suficiente para os operadores da sala de controle tomar as ações apropriadas.</p> <p>Esses guias listam os limites de toxicidade de substâncias perigosas e fornecem distâncias seguras em função da quantidade liberada. Para proteção adequada da sala de controle, a capacidade de detectar liberações, o isolamento da sala de controle e a estanqueidade de vazamento devem ser inclusos no projeto se houver uma liberação de gases tóxicos</p>
<p><b>Crítérios de Base de Projeto</b></p> <p>A sala de controle está projetada para garantir a permanência dos operadores durante o período normal de operação e durante trinta dias sob condições anormais de controle da planta, incluindo acidentes com perda de refrigerante. A blindagem com paredes de concreto assegura a manutenção de níveis toleráveis de radiação no caso de ocorrência do acidente base de projeto. O Sistema de Ventilação e Ar Condicionado (VAC) foi projetado para garantir as condições de habitabilidade, controlando a temperatura ambiente, umidade relativa do ar e concentração de contaminantes por meio de renovação e filtragem do ar em filtros de carvão ativado.</p>
<p><b>Consequências Potenciais do Evento</b></p> <p>Como a área a uma distância considerável da planta está livre de grandes atividades industriais, as possibilidades de explosões ou perigos químicos que podem danificar a planta estão praticamente excluídos.</p> <p>A planta é julgada por estar razoavelmente bem protegido contra a ocorrência de liberações de substâncias químicas no exterior e dentro do local, seja pelo projeto (incluindo procedimentos para armazenamento e manuseio) ou pela distância à fonte de lançamento.</p>

Para proteção, o sistema de ventilação é isolado. Os *dampers* de isolamento da sala de controle serão fechados manualmente.

### Critério de Seleção

Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X						X	X

Não aplicável

### Conclusão

Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-7 e G-8.

Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos

Tabela 33 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-06 Liberação química após acidente de transporte

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-06 – LIBERAÇÃO QUÍMICA APÓS ACIDENTE DE TRANSPORTE								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto tóxico devido à liberação após acidente de transporte terrestre interna/externamente à planta ou devido a acidentes marítimos.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X		X						
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-2								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos								

Tabela 34 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-07 Liberação química após acidente em tubulações

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-07 – LIBERAÇÃO QUIMICA APÓS ACIDENTE EM TUBULACOES								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto tóxico devido à liberação química de acidentes em tubulações.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver Tabela 32 – Processo de Seleção de Perigos Externos – AH-05								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X		X						
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-2								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos								

Tabela 35 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-14 Raios / Relâmpagos

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AN-14 – RAIOS / RELÂMPAGOS</b>
<p><b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano às instalações devido a descargas atmosféricas. O impacto pode ser direto, causando danos estrutural ou eventos LOSEP, variação no campo eletromagnético ou incêndio provocado por raios.</p>
<p><b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – NA</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X</li> </ul>
<p><b>Informação do Perigo Externo</b></p> <p>O relâmpago é um fenômeno transitório imprevisível com características que variam amplamente de flash para flash e cuja medição é difícil. As informações estatísticas coletadas ao longo dos anos podem fornecer indicação das áreas com a maior probabilidade de atividade de relâmpagos, bem como as estações e horários do dia em que essa atividade é mais provável de ocorrer, que é o número de dias de tempestade por mês ou ano que uma determinada região espera experimentar o efeito.</p> <p>As tempestades ocorrem frequentemente durante o verão devido á intensa atividade convectiva, e com a passagem dos centros ciclônicos de baixa pressão (frentes frias) durante todo o decorrer do ano. O número climatológico de dias com trovoadas e/ou relâmpagos sobre o Estado de São Paulo é alta.</p>
<p><b>Crítérios de Base de Projeto</b></p> <p>No que tange às implicações dos efeitos de descargas atmosféricas no sítio de análise, é dada ênfase para a manutenção das funções de segurança (desligamento seguro, remoção de calor residual, etc.), por meio de proteções adequadamente projetadas contra essas descargas.</p> <p>A principal delas é o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, que se compõe, basicamente, de um sistema exterior e um sistema interior de proteção contra efeitos de raios. O sistema exterior consiste em captores aéreos, condutores de descida e terminais de terra. O sistema interior compreende todos os demais dispositivos complementares que têm por finalidade reduzir os efeitos elétricos e magnéticos das possíveis correntes provenientes de descargas atmosféricas; exemplos desses dispositivos são as interligações equipotenciais.</p>

### Consequências Potenciais do Evento

Os danos causados por raios têm se mostrado muito extensos na literatura, afetando, principalmente, a parte elétrica de equipamento, mas muitas vezes desenvolvido em explosões de transformadores, acidentes graves com incêndio e sinais espúrios para válvulas com conseqüente inundação e perda de energia fora do local.

Os prédios presentes no sítio são suficientemente protegidos contra raios, incluindo tanto proteção mecânica quanto proteção contra efeitos de blindagem eletromagnética.

### Critério de Seleção

Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8

Não é possível excluir a análise qualitativamente de Raios/Relâmpagos da APS de Eventos Externos

### Conclusão

Perigo Único: O evento não é excluído além disso é necessário expandir as informações a cerca de perigo e da base de projeto.

Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos

Tabela 36 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-08 Distúrbios eletromagnéticos

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-08 – DISTÚRBIOS ELETROMAGNÉTICOS								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto de campos elétricos ou magnéticos feitos pelo homem. Os principais exemplos são radar, rádio e celulares.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Campos de radar fortes de aeroportos não alcançarão a planta devido à distância.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
As disposições para proteção contra raios são consideradas para reduzir as cargas elétricas e eletromagnéticas causado por impulso eletromagnético externo ou interno (EMI) a um nível que é aceitável para o I&C								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
O evento é principalmente limitado pelo impacto de um raio AN-14								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X		X			X			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-2 e G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								



Tabela 37 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-09 Impulso Eletromagnético

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-09 – IMPULSO ELETROMAGNÉTICO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a um impulso eletromagnético gerado por ação do homem.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
O impulso eletromagnético que não são consequências de evento de sabotagem e de guerra deverá ser mesma ordem de magnitude do AH-08								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
As disposições para proteção contra raios são consideradas capazes de reduzir as cargas elétricas e eletromagnéticas causadas por impulso eletromagnético externo ou interno (EMI) a um nível que é aceitável para os sistemas de I&C								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
O evento é principalmente limitado pelo impacto de um raio AN-14								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>		<b>X</b>			<b>X</b>			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-2 e G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 38 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AN-15 Meteorito

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AN-15 – METEORITO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a impacto de meteorito.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
De acordo com a referência NUREG 5042, meteoros com uma massa inicial de 45 kg ou menos são reduzidos a partículas semelhantes a poeira pelo calor desenvolvido ao passar pela atmosfera terrestre. A velocidade de entrada de um meteoro pode variar de aprox. 11000 m / s (a velocidade de escape da Terra) a 87000 m / s (a soma do orbital da Terra velocidade e velocidade de escape solar). O número de meteoros atingindo a Terra a cada ano, pesando sobre 0,5 kg no impacto, foi estimado em 3500, com a maioria no intervalo 0,5 - 1 kg. A frequência de um meteorito pesando grande o suficiente para danificar gravemente um reator (peso no intervalo 10 – 100 kg) atingindo 1000 m <sup>2</sup> meta é fornecida como 7E-10 / ano. (UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 1987)								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
				X				
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-4								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 39 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-10 Queda de satélite ou afim

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
AH-10 – QUEDA DE SATÉLITE OU AFIM								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta devido a impacto de satélite.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver <i>Tabela 38</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AN-15								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Ver <i>Tabela 38</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AN-15								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver <i>Tabela 38</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AN-15								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X				X				
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-4								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos								

Tabela 40 – Processo de Seleção de Perigo Externos – AH-11 Queda de Aeronave

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>AH-11 – QUEDA DE AERONAVE</b>
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano às estruturas da planta devido à queda de aeronave dentro da área do sítio.
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A – Efeitos Estruturais – X</li> <li>B – Efeitos na Ventilação – NA</li> <li>C – Efeitos na Remoção de Calor – NA</li> <li>D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA</li> </ul>
<b>Informação do Perigo Externo</b> <p>Na região que abrange o município de Sorocaba, há um aeroporto em Sorocaba (Aeroporto Estadual de Sorocaba) com pista de asfalto e dois campos de pouso, um em Boituva (Centro Nacional de Paraquedismo) e Iperó (Campo de Pouso do Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA).</p> <p>Em função da demanda de mercado, o aeroporto de Sorocaba opera com linhas regulares para algumas cidades brasileiras, de forma sazonal. O aeroporto conta também com um aeroclube com diversos tipos de aeronaves. O campo de pouso de Boituva é utilizado com maior frequência pela escola de paraquedismo de Boituva e esporadicamente por moradores da região e visitantes que normalmente utilizam aeronaves de pequeno porte. O campo de pouso do CENEA, em Iperó, é uma pista que atende à escola de agricultura, sendo de uso esporádico. O aeroporto de Sorocaba e o campo de pouso de Boituva estão fora da área de interesse. O campo de pouso do CENEA é o único localizado dentro desta área, sendo que o número de operações tem sido mínimo nos últimos anos. O Ministério da Agricultura não mais ministra o Curso de Piloto Agrícola desde 1991, outrora efetuado neste campo. A pista é utilizada, atualmente, para voos de demonstrações práticas e ensaios de desenvolvimento tecnológico de aplicações aéreas, ficando estas restritas às áreas laterais da pista sem sobrevoo à região do CEA, não oferecendo, portanto, perigo para suas instalações.</p>
<b>Crítérios de Base de Projeto</b> <p>Não considerados no projeto por meio de uma avaliação da frequência de quedas de aeronaves entre 1990 e 2010 que colheu informações atualizadas sobre o tráfego aéreo na região, a frequência anual de queda de aviões sobre o reator é da ordem de <math>10^{-8}</math>/ano, constatando-se que, de acordo com o critério de aceitação estabelecido na NUREG-0800, continua inalterada a conclusão de retirar da base projeto.</p>
<b>Consequências Potenciais do Evento</b> <p>Os efeitos de uma queda de aeronave estão associados a danos estruturais globais das ESCs afetados.</p>

Efeitos como impacto de mísseis, incluindo penetração e danos de incêndios iniciados por combustível e uma possível explosão também deve ser levada em consideração como consequência do acidente de aeronave.

### Critério de Seleção

Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X				X				

### Conclusão

Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-4

Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos

Tabela 41 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-01 Terremoto

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-01 – TERREMOTO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto na planta devido a movimentação do solo de origens sísmicas.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
As informações relacionadas a atividades sísmicas são analisadas em APS Específico de Sismo segundo metodologia própria de análise.								
<b>CrITÉrios de Base de Projeto</b>								
Os prédios e estruturas ou abrigam sistemas e componentes que desempenham função de segurança são considerados sísmicos.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
-								
<b>CrITÉrio de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X			X					
Existe metodologia para o desenvolvimento de APS de Sismo que difere do postulado para a APS de Eventos Externos. Porém, a combinação sísmica com outros perigos externos será considerada.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-4.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 42 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-01 Impacto mediante a guerra/conflito

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-01 – IMPACTO MEDIANTE A GUERRA/CONFLITO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto na planta devido à movimentação do solo pela detonação/deflagração de materiais em conflitos.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Nenhuma informação específica do site está disponível. No entanto, perigos externos dessa natureza são considerados fora do escopo da análise.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>CrITÉrio de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
Perigo externo fora do escopo de análise.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído por estar fora do escopo de análise.								
Perigo Combinado: O evento é excluído por estar fora do escopo de análise.								

Tabela 43 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-02 Land Rise

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-02 – LAND RISE								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto na planta devido à elevação do nível do solo.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>A região de estudo encontra-se localizada na região sudeste do território brasileiro, constituída por rochas do embasamento da Plataforma Sul-Americana formada, em parte, por complexos metamórficos e eruptivos do Escudo Atlântico, bem como por unidades de Cobertura Fanerozóica. De acordo com a divisão do território brasileiro, a região de interesse abrange porções das Províncias Mantiqueira, São Francisco, Tocantins, Paraná e Margem Continental. As três primeiras são constituídos de rochas pré-cambrianas e as outras duas são formadas de rochas sedimentares e vulcânicas não deformadas da cobertura fanerozóica da Plataforma Sul- Americana. As unidades pré-cambrianas têm sido afetadas pelos eventos termotectônicos ocorridos no Arqueano e Proterozóico, os quais são utilizados para definir os ciclos tectônicos em Jequié (até 2.500 Ma), Transamazônico (2.500 - 1.800 Ma) Uruaçuano (1.800 - 1.000 Ma) e Brasileiro (1.000 - 450 Ma).</p>								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Os efeitos em relação as “Land Rise” no reator não são totalmente entendidos. Mais informações sob esse perigo externo devem ser compiladas mesmo que esse perigo tenha desenvolvimento lento.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento não é excluído da análise por falta de informação, é necessário um reavaliar a base de dados de perigo.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								



Tabela 44 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-03 Congelamento de Solo

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-03 – CONGELAMENTO DE SOLO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido ao congelamento do solo.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não é esperada a ocorrência de tempestades de neve, já que as temperaturas mínimas sobre a região raramente são abaixo de 0 °C, assim como, a altitude e latitude da localização do município de Sorocaba não favorecem condições termodinâmicas para esse tipo de fenômeno meteorológico.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não impacto para esse perigo no reator em estudo.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X						X	X
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 45 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-04 Animais

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-04 – ANIMAIS								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por animais.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
O sítio e reator são protegidos por múltiplas cercas contra animais maiores. Animais pequenos, como pássaros, podem ter um impacto sobre os sistemas de ventilação. No entanto, presume-se que a planta não é vulnerável ao impacto de animais pequenos.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
O impacto de animais para o reator é considerado desprezível.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>					<b>X</b>			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 46 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-02 Trabalhos de Escavação

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-02 – TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por trabalhos de escavação, interna/externamente à área do sítio.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>Não é relevante dado que trabalhos de escavação externos ao reator não apresentam nenhum impacto direto sobre as funções de segurança do reator.</p> <p>Para os trabalhos de escavação internos, a operadora reserva-se o direito de controlar toda e qualquer atividade dentro da área de exclusão onde a planta está localizada. Por este motivo, espera-se que os trabalhos de escavação dentro da exclusão sejam controlados por rotinas administrativas destinadas a evitar qualquer risco à instalação.</p>								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X				X			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1 e G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 47 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-05 Fenômeno Vulcânico

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-05 – FENOMENO VULCÂNICO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por erupções vulcânicas.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há atividade vulcânica nas proximidades do local. O sítio do reator nuclear está muito longe de vulcões para que eles possam causar qualquer efeito adverso à planta.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Esse perigo não é relevante para o reator em questão.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 48 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-06 Avalanche

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-06 – AVALANCHE								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por avalanches.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver <i>Tabela 25</i> – Processo de Seleção de Perigos Externos – AN-07.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Avalanche não é aplicável para o sítio em análise, portanto, a consequência do evento pode ser declarada nula.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
Esse perigo não é relevante para o reator em questão.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 49 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-07 Deslizamento de terra acima do nível da água

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-07 – DESLIZAMENTO DE TERRA ACIMA DO NÍVEL DA ÁGUA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por movimentação no solo com origem acima do solo.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>O solo é predominantemente silto-argiloso, com valores de SPT maiores que 10 golpes na sua maioria e o impenetrável foi encontrado mais próximo da superfície no terreno mais alto. As sondagens executadas na base do talude mostram uma espessa camada de solo de alteração de rocha antes de se atingir o impenetrável. As sondagens mostraram um solo resistente.</p> <p>A área de implantação do reator é basicamente plana com pouquíssima mudança de cota entre os prédios e estruturas com a geologia da região. Eventos de deslizamento considerando evento sísmico serão analisados na APS de Sismos.</p>								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Deslizamento de terra não é aplicável ao sítio em análise, portanto, a consequência do perigo pode ser declarada como nula.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 50 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-03 Transporte pesado dentro do sítio

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-03 – TRANSPORTE PESADO DENTRO DO SITIO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano à planta causado pelo impacto direto de transporte pesado dentro do sítio. Também é incluída a plataforma de manutenção da contenção externa.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Para o transporte pesado dentro do sítio, a operadora reserva-se o direito de controlar toda e qualquer atividade dentro da área de exclusão onde a planta está localizada. Por este motivo, espera-se que os transporte pesado dentro sítio dentro da exclusão sejam controlados por rotinas administrativas destinadas a evitar qualquer risco à instalação.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Todos os edifícios / estruturas relacionadas à segurança foram projetadas para suportar altas cargas estruturais, como pressão devido à explosão. A proteção é considerada eficaz também contra impacto direto de transporte pesado.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 51 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-04 Mísseis gerados por atividade militar

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-04 – MISSEIS GERADOS POR ATIVIDADE MILITAR								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por mísseis de atividades militares.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Dentro da macrorregião de Sorocaba, existe o Centra Industrial Nuclear de Aramar (CINA) que é uma base militar de pesquisa, portanto não é considerada a operação regular de armamentos e explosivos.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Todos os edifícios / estruturas relacionadas à segurança foram projetadas para suportar altas cargas estruturais, como pressão devido a explosão, ventos fortes e tornados.								
A proteção é considerada eficaz também para o evento GH-04.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Com base nas informações fornecidas na descrição do evento, julga-se que os mísseis de atividade militar devido às instalações próximas não representam ameaça ao sítio.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>					<b>X</b>			
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-5.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								



Tabela 52 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-05 Mísseis gerados por outra instalação do sítio

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-05 – MISSEIS GERADORES POR OUTRA INSTALAÇÃO DO SÍTIO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano gerado por mísseis de outra planta no sítio.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
É considerado que o sítio em análise só apresenta uma instalação nuclear.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 53 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-08 Incêndio Externo

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS
<b>GN-08 – INCÊNDIO EXTERNO</b>
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados externamente à planta.
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b> A – Efeitos Estruturais – NA B – Efeitos na Ventilação – X C – Efeitos na Remoção de Calor – NA D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X
<b>Informação do Perigo Externo</b>  A área ao redor do reator é amplamente coberta por floresta, no entanto no local de implantação não há floresta e nem arbustos durante a construção, de modo que os incêndios que começam fora da área do local não sejam capazes de se propagar dentro dela.
<b>Critérios de Base de Projeto</b>  O projeto contra incêndios segue os critérios de segurança da CNEN e da U.S. NRC.  A política de defesa em profundidade, adotada para os projetos dos sistemas de segurança das usinas nucleoeletricas, é também aplicada em três níveis: prevenção de princípio de incêndio, proteção ativa contra incêndio, e proteção passiva contra incêndio.  O reator é projetado para minimizar a probabilidade e o efeito de incêndio e explosões. Materiais resistentes ao fogo e não combustíveis são utilizados o máximo possível. O sistema de proteção contra incêndios está projetado para detectar, anunciar e extinguir qualquer incêndio provável de ocorrer. Uma combinação apropriada de isolamento elétrico, distância física, barreiras, resistências à combustão, e proteção manual e/ou automática, é aplicada para manter a independência efetiva dos equipamentos de segurança redundantes e, conseqüentemente, a disponibilidade das funções de segurança mesmo com incêndios potenciais, caso ocorram.  O sistema de combate a incêndios está projetado de modo a não prejudicar as funções de segurança dos componentes, sistemas e estruturas, no caso de operação inadvertida ou falhas de partes do sistema ou de qualquer componente. Os sistemas de detecção, alarme e extinção de incêndios são testados e inspecionados periodicamente para garantir confiabilidade e proteção contra os efeitos adversos de incêndios em estruturas, sistemas e componentes importantes para a segurança.
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>  O impacto de um incêndio externo nos sistemas de ventilação é considerado irrelevante. Isto é porque sistemas de ventilação de componentes relacionados à segurança e a sala de controle do reator são projetados de forma que, no caso de um evento externo impactar os

sistemas VAC (por exemplo, gases de fumaça), estes podem ser alterados para um modo de recirculação.

### Critério de Seleção

Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X			X

Não aplicável

### Conclusão

Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5 e G-8.

Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.

Tabela 54 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-06 Incêndio alastrado de outra instalação

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-06 – INCÊNDIO ALASTRADO DE OUTRA INSTALAÇÃO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados por outra instalação.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
É considerado que o sítio em análise só apresenta uma instalação nuclear.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 55 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GN-08 Incêndio Florestal

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GN-09 – INCÊNDIO FLORESTAL								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta por incêndios originados por floresta próxima a instalação								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – X								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Ver Tabela 53 – Processo de Seleção de Perigos Externos – GN-08.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Ver Tabela 53 – Processo de Seleção de Perigos Externos – GN-08.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Ver Tabela 53 – Processo de Seleção de Perigos Externos – GN-08.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X		X						
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-2.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 56 – Processo de Seleção de Perigo Externos – GH-07 Contaminação química

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
GH-07 – CONTAMINAÇÃO QUIMICA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido à contaminação de agentes químicos no solo.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não há impacto relevante ao reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X							X	X
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 57 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-01 Forte corrente de água (Erosão de água no solo)

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-01 – FORTE CORRENTE DE ÁGUA (EROSÃO DE ÁGUA NO SOLO)								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo dano a estruturas da planta devido a fortes correntes de água.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>A região onde está inserida a área de Sorocaba localiza-se na província geomorfológica denominada Depressão Periférica, mais especificamente na Zona Médio Tietê. Na área predomina relevo suavemente ondulado, constituído principalmente por colinas médias de topos aplainados, com encostas retilíneas a convexas, por morrotes alongados e espigões de topos alongados e achatados com encostas ravinadas e retilíneas a convexas. Essa suavidade com altitude em torno de 600 m somente é alterada na região da Serra do Araçoiaba, onde o relevo se alça a 950 m, formando um núcleo pertencente à província denominado Planalto Atlântico o qual caracteriza-se por morros de topos arredondados e encostas retilíneas, às vezes abruptas, e por serras restritas.</p>								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não considerados no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
As consequências potenciais para esse perigo não foram levantadas na fase de projeto.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento não é excluído da análise por falta de informação, é necessário um reavaliar a base de dados de perigo.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 58 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-02 Baixo nível de água na fonte fria

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-02 – BAIXO NIVEL DE ÁGUA NA FONTE FRIA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido ao baixo nível da água.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Os dados de vazões máximas, médias e mínimas com duração de sete dias para o período de retorno de 10 anos foram levantados na bacia do rio Sorocaba, para discriminados segundo oito postos fluviométricos da bacia do rio Sorocaba, da bacia do rio Ipanema e do Rio Sarapuí.								
Como fator adicional de segurança na ocorrência de estiagens, pode-se contar com o volume represado pela barragem Dr.Edberg, no curso do rio Ipanema. Conforme as informações contidas no estudo da CPRM, esta barragem possui, além do vertedouro, quatro comportas.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Além da captação de água realizada nas bacias fluviais, o resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura trocando fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
O desenvolvimento do evento tem características lentas e não impacta diretamente o reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X						X		X
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-6 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								



Tabela 59 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-03 Tsunami

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-03 – TSUNAMI								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido ao baixo nível da água								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Um tsunami é uma série de ondas de água geradas por uma perturbação rápida e em grande escala de um corpo de água devido a fontes sísmicas, deslizamentos de terra ou vulcânicas. A causa mais frequente de tsunamis é um terremoto. Com menos frequência, os tsunamis são gerados por deslizamentos de terra submarinos e subaeriais.								
O mapa de riscos naturais mostra que os tsunamis oceânicos de campo próximo não são aplicáveis para a costa brasileira. O reator nuclear em análise se encontra a mais de 100km da costa.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não é considerado no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 60 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-04 Alto nível de água da fonte fria

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-04 – ALTO NÍVEL DE ÁGUA NA FONTE FRIA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido ao alto nível da água.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Os dados de vazões máximas, médias e mínimas com duração de sete dias para o período de retorno de 10 anos foram levantados na bacia do rio Sorocaba, discriminados segundo oito postos fluviométricos da bacia do rio Sorocaba, da bacia do rio Ipanema e do Rio Sarapuí. No caso da barragem Dr. Edberg, no caso de falha, será possível a liberação acumulada a cerca de 230.000 m <sup>3</sup> de água acima da crista de seu vertedouro. Se tal volume for liberado a uma taxa de 500 litros por minuto, por exemplo, esta reserva representaria 320 dias, quase um ano hidrológico. Vale ainda citar que estes 230.000 m <sup>3</sup> representariam, quando supostos uniformemente espalhados na área da bacia de drenagem da represa (219,01 km <sup>2</sup> ) uma altura de água de 1,1 mm, quantia essa presente na quase totalidade das chuvas que caem na bacia, o que evidencia a farta disponibilidade de recursos hídricos na região.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Além da captação de água realizada nas bacias fluviais, o resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura trocando fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X							X	X
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-6 e G-8. Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externos.								

Tabela 61 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-05 Alta Temperatura de água da fonte fria

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-05 – ALTA TEMPERATURA DE ÁGUA DA FONTE FRIA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido à alta temperatura da água.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
O resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
Essas torres de resfriamento têm sistemas de filtragem com o intuito de purificar e eliminar qualquer tipo de material orgânico presente nos tanques de resfriamento.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
					X		X	
Não aplicável.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5 e G-7.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 62 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-06 Baixa temperatura de água da fonte fria

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-06 – BAIXA TEMPERATURA DE ÁGUA DE FONTE FRIA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido à baixa temperatura da água.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
O resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura, que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo, para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
Essas torres de resfriamento têm sistemas de filtragem com o intuito de purificar e eliminar qualquer tipo de material orgânico presente nos tanques de resfriamento.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>					<b>X</b>		<b>X</b>	
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5 e G-7.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 63 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-07 Deslizamento de terra por água subterrânea

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-07 – DESLIZAMENTO DE TERRA POR ÁGUA SUBTERRANEA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a deslizamento de terra por água subterrânea.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
<p>O solo é predominantemente silto-argiloso, com valores de SPT maiores que 10 golpes na sua maioria e o impenetrável foi encontrado mais próximo da superfície no terreno mais alto. As sondagens executadas na base do talude mostram uma espessa camada de solo de alteração de rocha antes de se atingir o impenetrável. As sondagens mostraram um solo resistente.</p> <p>A área de implantação do reator é basicamente plana com pouquíssima mudança de cota entre os prédios e estruturas com a geologia da região. Eventos de deslizamento considerando evento sísmico será analisada na APS de Sismos.</p>								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
Não há considerações no projeto.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Deslizamento de terra não é aplicável ao sítio em análise, portanto, a consequência do evento pode ser declarada nula.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 64 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-08 Superfície de Gelo

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-08 – SUPERFICIE DE GELO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a superfície rígida de gelo formado.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo. Os parâmetros meteorológicos podem ser avaliados no perigo externo AN-07.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não foi considerado como base de projeto para as instalações.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Mesmo que se mostre incapacitado de realizar a captação de água, o resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>					<b>X</b>		<b>X</b>
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-6 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 65 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-09 Gelo Frazil

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-09 – GELO FRAZIL								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a formação de gelo frazil na tomada da fonte fria.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo. Os parâmetros meteorológicos podem ser avaliados no perigo externo AN-07								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não foi considerado como base de projeto para as instalações.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Mesmo que se mostrasse incapacitado de realizar a captação de água, o resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>					<b>X</b>		<b>X</b>
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-6 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 66 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-10 Barreiras de Gelo

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-10 – BARREIRAS DE GELO								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido àa formação de barreiras de gelo.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo. Os parâmetros meteorológicos podem ser avaliados no perigo externo AN-07.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não foi considerado como base de projeto para as instalações.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Mesmo que se mostrasse incapacitado de realizar a captação de água, o resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>						<b>X</b>	<b>X</b>
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-7 e G-8.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								



Tabela 67 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-11 Material Orgânico na água

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-11 – MATERIAL ORGANICO NA ÁGUA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a materiais orgânicos na tomada da fonte fria. Esses materiais podem ser algas, peixes, moluscos, águas-vivas, etc.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
O resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
Essas torres de resfriamento têm sistemas de filtragem com o intuito de purificar e eliminar qualquer tipo de material orgânico presente nos tanques de resfriamento.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X					X		X	
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-5, e G-7.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 68 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WN-12 Corrosão proveniente de água salgada

PROCESSO DE SELEÇÃO DE PERIGOS EXTERNOS								
WN-12 – CORROSÃO PROVENIENTE DE ÁGUA SALGADA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido a corrosão.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não aplicável. O reator em análise se encontra a mais de 100km da costa e utiliza água doce com características específicas.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não aplicável.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 69 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-01 Sólidos ou fluidos (não gasosos) por liberação de navios

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WH-01 – SOLIDOS OU FLUIDOS (NÃO GASOSOS) POR LIBERAÇÃO DE NAVIOS								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido à liberação de impurezas sólidas na água a partir de um navio.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não aplicável. O reator em análise se encontra a mais de 100km da costa.								
<b>Crítérios de Base de Projeto</b>								
Não aplicável.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X							
Não aplicável.								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Tabela 70 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-02 Liberação química para água

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WH-02 – LIBERAÇÃO QUIMICA PARA ÁGUA								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto à planta devido à liberação de material químico para água. O foco é para a redução da qualidade de água. As liberações podem ser de navios ou originadas em terra.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – NA								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – X								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - NA								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não há informação desse perigo externo.								
<b>CrITÉRIOS de Base de Projeto</b>								
O resfriamento principal do reator é realizado em circuito fechado com a água de resfriamento a alta temperatura que troca fluido com uma unidade de resfriamento composto de torres de resfriamento em paralelo para efetivamente realizar o resfriamento forçado da água do terciário do reator.								
Essas torres de resfriamento têm sistemas de filtragem com o intuito de purificar e eliminar qualquer tipo de material orgânico presente nos tanques de resfriamento.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>CrITÉRIO de Seleção</b>								
Exclusão	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8
X	X				X		X	
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando os critérios G-1, G-5, e G-7.								
Perigo Combinado: O evento será analisado na combinação dos perigos externo.								

Tabela 71 – Processo de Seleção de Perigo Externos – WH-03 Colisão de Navios

PROCESSO DE SELECAO DE PERIGOS EXTERNOS								
WH-03 – COLISÃO DE NAVIOS								
<b>Descrição:</b> Evento definido pelo impacto direto da colisão de navio.								
<b>Impacto nas funções de segurança do Reator:</b>								
A – Efeitos Estruturais – X								
B – Efeitos na Ventilação – NA								
C – Efeitos na Remoção de Calor – NA								
D – Efeitos na Alimentação Elétrica - X								
<b>Informação do Perigo Externo</b>								
Não é considerado no projeto. O reator em análise se encontra a mais de 100km da costa.								
<b>Critérios de Base de Projeto</b>								
Não aplicável.								
<b>Consequências Potenciais do Evento</b>								
Não aplicável.								
<b>Critério de Seleção</b>								
<b>Exclusão</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>	<b>G-5</b>	<b>G-6</b>	<b>G-7</b>	<b>G-8</b>
<b>X</b>	<b>X</b>							
Não aplicável								
<b>Conclusão</b>								
Perigo Único: O evento é excluído utilizando o critério G-1.								
Perigo Combinado: Não é analisado na combinação de perigos.								

Além disso, o processo envolve a seleção de perigos externos combinados, considerando que os perigos externos únicos que foram excluídos utilizando o critério G-1 – Distância ou o critério G-5 – Aviso/Previsibilidade também podem ser excluídos da análise de perigos combinados.

Dentre os perigos externos únicos identificados, é possível notar, por meio da Figura 6, que todos os critérios de seleção (G-1 a G-8) foram aplicados. Consequentemente, mostra-se a importância de um grupo de critérios abrangentes e gerais.

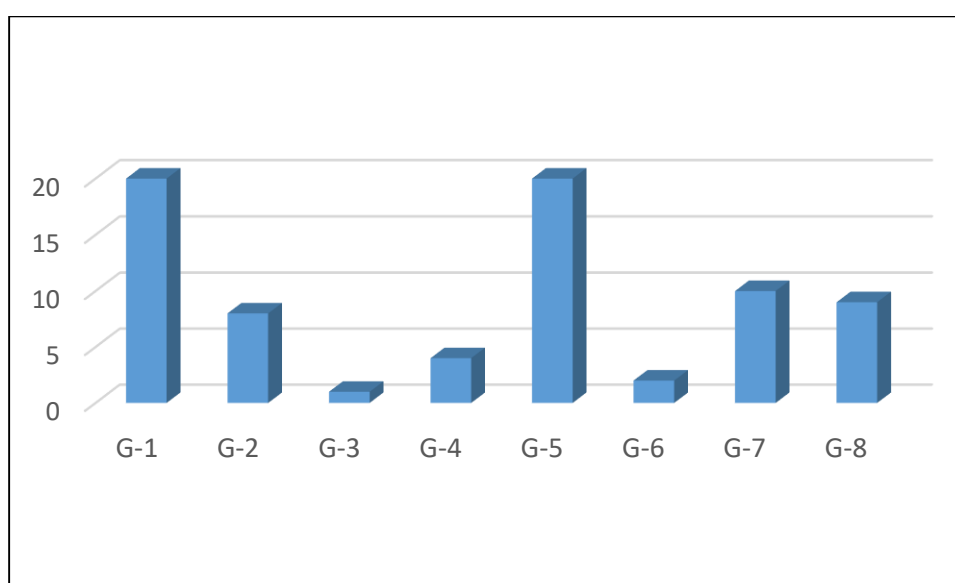


Figura 6 - Aplicação dos critérios de seleção (G-1 a G-8)

A Tabela 72 apresenta o resumo do processo de seleção de perigos externos únicos.

Tabela 72 – Resumo do Processo de Seleção Qualitativa de Perigos Externos Únicos

#	Perigo Externo	Critério de Seleção								Resultado
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	
<b>AN-01</b>	Ventos Fortes (vendaval)					X				EXCLUÍDO
<b>AN-02</b>	Tornado / Furacão									<b>MANTIDO</b>
<b>AN-03</b>	Alta temperatura do Ar					X		X	X	EXCLUÍDO

#	Perigo Externo	Critério de Seleção								Resultado
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	
AN-04	Baixa temperatura do Ar					X		X	X	EXCLUÍDO
AN-05	Pressão de ar extrema (alta/baixo/gradiente)		X			X				EXCLUÍDO
AH-01	Explosão em área interna a planta					X		X	X	EXCLUÍDO
AH-02	Explosão externa à planta	X			X	X			X	EXCLUÍDO
AH-03	Explosão após acidente de transporte		X							EXCLUÍDO
AH-04	Explosão após acidente em tubulações		X							EXCLUÍDO
AN-06	Chuva extrema					X				EXCLUÍDO
AN-07	Neve extrema (incluindo tempestade de neve)	X								EXCLUÍDO
AN-08	Granizo extremo	X								EXCLUÍDO
AN-09	Névoa					X	X	X	X	EXCLUÍDO
AN-10	Geada							X	X	EXCLUÍDO
AN-11	Aridez/Seca					X				EXCLUÍDO
AN-12	Tempestade de sal									<b>MANTIDO</b>
AN-13	Tempestade de areia									<b>MANTIDO</b>
AH-05	Liberação química interna/externamente à planta	X						X	X	EXCLUÍDO
AH-06	Liberação química após acidente de transporte		X							EXCLUÍDO
AH-07	Liberação química após acidente em tubulações		X							EXCLUÍDO
AN-14	Raios/Relâmpagos									<b>MANTIDO</b>
AH-08	Distúrbios eletromagnéticos (radares, rádio ou celulares)		X			X				EXCLUÍDO

#	Perigo Externo	Critério de Seleção								Resultado
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	
<b>AH-09</b>	Impulso Eletromagnético		X			X				EXCLUÍDO
<b>AN-15</b>	Meteorito				X					EXCLUÍDO
<b>AH-10</b>	Queda de satélite ou afim				X					EXCLUÍDO
<b>AH-11</b>	Queda de aeronave				X					EXCLUÍDO
<b>GN-01</b>	Terremoto			X						EXCLUÍDO
<b>GH-01</b>	Impacto mediante a guerra/conflito	X								EXCLUÍDO
<b>GN-02</b>	"Land Rise"									<b>MANTIDO</b>
<b>GN-03</b>	Congelamento de Solo	X						X	X	EXCLUÍDO
<b>GN-04</b>	Animais					X				EXCLUÍDO
<b>GH-02</b>	Trabalhos de escavação	X				X				EXCLUÍDO
<b>GN-05</b>	Fenômeno Vulcânico	X								EXCLUÍDO
<b>GN-06</b>	Avalanche	X								EXCLUÍDO
<b>GN-07</b>	Deslizamento de terra acima no nível da água	X								EXCLUÍDO
<b>GH-03</b>	Transporte pesado dentro do site					X				EXCLUÍDO
<b>GH-04</b>	Mísseis gerados por atividade militar					X				EXCLUÍDO
<b>GH-05</b>	Mísseis gerados por outra instalação no sítio	X								EXCLUÍDO
<b>GN-08</b>	Incêndio Externo					X			X	EXCLUÍDO
<b>GH-06</b>	Incêndio alastrado de outra instalação	X								EXCLUÍDO
<b>GN-08</b>	Incêndio Florestal		X							EXCLUÍDO
<b>GH-07</b>	Contaminação química							X	X	EXCLUÍDO
<b>WN-01</b>	Forte corrente de água (erosão de água no subsolo)									<b>MANTIDO</b>
<b>WN-02</b>	Baixo nível de água da fonte fria						X		X	EXCLUÍDO



#	Perigo Externo	Critério de Seleção								Resultado
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	
<b>WN-03</b>	Tsunami	X								EXCLUÍDO
<b>WN-04</b>	Alto nível de água da fonte fria							X	X	EXCLUÍDO
<b>WN-05</b>	Alta temperatura de água da fonte fria					X		X		EXCLUÍDO
<b>WN-06</b>	Baixa temperatura de água da fonte fria					X		X		EXCLUÍDO
<b>WN-07</b>	Deslizamento de terra por água subterrânea	X								EXCLUÍDO
<b>WN-08</b>	Superfície de gelo	X					X		X	EXCLUÍDO
<b>WN-09</b>	Gelo Frazil	X					X		X	EXCLUÍDO
<b>WN-10</b>	Barreiras de gelo	X						X	X	EXCLUÍDO
<b>WN-11</b>	Material orgânico na água (algas, peixes, etc.)					X		X		EXCLUÍDO
<b>WN-12</b>	Corrosão proveniente de água salgada	X								EXCLUÍDO
<b>WH-01</b>	Sólidos ou fluidos (não gasosos) por liberação de navios	X								EXCLUÍDO
<b>WH-02</b>	Liberação química para água	X				X			X	EXCLUÍDO
<b>WH-03</b>	Colisão de navios	X								EXCLUÍDO

Dessa forma, após o processo de Seleção Qualitativa de Perigos Externos Únicos, foram mantidos 6 perigos externos únicos como sendo relevantes para o reator nuclear considerado no estudo de caso, que são:

1. Tornado / Furacão;
2. Tempestade de Sal;
3. Tempestade de Areia;
4. Raios / Relâmpagos;
5. “Land Rise”; e
6. Forte corrente de água (erosão de água no subsolo).

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que a estruturação da metodologia para a implantação da Análise Probabilística de Segurança de Eventos Externos utilizando as diversas referências, especialmente o relatório SKI 02:27, a norma ASME/ANS-Ra-As-2013, o relatório do EPRI e o IAEA TECDOC-1804, mostrou-se fundamental para a solidificação dos passos necessários para que a análise tivesse a completeza e robustez necessárias.

Além disso, o processo de seleção de perigos externos, mesmo que limitado devido ao escopo e à fase de projeto do reator nuclear experimental em tela, mostrou uma estrutura coerente e progressiva, na qual as tarefas foram realizadas de modo sequencial, com o intuito de reduzir o número de perigos externos únicos e sem negligenciar nenhum perigo específico.

A seleção qualitativa de perigos externos proposta no trabalho mostra que há uma boa convergência entre os critérios apresentados nos documentos estudados. É importante notar que existe uma forte preocupação quanto ao rigor adotado na aplicação da seleção por critérios qualitativos e no cumprimento dos objetivos de segurança definidos para o reator.

O estudo de caso permitiu a aplicação da Etapa 1 e da Etapa 2 de modo completo e a Etapa 3 foi aplicada parcialmente. Desta forma, considerando a execução do processo de seleção qualitativa de perigos únicos, houve uma redução da lista inicial de perigos externos únicos de 57 perigos externos únicos para 6 perigos. Além disso, considerou-se que os perigos excluídos utilizando o critério G-1 e G-5 não serão representados no processo de seleção de perigos combinados.

Contudo, algumas limitações e dificuldades devem ser encontradas para a implantação completa das etapas da metodologia de APS de Eventos Externos. Estas limitações e dificuldades referem-se, principalmente, à necessidade da elaboração completa da APS Nível 1 de Eventos Internos e ao levantamento de dados de perigos externos não convencionais. Este último requer extensa pesquisa na literatura internacional, considerando que os dados a serem obtidos não necessariamente representam de maneira adequada a localização do reator em estudo.

Além disso, como trabalho futuro, entende-se que o acompanhamento do reator nuclear experimental, ao longo das fases da sua vida útil, implicaria na atualização gradativa do escopo da APS de Eventos Externos, culminando na aplicação de todas as etapas de análise.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. **Standard for Level 1 / Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications**. USA, 2008. (ASME-ANS RA-S-2008)

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. **Addenda to ASME/ANS Ra-S-2008 - Standard for Level 1 / Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications**. USA, 2009. (ASME-ANS RA-Sa-2009)

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS / AMERICAN NUCLEAR SOCIETY. **Addenda to ASME/ANS Ra-S-2008 - Standard for Level 1 / Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications**. USA, 2013. (ASME-ANS RA-Sb-2013)

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMA TECNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**. Brasil, 2013. (ABNT NBR 6123:1988)

BRASIL. Decreto Nº 8.886, de 24 de outubro de 2016. **Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança da Comissão Nacional de Energia Nuclear**. Poder Executivo, Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Lei nº 14.222, de 15 de outubro de 2021. **Cria a Autoridade de Segurança Nuclear (ANSN)**. Poder Executivo, Brasília, DF, 2021.

CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION. **Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants**. Canada, 2014. (REGDOC-2.4.2)

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Nuclear**. Rio de Janeiro, 2002. (Norma CNEN-NE-1.04).

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment**. USA, 2015. (Report 3002005287 Update of Report 1022997)

EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY. **Project ASAMPESA\_E: Methodology for Selecting Initiating Events and Hazards for Consideration in an Extended PSA**. União Europeia, 2016. (ASAMPESA\_E/WP30/D30.7 volume 2)

GAUDRON, J.; LUZOIR, C.; LEFEBVRE, Y.; JADOT, H. **Screening Process for Individual and Correlated External Hazards – Application on the 1300MWE French Series**. In: 2021 INTERNATIONAL TOPICAL MEETING ON PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND ANALYSIS, 2021 Edition, 2021.

GEORGESCU, G.; RAHNI, N.; DULUC, C.M. **IRSN Methodology for the Selection of External Hazards Candidate to Probabilistic Analysis**. In: PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 13th edition, 2016

GOLOVCHUK, B.; VAN OPSTAL, F. **Screening of External Hazards in Belgium**. In: PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 14th edition, 2018.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **External Man-Induced Events in Relation to Nuclear Power Planting Siting**. Vienna, 1981. (IAEA No 50-SG-S5)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Modelling and data prerequisites for specific applications of PSA in the management of nuclear plant safety.** Vienna: IAEA, 1994. (IAEA-TECDOC-740).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Treatment of External Hazards in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants.** Vienna: IAEA, 1995. (Safety Series No. 50-P-7)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants.** Vienna, 2002. (IAEA No NS-G-3.1)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants.** Vienna, 2003. (IAEA No NS-G-1.5)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Determining the Quality of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants.** IAEA: Vienna, 2006. (IAEA-TECDOC-1511)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Development and Application of Level 1 PSA for Nuclear Power Plants.** Vienna: IAEA, 2010. (IAEA SSG No. 3)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **The Fukushima Daiichi Accident – Safety Assessment.** Technical Volume 2/5. Vienna: IAEA, 2015.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Basic Professional Training Course – Probabilistic safety assessment.** Module VII. Vienna: IAEA, 2015b.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Safety Assessment for Facilities and Activities.** Rev. 1. IAEA. Vienna, 2016. (GSR Part 4).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants.** IAEA: Vienna, 2016b. (IAEA-TECDOC-1804)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **IAEA Safety Glossary – Terminology used in nuclear safety and radiation protection – 2018 Edition.** IAEA: Vienna, 2018.

KOLLASKO, H.; JOCKENHOEVEL-BARTTFELD, M. **External Event Screening Approach to Identify Relevant Design Extension Hazards for NPP.** In: PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 13th edition, 2016.

NARUMIYA, Y.; NOMURA, H.; NAKAYAMA, T.; HASHIMOTO, N.; TERASAKI, Y.; MAMIZUKA, Y.; HIROSAWA, T.; SHINZAKI, S.; KURAMOTO, T.; HIJIYA, M. **A Study of Screening Method for the Risk Significant Combinations among External Hazards.** In: PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 13th edition, 2016.

NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Five Years after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident.** 2016. (NEA N°7284-2016)

NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Examination of Approaches for Screening External Hazards for Nuclear Power Plants.** 2018. (NEA/CSNI/R(2018)7)

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT / NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Use and Development of Probabilistic Safety Assessment – an Overview of the situation at the end of 2010.** OECD Nuclear Energy Agency, 2012. (NEA/CSNI/R(2012)11).

SWEDISH NUCLEAR INSPECTORATE. **Guidance for External Events Analysis**. Sweden. 2003. (SKI Report 02:27)

SWISS FEDERAL NUCLEAR SAFETY INSPECTORATE. **Probabilistic Safety Analysis (PSA): Quality and Scope – Guideline for Swiss Nuclear Installations**. Switzerland, 2019. (ENSI-A05/e – 2019)

TAEKEMA, H.; BRINKMAN, H. **Assessing Combinations of Hazards in Probabilistic Safety Analysis**. In: PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, 14th edition, 2018.

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION. **Guide to the Organization and Contents of Safety Analysis Report**. [S.I.]. 1966.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Reactor Safety Study: an assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants**. Idaho National Laboratory. [S.I.]. 1975. (NUREG-CR-75/014 – WASH-1400).

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION. **Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants**. Rev. 1. 1972. (REGULATORY GUIDE – RG 1.70 Rev. 1).

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants**. Rev. 3. 1978. (REGULATORY GUIDE – RG 1.70 Rev. 3).

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **PRA Procedures Guide: a guide to perform risk assessments for nuclear power plants**. Washington, DC.: U.S. NRC, 1983. (NUREG/CR-2300)

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide**. Brookhaven National Laboratory. USA, 1984. (NUREG/CR-2815).

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Evaluation of External Hazards to Nuclear Power Plants in the United States**. Washington, DC, 1987. (NUREG/CR-5042)

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities – Final Policy Statement**. Washington, DC. U.S. NRC, 1995. (50 FR 42622)

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **An approach for determining the technical adequacy of probabilistic risk assessment results for risk-informed activities**. Rev.2. Washington DC., 2009 (REGULATORY GUIDE 1.200)

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Evaluation of Explosions Postulated to Occur at Nearby Facilities and on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants**. Washington DC., 2013. (Regulatory Guide 1.91)

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants: LWR Edition**. Washington DC. , 2020. (NUREG-0800 issued as NUREG-75/087)

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino  
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000  
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908  
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil  
<http://www.ipen.br>

**O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.**