



## APRESENTAÇÃO

A MRS Estudos Ambientais apresenta ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) o documento intitulado:

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DO  
REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO –  
VOLUME 1

O presente documento está sendo entregue em 1 via impressa e 1 via em meio digital

Maio de 2013

Alexandre Nunes da Rosa  
**MRS Estudos Ambientais Ltda**

## ÍNDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>APRESENTAÇÃO.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR .....</b>   | <b>6</b>  |
| 2.1      | COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Cnen) .....                                      | 6         |
| 2.1.1    | <i>Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento.....</i>                                    | <i>8</i>  |
| 2.1.1.1  | Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares .....                                   | 10        |
| 2.1.1.2  | Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear .....                                  | 12        |
| 2.1.1.3  | Instituto de Engenharia Nuclear.....   | 13        |
| 2.1.1.4  | Instituto de Radioproteção e Dosimetria .....  | 14        |
| 2.1.1.5  | Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE) .....                      | 14        |
| 2.1.1.6  | Laboratório de Poços de Caldas .....   | 15        |
| 2.2      | IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR .....  | 15        |
| <b>3</b> | <b>IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA E DA EQUIPE RESPONSÁVEL PELOS ESTUDOS AMBIENTAIS .....</b> | <b>17</b> |
| 3.1      | MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA.....   | 17        |
| 3.2      | IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA .....   | 18        |
| 3.2.1    | <i>IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL.....</i>                                | <i>18</i> |
| <b>4</b> | <b>CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....</b>   | <b>21</b> |
| 4.1      | HISTÓRICO.....   | 21        |
| 4.1.1    | <i>HISTÓRICO DA POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA.....</i>                                   | <i>21</i> |
| 4.1.2    | <i>REATORES DE PESQUISA NO BRASIL .....</i>  | <i>26</i> |
| 4.1.2.1  | Reator IEA – R1.....   | 27        |
| 4.1.2.2  | Reator IPEN/MB-01.....   | 30        |
| 4.1.2.3  | Reator Argonauta.....  | 31        |
| 4.1.2.4  | Reator Triga IPRR1.....  | 32        |
| 4.1.3    | <i>REATORES DE PESQUISA NO MUNDO .....</i>   | <i>33</i> |
| 4.1.3.1  | Reator OPAL - Austrália .....  | 35        |
| 4.1.3.2  | Reator OSIRIS - França.....  | 36        |
| 4.1.3.3  | Reator Jules Horowitz - França.....  | 37        |
| 4.1.3.4  | Reator ETRR-2 - Egito .....  | 38        |
| 4.1.4    | <i>INSERÇÃO DO RMB NO CONTEXTO DA POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA.....</i>                 | <i>39</i> |
| 4.2      | OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO .....  | 42        |
| 4.2.1    | <i>PRODUÇÃO DE RADIOISÓTOPOS .....</i>   | <i>43</i> |
| 4.2.1.1  | Radioisótopos de Aplicação na Saúde .....  | 44        |
| 4.2.1.2  | Radioisótopos de Aplicação na Indústria .....  | 49        |
| 4.2.1.3  | Radioisótopos de Aplicação na Agricultura e Meio Ambiente .....                        | 50        |
| 4.2.2    | <i>IRRADIAÇÃO, TESTE E ANÁLISE PÓS-IRRADIAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS MATERIAIS.....</i>       | <i>51</i> |
| 4.2.3    | <i>UTILIZAÇÃO DE FEIXE DE NÊUTRONS .....</i>   | <i>54</i> |
| 4.2.3.1  | Outras aplicações com nêutrons produzidos no reator nuclear de pesquisa .....          | 59        |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 4.2.4      | CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO.....  | 61  |
| 4.3        | JUSTIFICATIVAS DO EMPREENDIMENTO.....  | 62  |
| 4.3.1      | JUSTIFICATIVAS ESTRATÉGICAS.....   | 62  |
| 4.3.2      | PROPOSTA LOCACIONAL.....   | 63  |
| 4.3.2.1    | Justificativa Locacional.....  | 65  |
| 4.3.2.1.1  | Sítios nucleares existentes.....   | 66  |
| 4.3.2.1.2  | Justificativas sobre a escolha da área do Centro Experimental de ARAMAR..... | 67  |
| 4.3.2.1.3  | Aspectos Econômicos, Sociais, e Ambientais da Região Selecionada.....        | 69  |
| 4.3.3      | ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....   | 71  |
| 4.3.3.1    | Descrição técnica do projeto.....  | 72  |
| 4.3.3.1.1  | Engenharia do Reator.....  | 73  |
| 4.3.4      | HIPÓTESE DE NÃO REALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....                            | 77  |
| 4.4        | DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....   | 78  |
| 4.4.1      | GENERALIDADES.....   | 78  |
| 4.4.1.1    | Principais Instalações.....  | 78  |
| 4.4.1.1.1  | Núcleo de Produção e Pesquisa.....   | 78  |
| 4.4.1.1.2  | Núcleo de Apoio Administrativo.....  | 81  |
| 4.4.1.1.3  | Núcleo de Apoio de Infraestrutura.....                                       | 83  |
| 4.4.1.1.4  | Infraestrutura.....  | 84  |
| 4.4.1.1.5  | Insumos.....   | 85  |
| 4.4.1.1.6  | Produtos e Serviços.....   | 86  |
| 4.4.1.1.7  | Sistemas de Controle Ambiental.....  | 86  |
| 4.4.1.1.8  | Dispositivos de Armazenamento e Liberação de Efluentes e Rejeitos.....       | 94  |
| 4.4.1.2    | Fatores Ambientais da Área de Estudo.....                                    | 97  |
| 4.4.2      | PLANTA GERAL E ASPECTOS EXTERNOS.....  | 100 |
| 4.4.3      | REATOR E SISTEMAS ASSOCIADOS.....  | 104 |
| 4.4.3.1    | Informações Gerais.....  | 104 |
| 4.4.3.1.1  | Prédio do Reator (N01).....  | 107 |
| 4.4.3.1.2  | Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (N03)..... | 119 |
| 4.4.3.1.3  | Prédio das Guias de Nêutrons (N02).....                                      | 120 |
| 4.4.3.1.4  | Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (N04).....     | 126 |
| 4.4.3.1.5  | Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados (N05).....          | 137 |
| 4.4.3.1.6  | Prédio do Laboratório de Radioquímica (N06).....                             | 150 |
| 4.4.3.1.7  | Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos.....                            | 157 |
| 4.4.3.1.8  | Insumos e Produtos.....  | 169 |
| 4.4.3.1.9  | Externalidades.....  | 170 |
| 4.4.3.1.10 | Cronograma de Implantação/Operação.....                                      | 174 |
| 4.4.3.2    | Sistemas de Captação e Tratamento de Águas.....                              | 177 |
| 4.4.3.2.1  | Água de Serviço Industrial.....  | 180 |
| 4.4.3.2.2  | Água Potável.....  | 186 |
| 4.4.3.2.3  | Água de Reuso.....   | 186 |
| 4.4.3.2.4  | Outorga de Uso da Água.....  | 188 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.4.3.3   | Sistema de Dissipação de Calor .....  | 190        |
| 4.4.3.3.1 | Tanque de Reposição de Água Industrial .....  | 194        |
| 4.4.3.3.2 | Torre de Refrigeração.....  | 194        |
| 4.4.3.3.3 | Bombas de Água de Resfriamento .....  | 197        |
| 4.4.3.3.4 | Filtro Autolimpante .....   | 198        |
| 4.4.3.3.5 | Água de Resfriamento .....  | 198        |
| 4.4.3.4   | Sistemas de Saneamento Ambiental.....   | 199        |
| 4.4.3.4.1 | Efluentes Líquidos .....  | 199        |
| 4.4.3.4.2 | Efluentes Gasosos.....  | 203        |
| 4.4.3.4.3 | Resíduos Sólidos .....  | 204        |
| 4.4.4     | <i>Quantificação do Termo Fonte Operacional e Sistema Geral de Tratamento de Efluentes e Rejeitos Sólidos Radioativos .....</i> | <i>209</i> |
| 4.4.4.1   | Fontes de Geração de Efluentes e Resíduos Sólidos .....   | 209        |
| 4.4.4.1.1 | Prédio do Reator .....  | 211        |
| 4.4.4.1.2 | Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens .....   | 226        |
| 4.4.4.1.3 | Prédio do Laboratório das Guias de Nêutrons.....  | 227        |
| 4.4.4.1.4 | Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes .....   | 227        |
| 4.4.4.1.5 | Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados .....  | 241        |
| 4.4.4.1.6 | Prédio do Laboratório da Radioquímica.....  | 242        |
| 4.4.4.1.7 | Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos.....   | 243        |
| 4.4.5     | <i>ASPECTOS CONSTRUTIVOS .....</i>  | <i>244</i> |
| 4.4.5.1   | Descrição das Áreas.....  | 244        |
| 4.4.5.1.1 | Áreas de Infraestrutura e Apoio e Administrativa .....  | 244        |
| 4.4.5.1.2 | Área de Produção e Pesquisa .....   | 245        |
| 4.4.5.2   | Técnicas Construtivas.....  | 246        |
| 4.4.5.2.1 | Vias de Acesso .....  | 246        |
| 4.4.5.2.2 | Canteiro de Obras.....  | 247        |
| 4.4.5.3   | Demanda de Mão de Obra .....  | 253        |
| 4.4.5.4   | Procedimentos Especiais.....  | 253        |
| 4.4.5.4.1 | Saúde Laboral .....   | 253        |
| 4.4.5.4.2 | Conservação da Vegetação.....   | 253        |
| 5         | <b>TRANSPORTE DE MATERIAIS NUCLEARES E RADIOATIVOS .....</b>  | <b>255</b> |
| 5.1       | PLANO DE TRANSPORTE .....   | 255        |
| 5.1.1     | <i>OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO.....</i>   | <i>255</i> |
| 5.1.2     | <i>ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL- MATERIAL A SER TRANSPORTADO .....</i>   | <i>255</i> |
| 5.1.2.1   | Forma Física .....  | 255        |
| 5.1.2.2   | Quantidade .....  | 256        |
| 5.1.3     | <i>RISCOS INERENTES AO TRANSPORTE.....</i>  | <i>257</i> |
| 5.1.3.1   | Risco de Irradiação .....   | 257        |
| 5.1.3.2   | Risco de Criticalidade .....  | 257        |
| 5.1.4     | <i>CRITICALIDADE.....</i>   | <i>257</i> |
| 5.1.4.1   | Controle da Reatividade – Unidade Isolada .....   | 258        |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 5.1.5     | REQUISITOS PARA EMBALADOS TIPO A, CONTENDO MATERIAL FÍSSIL.....                            | 258 |
| 5.1.6     | TRANSPORTE.....  | 259 |
| 5.1.6.1   | Característica do Recipiente de Transporte .....   | 259 |
| 5.1.6.2   | Condições para o Transporte .....  | 259 |
| 5.1.6.3   | Disposição da Carga no Veículo.....  | 259 |
| 5.1.6.4   | Dados sobre o Veículo de Transporte .....  | 259 |
| 5.2       | ROTAS DE TRANSPORTE .....  | 260 |
| 5.3       | METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA .....                                  | 262 |
| 5.3.1     | RECURSOS EMPREGADOS.....   | 262 |
| 5.3.1.1   | Recursos Humanos.....  | 262 |
| 5.3.1.2   | Recursos Materiais .....   | 262 |
| 5.3.2     | PROCEDIMENTO RELATIVO AO CARREGAMENTO .....  | 263 |
| 5.3.3     | PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS .....   | 263 |
| 5.3.4     | PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM CONDIÇÕES NORMAIS .....                           | 268 |
| 5.3.4.1   | Monitoração Individual .....   | 268 |
| 5.3.4.2   | Monitoração da Radiação Emitida pelo Conteúdo Radioativo e Condição de Criticalidade ..... | 268 |
| 5.3.4.2.1 | Classificação do Embalado pela Criticalidade.....  | 268 |
| 5.3.4.2.2 | Monitoração Durante a Operação de Carregamento do Veículo .....                            | 268 |
| 5.3.4.3   | Monitoração após o Carregamento do Veículo .....   | 268 |
| 5.3.4.3.1 | Etiquetas para Transporte.....   | 268 |
| 5.3.4.4   | Cuidados Tomados Durante as Paradas Previstas.....   | 270 |
| 5.3.4.5   | Procedimentos Relativos ao Descarregamento .....   | 270 |
| 5.3.4.6   | Procedimento de Proteção Radiológica em Relação ao Veículo .....                           | 270 |
| 5.3.4.6.1 | Vistoria do Veículo.....   | 270 |
| 5.3.5     | COMUNICADO AS AUTORIDADES .....  | 271 |
| 5.3.6     | PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA. ....                     | 271 |
| 5.3.6.1   | Alerta e Notificação.....  | 271 |
| 5.3.6.2   | Medidas de Proteção em Acidentes.....  | 271 |
| 5.3.6.3   | Assistência Médica .....   | 272 |
| 5.3.7     | REQUISITOS ADMINISTRATIVOS E RESPONSABILIDADES.....  | 272 |
| 5.3.8     | PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE.....   | 272 |
| 5.3.8.1   | Exigências Gerais.....   | 272 |
| 5.3.8.2   | Organização.....   | 272 |
| 5.3.8.3   | Certificado de Avaliação do Embalado .....   | 273 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 1 - ALINHAMENTO DO EMPREENDIMENTO RMB COM MINISTÉRIOS E OBJETIVOS ESTRATÉGICOS .....                         | 1   |
| FIGURA 2 – ORGANOGRAMA DA CNEN.....   | 8   |
| FIGURA 3 – ORGANOGRAMA DPD.....   | 9   |
| FIGURA 4 - ORGANIZAÇÃO PARA O EMPREENDIMENTO RMB.....   | 10  |
| FIGURA 5 – IMAGENS DO IEA-R1.....   | 29  |
| FIGURA 6 - IMAGENS DO IEA-R1.....   | 29  |
| FIGURA 7 – IMAGENS DO REATOR IPEN/MB-01.....  | 31  |
| FIGURA 8 – IMAGENS DO REATOR ARGONAUTA.....   | 32  |
| FIGURA 9 – IMAGENS DO REATOR IPR-R1.....  | 33  |
| FIGURA 10 – IMAGENS DO REATOR OPAL – AUSTRÁLIA.....   | 36  |
| FIGURA 11 - IMAGENS DO REATOR OSIRIS – FRANÇA.....  | 37  |
| FIGURA 12 – IMAGENS DO REATOR JULES HOROWITZ - FRANÇA.....  | 38  |
| FIGURA 13 – IMAGENS DO REATOR ETRR-2 - EGITO.....   | 39  |
| FIGURA 14 - SÍTIO DE ARAMAR, COM AS TRÊS POSIÇÕES ANALISADAS PARA INSTALAR O RMB (IMAGEM <i>GOOGLE EARTH</i> )..... | 68  |
| FIGURA 15 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO DO RMB.....   | 73  |
| FIGURA 16 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO REATOR RMB.....  | 76  |
| FIGURA 17 – NÚCLEO DE PRODUÇÃO E PESQUISA.....  | 80  |
| FIGURA 18 - PERSPECTIVA DE ARQUITETURA DO NÚCLEO DE PRODUÇÃO E PESQUISA.....  | 80  |
| FIGURA 19 - NÚCLEO DE APOIO ADMINISTRATIVO (PARCIAL).....   | 82  |
| FIGURA 20 - NÚCLEO DE APOIO DE INFRAESTRUTURA (PARCIAL).....  | 84  |
| FIGURA 21 - PROCESSO TÍPICO DE ZONAS DE CONFINAMENTO.....   | 92  |
| FIGURA 22 – IMAGEM DO GOOGLE EARTH COM A DELIMITAÇÃO DE IPERÓ E DEMAIS MUNICÍPIOS PRÓXIMOS.....                     | 97  |
| FIGURA 23 - TERRENOS DO SÍTIO DO RMB EM ARAMAR - IPERÓ.....   | 100 |
| FIGURA 24 – PLANO DIRETOR DO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO.....  | 101 |
| FIGURA 25 - ENTRADA PLANEJADA PARA O EMPREENDIMENTO RMB.....  | 102 |
| FIGURA 26 – ESQUEMA DO NÚCLEO DO REATOR RMB.....  | 106 |
| FIGURA 27 – PRÉDIO DO REATOR – PLANTA DOS PAVIMENTOS NÍVEIS 595,00 E 598,00.....                                    | 109 |
| FIGURA 28 – PRÉDIO DE ESTOCAGEM DE COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS – PLANTA DOS PAVIMENTOS NÍVEIS 590,00 E 594,00.....       | 110 |
| FIGURA 29 - PRÉDIO DO REATOR (CORTES).....  | 111 |
| FIGURA 30 - LEIAUTE DA PISCINA DO REATOR (PIR) E PISCINA DE SERVIÇO (PIS).....                                      | 112 |
| FIGURA 31 - PRÉDIO DAS GUIAS DE NÊUTRONS – PLANTA DO PAVIMENTO DO NÍVEL 585,00.....                                 | 122 |
| FIGURA 32 - PRÉDIO DE PROCESSAMENTO DE RADIOISÓTOPOS – PLANTA TÉRREO.....   | 128 |
| FIGURA 33 - ESQUEMA DO CONJUNTO DE CÉLULAS PARA PRODUÇÃO DE Mo-99 / I-131.....                                      | 130 |
| FIGURA 34 - FLUXO DE PRODUÇÃO DE 99-MO E 131-I VIA FISSÃO.....  | 133 |
| FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DAS CÉLULAS QUENTES UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE FONTES DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL.....         | 134 |
| FIGURA 36 - ESQUEMA DO PISO TÉRREO DO LAMI.....   | 139 |
| FIGURA 37 – PRÉDIO DO LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MATERIAIS IRRADIADOS – PLANTA TÉRREO.....                           | 140 |
| FIGURA 38 - LEIAUTE DAS CÉLULAS QUENTES DE COMBUSTÍVEIS.....  | 145 |
| FIGURA 39 - CORTE ESQUEMÁTICO DAS CÉLULAS QUENTES DE COMBUSTÍVEIS.....  | 146 |
| FIGURA 40 - DETALHES DAS CÉLULAS QUENTES DE ANÁLISE DE COMBUSTÍVEL.....   | 147 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 41 – PRÉDIO DO LABORATÓRIO DE RADIOQUÍMICA – PLANTAS PAVIMENTO TÉRREO E PAVIMENTO SUPERIOR..... | 154 |
| FIGURA 42 - PRÉDIO DE TRATAMENTO E ESTOCAGEM DE REJEITOS - PLANTA. ....                                | 161 |
| FIGURA 43 – CROQUI DA UNIDADE DE RECEPÇÃO E TRIAGEM. ....  | 162 |
| FIGURA 44 – CROQUI DA UNIDADE DE DESCONTAMINAÇÃO. ....   | 163 |
| FIGURA 45 – CROQUI DA UNIDADE DE DECAIMENTO. ....  | 163 |
| FIGURA 46 – CROQUI DA UNIDADE DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS LÍQUIDOS E SÓLIDOS ÚMIDOS.....              | 164 |
| FIGURA 47 – CROQUI DA UNIDADE DE IMOBILIZAÇÃO E ENCAPSULAMENTO. ....                                   | 164 |
| FIGURA 48 – CROQUI DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE REJEITOS LÍQUIDOS E SÓLIDOS ÚMIDOS. ....                | 165 |
| FIGURA 49 – CROQUI DA UNIDADE DE COMPACTAÇÃO.....  | 165 |
| FIGURA 50 – CROQUI DA UNIDADE DE AVALIAÇÃO DE INVENTÁRIO RADIOISOTÓPICO. ....                          | 166 |
| FIGURA 51 – CROQUI DO LABORATÓRIO QUÍMICO. ....  | 167 |
| FIGURA 52 – CROQUI DO LABORATÓRIO RADIOQUÍMICO.....  | 167 |
| FIGURA 53 – CROQUI DO LABORATÓRIO RADIOMÉTRICO. ....   | 168 |
| FIGURA 54 – CROQUI DO SUBSISTEMA DE ARMAZENAMENTO INTERMEDIÁRIO DE REJEITOS. ....                      | 169 |
| FIGURA 55 – CRONOGRAMA GERAL DO EMPREENDIMENTO RMB. ....   | 177 |
| FIGURA 56 – ARRANJO GERAL COM AS ESTRUTURAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA/ESGOTO. ....                         | 179 |
| FIGURA 57 - PLANTA ESQUEMÁTICA – CAPTAÇÃO NO RIO SOROCABA .....  | 180 |
| FIGURA 58 - PLANTA ESQUEMÁTICA .....   | 181 |
| FIGURA 59 - CORTE LONGITUDINAL .....   | 181 |
| FIGURA 60 – ESQUEMA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO. ....   | 183 |
| FIGURA 61 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE ÁGUA INDUSTRIAL. ....   | 185 |
| FIGURA 62 - BALANÇO DO SISTEMA DE ÁGUA.....  | 187 |
| FIGURA 63 - FLUXOGRAMA DE OBTENÇÃO DE OUTORGA NO DAEE. ....  | 189 |
| FIGURA 64 - SISTEMAS INTEGRADOS DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR – CIRCUITO I. ....                           | 192 |
| FIGURA 65 - SISTEMAS INTEGRADOS DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR – CIRCUITO II. ....                          | 193 |
| FIGURA 66 - SISTEMA VIÁRIO.....  | 247 |
| FIGURA 67 – ROTA DE TRANSPORTE DO MATERIAL DO IPEN PARA O RMB.....                                     | 261 |
| FIGURA 68 - FICHA DE MONITORAÇÃO DE SERVIÇO. ....  | 264 |
| FIGURA 69 - FORMULÁRIO DE VISTORIA DE CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO. ....                             | 265 |
| FIGURA 70 - DECLARAÇÃO DO EXPEDIDOR DE MATERIAL RADIOATIVO.....  | 266 |
| FIGURA 71 - FICHA DE EMERGÊNCIA. ....  | 267 |
| FIGURA 72 - ENVELOPE DE EMERGÊNCIA. ....   | 267 |
| FIGURA 73 - RÓTULOS DE CATEGORIA DE RISCO E ÍNDICE DE SEGURANÇA DE CRITICALIDADE. ....                 | 269 |
| FIGURA 74 - PLACAR PARA MATERIAL RADIOATIVO E INDICATIVO DO NÚMERO ONU. ....                           | 270 |

## ÍNDICE DE MAPAS

|   |    |
|---|----|
| MAPA 1 – LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO DO EMPREENDIMENTO ..... | 64 |
| MAPA 2 – FATORES AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO. ....     | 99 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| QUADRO 1 - IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR.....   | 15  |
| QUADRO 2 - IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA. ....  | 18  |
| QUADRO 3 – EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS.....                                | 19  |
| QUADRO 4 - REATORES DE PESQUISA DO BRASIL. ....   | 26  |
| QUADRO 5 - APLICAÇÃO DOS REATORES DE PESQUISA DO BRASIL. ....   | 27  |
| QUADRO 6 - RADIOISÓTOPOS A SEREM PRODUZIDOS NO RMB .....  | 43  |
| QUADRO 7 – APLICAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA NUCLEAR. ....                                       | 44  |
| QUADRO 8 - OBJETIVOS DOS TESTES DE IRRADIAÇÃO .....   | 52  |
| QUADRO 9 - INFRAESTRUTURA BÁSICA. ....  | 56  |
| QUADRO 10 - INFRAESTRUTURA INICIAL DO RMB PARA FEIXE DE NÊUTRONS .....                                | 57  |
| QUADRO 11 - EXEMPLOS SOBRE UTILIZAÇÃO DE FEIXE DE NÊUTRONS OBTIDOS COM PESQUISADORES BRASILEIROS..... | 58  |
| QUADRO 12 - CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS ANALISADOS PARA INSTALAR O RMB.....                            | 68  |
| QUADRO 13 - DEMANDAS E TIPOS DE EMPREENDIMENTOS NECESSÁRIOS .....                                     | 71  |
| QUADRO 14 - ALTERNATIVAS AVALIADAS .....  | 71  |
| QUADRO 15 – INSTALAÇÕES DO NÚCLEO DE PRODUÇÃO E PESQUISA .....  | 78  |
| QUADRO 16 – INSTALAÇÕES DO NÚCLEO DE APOIO ADMINISTRATIVO .....                                       | 81  |
| QUADRO 17 – INSTALAÇÕES DO NÚCLEO DE APOIO DE INFRAESTRUTURA .....                                    | 83  |
| QUADRO 18 – INSTALAÇÕES DE INFRAESTRUTURA .....   | 84  |
| QUADRO 19 - FUNÇÕES NO INTERIOR DAS CÉLULAS QUENTES DE COMBUSTÍVEIS. ....                             | 148 |
| QUADRO 20 - IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE RESÍDUO GERADO E RESPECTIVAS FONTES DE GERAÇÃO. ....             | 204 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| TABELA 1 – REATORES DE PESQUISA NO MUNDO. ....  | 34  |
| TABELA 2 – REATORES DE PESQUISA NO MUNDO QUE POSSUEM CARACTERÍSTICAS QUE SE ASSEMELHAM AO RMB.....  | 34  |
| TABELA 3 - CRESCIMENTO ANUAL DO FORNECIMENTO DE RADIOFÁRMACOS .....   | 46  |
| TABELA 4 - RADIOFÁRMACOS FORNECIDOS PELO IPEN EM 2012.....  | 47  |
| TABELA 5 - FORNECIMENTO DE FONTES PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA PELO IPEN EM 2012 .....   | 50  |
| TABELA 6 - PRINCIPAIS DIMENSÕES DOS PRÉDIOS DO NÚCLEO DE PRODUÇÃO E PESQUISA.....   | 103 |
| TABELA 7 - INVENTÁRIO DOS NUCLÍDIOS NO ELEMENTO COMBUSTÍVEL DO RMB IMEDIATAMENTE APÓS ATINGIR UMA QUEIMA DE 50% NA OPERAÇÃO A 30 MW. .... | 224 |
| TABELA 8 - CONCENTRAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS / AJUSTADA E ESTIMADA NA PIR DO RMB A 30 MW. ....   | 225 |
| TABELA 9 - TERMO-FONTE AJUSTADO E LIBERADO ANUALMENTE PELO RMB EM CONDIÇÕES NORMAIS DE OPERAÇÃO. ....                                     | 226 |

|   |     |
|---|-----|
| TABELA 10 - ATIVIDADES DE PRODUTOS DE ATIVAÇÃO, ESTIMADAS APÓS 36H DO EOB.(Bq) .....  | 230 |
| TABELA 11 - ATIVIDADES DOS TRANSURÂNICOS, ESTIMADAS APÓS 36H DO EOB.(Bq).....   | 230 |
| TABELA 12 - ATIVIDADE DOS PRODUTOS DE FISSÃO, ESTIMADAS APÓS 36H DO EOB.(Bq).....   | 232 |
| TABELA 13 - NUCLÍDEOS ESPERADOS NO REJEITO LÍQUIDO ÁCIDO, 36 HORAS APÓS O EOB, ATIVIDADE TOTAL 1,92E+14 Bq.....                                   | 235 |
| TABELA 14 - NUCLÍDEOS ESPERADOS NO REJEITO LÍQUIDO BÁSICO, 36 HORAS APÓS O EOB, ATIVIDADE TOTAL 3,91E+12 Bq. ....                                 | 235 |
| TABELA 15 - NUCLÍDEOS ESPERADOS NA SAÍDA OFF-GAS, 36 HORAS APÓS O EOB, ATIVIDADE TOTAL 1,48E+14 Bq .....  | 236 |
| TABELA 16 - NUCLÍDEOS ESPERADOS NO “BOLO” RETIDO NO FILTRO APÓS A DISSOLUÇÃO DOS ALVOS, 36 HORAS APÓS O EOB,<br>ATIVIDADE TOTAL 8,01E+14 Bq. .... | 236 |
| TABELA 17 - PRINCIPAIS RADIOISÓTOPOS UTILIZADOS EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL.....   | 237 |
| TABELA 18 – ÁREA CONSTRUÍDA DOS PRÉDIOS DO NÚCLEO ADMINISTRATIVO E DE LOGÍSTICA .....   | 245 |
| TABELA 19 – ÁREA CONSTRUÍDA DOS PRÉDIOS QUE COMPÕEM O NÚCLEO DE PRODUÇÃO E PESQUISA .....   | 245 |
| TABELA 20 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE TRABALHADORES NA OBRA/ANO.....  | 253 |

## 1 APRESENTAÇÃO

A proposta de construção e operação do Reator Nuclear Multipropósito Brasileiro (RMB) foi estabelecida em 2007 como meta do Plano de Ação em Ciência Tecnologia e Inovação (PACTI) do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI (Linha de Ação 18 do PACTI 2007 – 2010). O RMB é um empreendimento estruturante e de arraste tecnológico para o setor nuclear, e de importância fundamental para viabilizar objetivos estratégicos do país referente ao programa nuclear brasileiro em atendimento às necessidades da sociedade.

As atividades relativas ao Programa Nuclear Brasileiro estão inseridas hoje no Plano Plurianual – PPA - 2012-2015 em três Programas Temáticos: Energia Elétrica, Defesa Nacional e Política Nuclear. No Programa de Energia Elétrica estão as ações voltadas para a geração elétrica nuclear, coordenadas pela Eletronuclear. No Programa de Defesa Nacional estão as atividades da Marinha do Brasil relacionadas com a propulsão nuclear. Finalmente, no Programa Política Nuclear estão inseridas todas as ações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e Indústrias Nucleares do Brasil (INB) de PD&I e Aplicações, Gestão de Combustíveis usados e Rejeitos, Regulação, Recursos Humanos e Ciclo do Combustível.

A Figura 1 apresenta o alinhamento do Empreendimento RMB com as políticas e objetivos estratégicos do país.

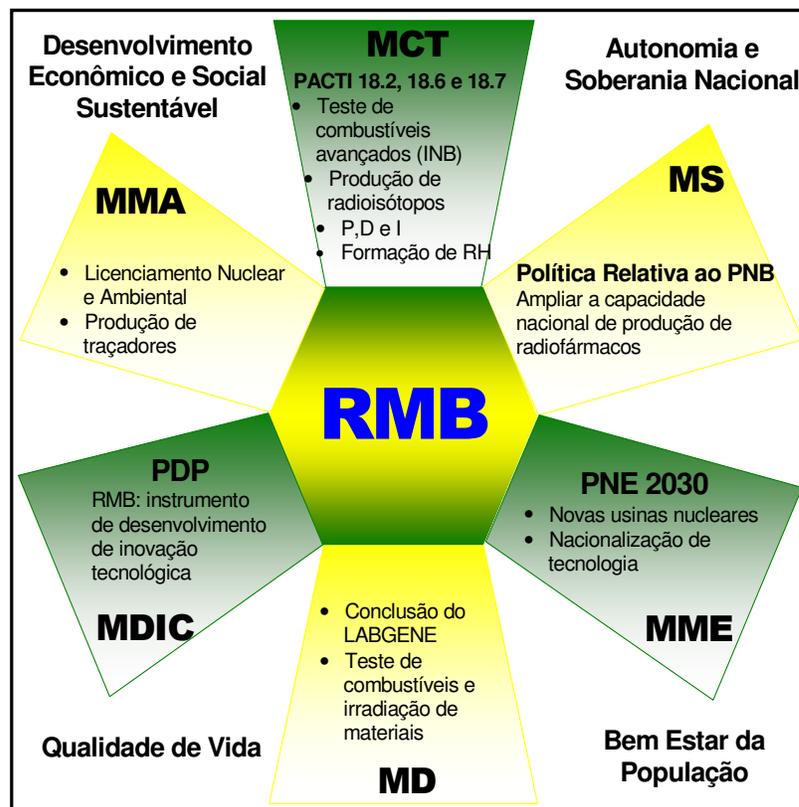


Figura 1 - Alinhamento do Empreendimento RMB com ministérios e objetivos estratégicos.

O Empreendimento RMB foi submetido à Câmara Técnica de Projetos de Grande Vulto da Comissão de Monitoramento e Avaliação do Plano Plurianual da Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, do Ministério do Planejamento, obtendo parecer favorável à sua viabilidade socioeconômica, conforme Resolução N.10, de 1 de março de 2011 (DOU N.56, seção 1, 23/03/2011). A ação PPA do Empreendimento RMB para o período 2012-2015 é a de número 12P1.

O Empreendimento RMB tem como objetivo dotar o país de um reator nuclear de pesquisa e instalações associadas para as seguintes aplicações:

- Produzir radioisótopos para aplicação na saúde, indústria, agricultura e meio ambiente;
- Irradiar materiais e combustíveis nucleares, de forma a permitir sua análise de desempenho e comportamento sob os diversos campos de radiação de um reator nuclear;
- Realizar pesquisas científicas e tecnológicas com feixes de nêutrons.

As principais instalações que compõem o Empreendimento são:

- Reator nuclear com fluxo de nêutrons apropriado às aplicações desejadas ( $>2 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s). A potência nominal do reator será de 30 MW.
- Células quentes para processamento de <sup>99</sup>Mo e <sup>131</sup>I.
- Células quentes para manuseio de radioisótopos com aplicação em medicina, indústria e outras aplicações.
- Circuitos experimentais para testes de irradiação de combustíveis e materiais.
- Células quentes para análise pós-irradiação de combustíveis e materiais.
- Edifício com guias de nêutrons e salão de experimentos.
- Equipamentos diversos para análises de base científica e tecnológica.
- Laboratório de radioquímica e aplicação de técnica de ativação por nêutrons.
- Instalações de tratamento e armazenamento dos rejeitos radioativos.
- Laboratórios específicos e oficinas suporte à operação e experimentos.
- Infraestrutura para pesquisadores e funcionários.

As principais contribuições do Empreendimento ao país são listadas abaixo.

- Para a área da saúde:
  - Nacionalização da produção do <sup>99</sup>Mo, garantindo autonomia e soberania no fornecimento do <sup>99m</sup>Tc à classe médica e assegurando o pleno atendimento da demanda da população brasileira, com possibilidade de exportar a produção excedente;

- Nacionalização de todos os radioisótopos produzidos em reatores, e que hoje são importados, para aplicação médica na diagnose, terapia e braquiterapia.
- Para a indústria, meio ambiente e agricultura:
  - Produção dos radioisótopos, atualmente importados, para aplicação em gamagrafia industrial. Ampliação da capacidade de produção de traçadores radioativos para aplicação em atividades de pesquisa de meio ambiente e agricultura.
- Para a área estratégica de reatores de potência e ciclo do combustível nuclear:
  - Capacidade para testar e qualificar combustíveis nucleares para propulsão naval; combustíveis avançados desenvolvidos para as centrais nucleares brasileiras; e novos combustíveis para reatores de pesquisa;
  - Capacidade para testar materiais e processos especiais utilizados nos elementos combustíveis, vasos e estruturas internas dos reatores nucleares das centrais nucleares brasileiras e de propulsão naval;
  - Capacidade para testar materiais desenvolvidos ou fabricados no país para serem utilizados em projetos de reatores de centrais nucleares ou de propulsão naval.
  - Contribuição ao uso contínuo e desenvolvimento das instalações do ciclo do combustível nuclear (produção de UF<sub>6</sub>, enriquecimento de U até 20%, produção de elementos combustíveis de reatores de pesquisa) garantindo ao país a soberania e o domínio tecnológico sustentável nessa área.
- Para o fortalecimento da base científica e tecnológica
  - Ampliação da capacidade nacional existente em análise por ativação com nêutrons e aplicações de técnicas nucleares;
  - Criação de um Laboratório Nacional em complemento ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS - CNPEM) para atender a comunidade científica brasileira em suporte a áreas como nanotecnologia, biologia estrutural, desenvolvimento e caracterização de novos materiais, etc., por meio da utilização de feixe de nêutrons.
  - Disponibilização de uma instalação de pesquisa de ponta na América Latina, podendo servir de pólo de integração regional de pesquisa científica e tecnológica e formação de RH.

O Empreendimento RMB, de concepção brasileira, deve ser projetado e construído com atendimento às normas brasileiras vigentes e dentro de padrões internacionais de segurança e confiabilidade.

O Empreendimento RMB consiste de três fases distintas: a primeira de implantação (projeto, construção, montagem, licenciamento e comissionamento) do reator nuclear de pesquisa e

instalações associadas para produção de radioisótopos, teste de irradiação de combustíveis nucleares e materiais, e realização de pesquisas com feixes de nêutrons; a segunda, de operação da instalação, durante 50 anos consecutivos; e a terceira, posteriormente à segunda, na manutenção das instalações e materiais radioativos e nucleares por mais 50 anos antes do descomissionamento total da instalação.

O RMB e toda a sua infraestrutura associada será instalado em área contígua ao Centro Experimental de Aramar do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), localizado no município de Iperó, São Paulo, a 110 quilômetros da capital, caracterizando-se como uma instalação civil com acessos exclusivos.

O Empreendimento contará com uma área de mais de 2 milhões de metros quadrados, o que possibilitará também que o RMB se torne um grande centro de pesquisa tecnológica, a exemplo do ocorrido com o reator IEA-R1 construído em 1957, instalação geradora de um grande centro de tecnologia que hoje é o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP. O Empreendimento RMB em conjunto às instalações do CTMSP em ARAMAR constituirão o maior pólo de tecnologia nuclear do país, pois haverá dois reatores nucleares (o de pesquisa - RMB e o de teste - LABGENE do CTMSP) e toda uma infraestrutura laboratorial de tecnologia nuclear.

O Empreendimento RMB está previsto para ser executado no prazo mínimo de 6 anos. Seu custo é de US\$ 500 milhões (R\$ 850 milhões em 2011), estimado com base em instalações semelhantes construídas em outros países. O custo detalhado do Empreendimento será obtido ao final da etapa de projeto básico.

Para instalação e operação do Empreendimento RMB, conforme prevê a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/1981) e a Resolução CONAMA 237/97, é necessário, além do licenciamento nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, o processo de licenciamento ambiental junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Assim, atendendo ao disposto na Legislação Ambiental Brasileira e ao Termo de Referência emitido pelo IBAMA, processo nº 02001.007021/2010-51, o presente documento apresenta o Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para as obras de implantação e para a futura operação do Reator Multipropósito Brasileiro, o qual será localizado no município de Iperó, no estado de São Paulo.

O presente documento encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Volume 1:
  - Apresentação;
  - Identificação do Empreendedor;
  - Identificação da Empresa e da Equipe Responsável pelos Estudos;
  - Caracterização do Empreendimento;
  - Transporte de Materiais Radioativos;

- Volume 2:
  - Definição das Áreas de influência;
  - Diagnóstico Ambiental: Meio Físico, Meio Biótico e Meio Socioeconômico;
- Volume 3:
  - Análise Integrada;
  - Avaliação de Impacto Ambiental;
  - Programas Ambientais e Compensação Ambiental;
  - Análise de Risco e Acidentes;
  - Referências Bibliográficas;
  - Glossário;
- Volume 4:
  - Apêndices e Anexos.

## 2 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

O Empreendimento RMB é uma ação do Governo Federal, através do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) e tem sua execução sob a responsabilidade da autarquia Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

No âmbito da CNEN o empreendimento é coordenado pela DPD - Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento e desenvolvido por meio das unidades de pesquisa dessa diretoria: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN; Instituto de Engenharia Nuclear – IEN; Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN; Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE; Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD; Laboratório de Poços de Calda - LAPOC.

O Empreendimento RMB conta com a parceria estratégica do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) e tem também a participação de outros centros de pesquisa, universidades, laboratórios e empresas do setor nuclear, gerando sinergia entre as áreas técnicas e científicas nacionais.

O projeto de concepção, análise do projeto básico e ações de licenciamento dos sistemas do reator e principais instalações é realizado por técnicos das unidades de pesquisa da DPD/CNEN com o suporte do CTMSP. O projeto básico e executivo deverá ser desenvolvido por empresas nacionais e parcerias internacionais. A construção e montagem deverão ser executadas por empresas nacionais e parcerias internacionais específicas.

O Empreendedor do RMB é a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. A seguir são descritos a origem e objetivos da CNEN, sua organização e a experiências no desenvolvimento de projetos semelhantes ao empreendimento proposto.

A seguir, apresentam-se informações sobre a CNEN, a DPD e os seus institutos quanto as suas características e estrutura organizacional conforme publicação da CNEN “Relatório de Atividades 2003/2010” e outras fontes.

### 2.1 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)

A CNEN é uma autarquia atualmente subordinada ao Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação. A seguinte legislação, em ordem cronológica, estabeleceram as competências da CNEN:

- Decreto nº 40.110, de 10 de outubro de 1956: Cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear, e dá outras providências.
- Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962: Dispõe sobre a política nacional de energia nuclear, cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear, e dá outras providências.

- Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974: Altera a Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962, e a Lei nº 5.740, de 1 de dezembro de 1971, que criaram, respectivamente, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, que passa a denominar-se Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima - NUCLEBRÁS, e dá outras providências.
- Lei nº 7.781, de 27 de junho de 1989: Dá nova redação aos artigos 2º, 10 e 19 da Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974, e dá outras providências.
- Decreto nº 5.667, de 10 de janeiro de 2006: Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções Gratificadas da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, e dá outras providências.
- Portaria nº 305, de 26 de abril de 2010: Aprova Regimento Interno da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.

A missão da CNEN é garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando o bem estar da população. Traduz a preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos.

A CNEN é o órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, que estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.

O controle do material nuclear existente no País é de responsabilidade da CNEN, sendo que, o transporte, o tratamento e o armazenamento de rejeitos radioativos são regulamentados por normas técnicas e procedimentos de controle.

A CNEN é composta por três diretorias e estruturada conforme organograma simplificado da Figura 2.

A CNEN possui cerca de 2400 funcionários ativos, sendo que em torno de 2000 estão nas unidades de pesquisa e 400 na sede da CNEN nas atividades de licenciamento e administração. Dos funcionários ativos em torno de 22% possuem doutorado, 17% possuem mestrado, 56% possuem alguma especialização e 5% não possuem titulação.

Cabe à Diretoria de Gestão Institucional (DGI) assegurar o suporte logístico necessário à consecução dos objetivos da CNEN quanto à pesquisa científica, o desenvolvimento tecnológico e a segurança nuclear e radiológica.

Compete à Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear (DRS) a regulação, o licenciamento, o controle e a fiscalização de todas as atividades que envolvam radiações ionizantes no país, incluindo as instalações, os procedimentos, os materiais, os equipamentos e o pessoal relacionado com essas atividades. Esta Diretoria será transformada na “Agência Nacional de Segurança Nuclear” e será um órgão independente da CNEN.

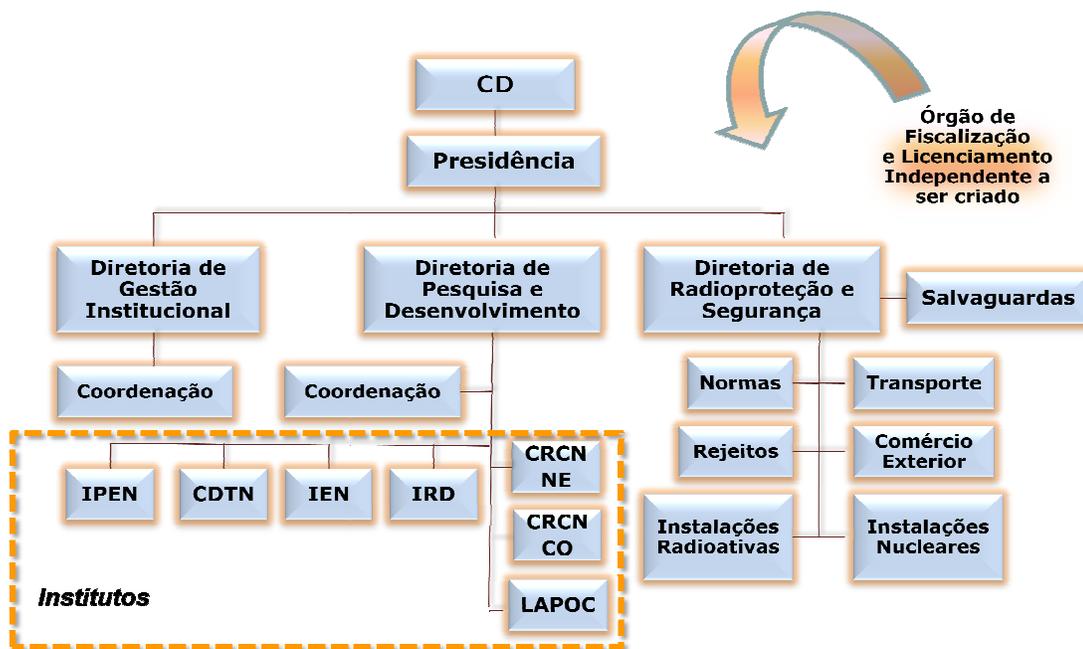


Figura 2 – Organograma da CNEN.

A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) é a responsável pela gestão do Empreendimento RMB e está detalhada abaixo.

### 2.1.1 DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

A Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) é a responsável pela gestão e execução das atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico da CNEN, bem como pela produção de radioisótopos e radiofármacos, pelo gerenciamento de rejeitos radioativos e pela formação especializada em ciência e tecnologia na área nuclear. Destacam-se ainda as coordenações temáticas vinculadas às ações do Planejamento Plurianual do Governo Federal (PPA), dos Institutos que são os executores de todas as ações, e pela coordenação dos projetos, no qual se inclui o RMB, conforme indicado na Figura 3.

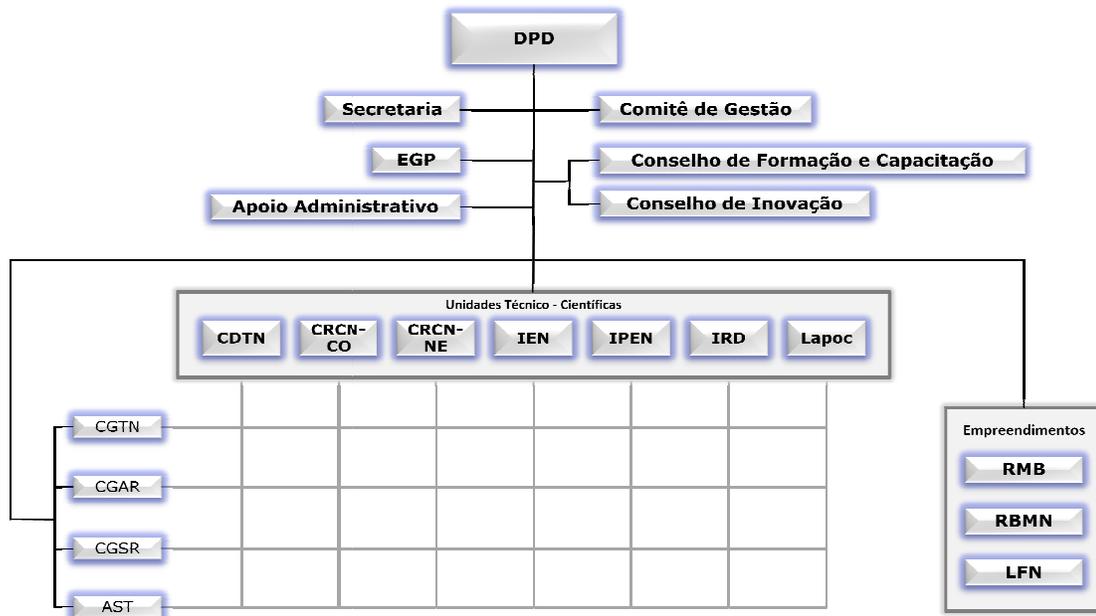


Figura 3 – Organograma DPD.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento desta diretoria visam promover o avanço científico e tecnológico dos setores de energia, saúde, indústria, agricultura e meio ambiente, por meio do uso da tecnologia nuclear e das aplicações das radiações ionizantes. Uma breve descrição das principais unidades executoras das ações temáticas - CDTN, CRCN-CO, CRCN-NE, IEN, IPEN, IRD e LAPOC – será apresentada a seguir.

As unidades executoras possuem pessoal técnico, experiência e instalações que permitem orientar a implantação de um empreendimento de características nuclear e radioativo como o Empreendimento RMB. A Figura 4 mostra a organização, internamente à DPD, para atendimento do Empreendimento RMB.

O Empreendimento tem uma organização matricial, onde as etapas são gerenciadas por líderes e os especialistas das unidades de pesquisa executam as atividades designadas. O Comitê Diretor é presidido pelo diretor da DPD e composto pelos diretores das três unidades principais de pesquisa na área de reatores (IPEN, CDTN, IEN), e também pelo diretor do CTMSP. O Comitê Executivo possui um coordenador técnico e um coordenador de gestão que gerenciam a execução do Empreendimento.

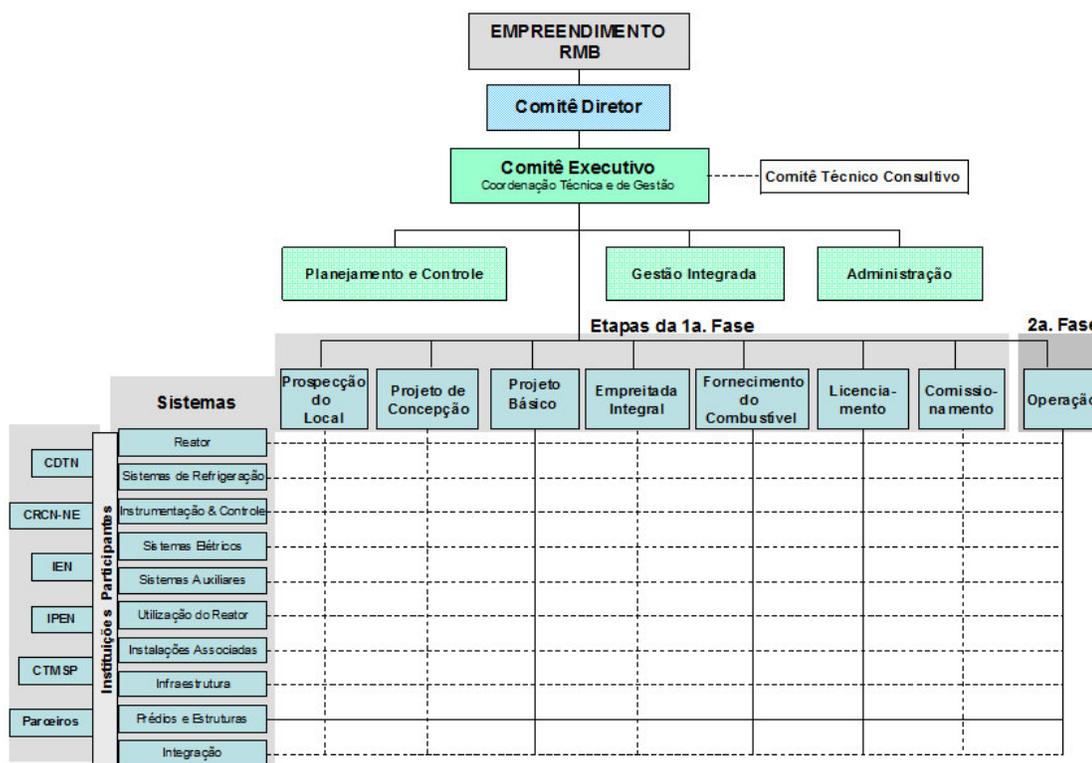


Figura 4 - Organização para o Empreendimento RMB.

Uma breve descrição das unidades de pesquisa, com suas principais atuações, e instalações e experiência em áreas relacionadas ao Empreendimento RMB é apresentada a seguir.

### 2.1.1.1 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) (homepage: <http://www.ipen.br>), denominado anteriormente (até março de 1979) Instituto de Energia Atômica (IEA), foi instituído por meio do Decreto Federal nº 39.872, de 31/08/1956. É uma autarquia estadual e está associada à Universidade de São Paulo (USP), na sua finalidade de ensino. É gerido técnica e administrativamente pela CNEN. É uma instituição de pesquisa, desenvolvimento, ensino e produção, nas áreas nuclear, energética e correlatas.

Localizado no campus da Universidade de São Paulo-USP, o IPEN é a maior unidade de pesquisa da CNEN e tem atuação em vários setores da atividade nuclear, entre eles:

- Reator de pesquisa (pesquisa, produção de radioisótopos, irradiação com nêutrons para fins diversos, análises por ativação com nêutrons, produção e calibração de fontes radioativas, formação e treinamento de operadores de reatores nucleares);
- Engenharia nuclear (engenharia do combustível, física de reatores, mecânica estrutural, instrumentação e monitoração, e diagnóstico e termo-hidráulica e análise de acidentes);

- Combustível nuclear (desenvolvimento de processos de fabricação de combustíveis nucleares, produção de elementos combustíveis de reatores de pesquisa);
- Rejeitos radioativos (caracterização, tratamento e armazenamento);
- Tecnologia das radiações (aplicações na indústria, saúde, meio ambiente e agricultura);
- Metrologia das radiações (dosimetria individual interna e externa, ambiental e de área, sistemas de referência, avaliação de impactos radiológicos ambientais, estudos de radioecologia);
- Aceleradores cíclotron (produção de fármacos de meia-vida curta para diagnóstico de câncer e de doenças cardíacas);
- Radiofarmácia (desenvolvimento e produção de radiofármacos);
- Biotecnologia (hormônios, vacinas, biofármacos, biopolímeros);
- Química e meio ambiente (ensaios e aplicações nas áreas nuclear, industrial, de saúde e de meio ambiente);
- Ciência e tecnologia de materiais (biomateriais, eletrocerâmicas, cerâmicas estruturais, compósitos, materiais de alta resistência, materiais intermetálicos, materiais magnéticos, metalurgia do pó, vidros);
- Lasers e aplicações (industriais, ambientais, e na saúde);
- Células a combustível e hidrogênio (células poliméricas, células cerâmicas, sistemas, produção de hidrogênio);
- Pós-graduação em Engenharia Nuclear (engenharia do combustível, física de reatores, mecânica estrutural, monitoração e diagnóstico, termo-hidráulica e análise de acidente).

Os resultados desta atuação vêm proporcionando avanços significativos no domínio de tecnologias, na produção de itens com alto valor agregado e na prestação de serviços de valor econômico e estratégico para o país, possibilitando estender os benefícios da energia nuclear a segmentos maiores de nossa população.

O IPEN é a maior unidade de pesquisa da área nuclear do país. Possui dois reatores de pesquisa em operação: o Reator IEA-R1, tipo piscina, multipropósito, com 5 MW de potência máxima; e o Reator IPEN/MB-01, unidade crítica, primeiro reator nuclear de projeto e construção genuinamente nacional. O IPEN participou do desenvolvimento autônomo de tecnologia nuclear junto à Marinha do Brasil, desenvolvendo e projetando instalações do ciclo do combustível e o reator de propulsão naval.

O Reator IPEN/MB-01 é um bom exemplo de experiência em um empreendimento complexo de projeto e construção de um reator nuclear, executado pelo quadro de técnicos do IPEN nas décadas de 80 e 90. Também o aumento da potência do Reator IEA-R1 de 2 para 5 MW

na década de 90, seu licenciamento, a adequação de seu núcleo com combustíveis com dispersões de alta densidade de urânio e enriquecimento inferior a 20%, qualificam o IPEN na área de projeto de reatores multipropósito.

A fabricação dos elementos combustíveis para o reator IEA-R1 é realizada no IPEN, com tecnologia própria, já tendo sido alcançada a marca de mais de 100 elementos combustíveis produzidos recentemente.

Na área de radiofármacos o IPEN é o principal fornecedor nacional, sendo o principal fornecedor de radiofármacos com radioisótopos produzidos em ciclotron e o único a fornecer radiofármacos com radioisótopos produzidos em reatores.

O IPEN teve um faturamento em radiofármacos de mais de R\$ 86 milhões em 2012, correspondendo a um atendimento superior a 2 milhões de procedimentos em hospitais e clínicas do país. É também o único no país que produz radiofármacos para braquiterapia em tratamentos de câncer, e que prepara irradiadores com fontes radioativas para gamagrafia industrial. Possui laboratórios com capacidade no desenvolvimento técnico de processos utilizados na obtenção de radiofármacos.

Na área de aplicação de feixe de nêutrons possui experiência de aplicação no Reator IEA-R1 tendo desenvolvido equipamentos para difratometria de nêutrons e neutrografia que poderão ser utilizados no RMB. O laboratório de análise por ativação de nêutrons do IPEN será reproduzido e ampliado junto ao RMB.

O IPEN também possui a maior pós-graduação da área nuclear que está associada à Universidade de São Paulo. Possui nota 6 da CAPES (maior na área nuclear) e já produziu mais de 2000 trabalhos entre dissertações de mestrado e teses de doutorado. É fonte importante de preparação de recursos humanos de alto nível na área nuclear.

O IPEN é a principal unidade da CNEN com atuação no RMB, sua experiência permite que seus tecnólogos e pesquisadores liderem a maioria das atividades técnicas do Empreendimento RMB e suas instalações são usadas como referência para o projeto das instalações do RMB.

#### **2.1.1.2 Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear**

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) (homepage:<http://www.cdtm.br>) teve sua origem na Universidade Federal de Minas Gerais, em 1952. Sua atuação é voltada para o setor nuclear desenvolvendo atividades que envolvem a aplicação de técnicas de cunho estritamente nuclear e de técnicas convencionais, derivadas da aplicação de técnicas nucleares. Tem como atividades-fim a pesquisa e desenvolvimento tecnológico, o apoio à inovação e a formação especializada.

O trabalho de pesquisa está organizado nas seguintes áreas de Desenvolvimento e Pesquisa:

- Combustíveis nucleares;
- Avaliação e Desenvolvimento de Centrais Nucleares e Instalações Radioativas;

- Desenvolvimento e Aplicações do Reator de Pesquisa TRIGA;
- Radioquímica;
- Análise e Síntese Química;
- Aplicações Tecnológicas da Radiação Gama;
- Aplicação das Radiações Ionizantes em Biologia;
- Técnicas Nucleares e Traçadores na indústria e no meio ambiente;
- Desenvolvimento e Otimização de Processos Hidrometalúrgicos na indústria;
- Rejeitos Radioativos e Perigosos;
- Geologia de Depósitos Minerais e Repositórios de Rejeitos Radioativos;
- Nanotecnologia;
- Processamento de Bens Minerais e Recuperação de Metais;
- Física Médica e Aplicações das Radiações à Saúde;
- Integridade Estrutural e Extensão de Vida de Reatores Nucleares;
- Investigação Teórico-Experimental de Instalações Nucleares e Radioativas;
- Hidrologia, Hidrogeologia e Sedimentologia;
- Impactos Ambientais.
- Pós-graduação em Tecnologia Nuclear

O CDTN além de possuir um pequeno reator de pesquisa (IPR1) possui vários laboratórios que podem dar apoio ao desenvolvimento técnico do RMB. Possui um quadro de técnicos de alta experiência na área de engenharia de reatores e experimentos de qualificação de componentes e materiais de reatores nucleares. Sua experiência em análises para licenciamento ambiental está sendo muito importante na liderança de atividades técnicas para elaboração dos estudos ambientais do Empreendimento RMB.

### **2.1.1.3 Instituto de Engenharia Nuclear**

O Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) (homepage: <http://www.iem.gov.br>) situa-se na Cidade Universitária, Ilha do Fundão – Rio de Janeiro, e foi criado em 1962. Atualmente sua atuação está orientada para a geração e transferência de conhecimento e tecnologia para os setores produtivos públicos e privados, tendo a sociedade como beneficiária final. As principais áreas de atuação são:

- Engenharia e Segurança de Reatores;
- Engenharia de Salas de Controle;
- Aplicação de Técnicas Nucleares (na indústria, medicina, artes e meio ambiente);

- Instrumentação nuclear;
- Análise de Processos Químicos;
- Desenvolvimento e Caracterização de Materiais;
- Óxidos inorgânicos cristalinos (para utilização como catalisadores);
- Produção de radiofármacos em ciclotron;
- Pós-graduação em Tecnologia Nuclear.

O IEN tem experiência em projetos da área de reatores nucleares, e participou ativamente do projeto do reator IPEN/MB-01, sendo responsável pelo projeto e fabricação de itens da sala de controle e sistema de instrumentação e controle (I&C) de segurança nuclear do reator. Sua experiência permite utilizar seus técnicos em liderança de I&C e processos termohidráulicos associados ao Empreendimento RMB.

#### **2.1.1.4 Instituto de Radioproteção e Dosimetria**

O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) (homepage: <http://www.ird.gov.br>) foi criado em 1972 e é administrado pela CNEN desde 1979. O IRD tem como objetivos:

- Realizar pesquisas científicas e desenvolver tecnologias nas áreas de radioproteção, dosimetria e metrologia das radiações ionizantes;
- Prover suporte técnico-científico e de ensaios à Autoridade Regulatória dentro do processo de avaliação de conformidade com os regulamentos da CNEN, das instalações nucleares e radiativas no país;
- Padronizar, manter e disseminar as unidades do sistema internacional, referentes às medidas das radiações ionizantes;
- Manter uma equipe da CNEN treinada e integrada para resposta, em nível nacional, às eventuais emergências nucleares e radiológicas, de acordo com os regulamentos da CNEN, do SIPRON e das normas internacionais (IAEA);
- Promover atividades de ensino e capacitação nas áreas de radioproteção, dosimetria e metrologia das radiações ionizantes;
- Disponibilizar serviços não regulatórios de calibração, ensaio e de inspeção.

O IRD por sua característica de ser a principal unidade de pesquisa da CNEN relacionada com a área de radioproteção, dosimetria e metrologia das radiações tem a experiência necessária para dar suporte aos planos e programas de monitoração radiológica ambiental e ao estabelecimento de planos de emergência radiológicos do Empreendimento RMB.

#### **2.1.1.5 Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE)**

O Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE) (homepage: <http://www.crcn.gov.br>) foi concebido na data de 1966, mas só foi instalado, provisoriamente, em 1977. O CRCN vem consolidando suas atividades com o objetivo de atender às

necessidades específicas da região nordeste na área de energia nuclear e suas aplicações. Possui nos seus quadros um pequeno grupo de técnicos com experiência em projeto de reatores, na área de termohidráulica especificamente, que está dando suporte ao Empreendimento RMB.

### 2.1.1.6 Laboratório de Poços de Caldas

O Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC) (homepage: <http://www.cnen.gov.br/lapoc/Default.asp>) foi criado em 1974 e atua no desenvolvimento de pesquisas e fornecendo suporte de cooperação técnico-científico para as ações reguladoras da Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear (DRS). As pesquisas são relacionadas principalmente à gerência de rejeitos radioativos, proteção radiológica ambiental, proteção radiológica ocupacional, aplicações de técnicas nucleares na indústria e meio ambiente e metodologias analíticas. Pelas características de seus laboratórios, o LAPOC dá suporte ao Empreendimento RMB em análises para o programa de monitoração ambiental.

## 2.2 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Os dados gerais de identificação do empreendedor estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Identificação do Empreendedor

| Empreendedor        | Comissão de Energia Nuclear - CNEN  |
|---------------------|---|
| CNPJ                | 00402552/0001-26  |
| Endereço            | Rua Gal Severiano, nº 90 - Botafogo<br>Rio de Janeiro - RJ – Brasil CEP 22290-901<br>Tel.- (21) 2173-2000<br>Fax.- (21) 2173-2003<br><a href="http://www.cnen.gov.br">http://www.cnen.gov.br</a>  |
| CTF-IBAMA           | 5113939   |
| Representante Legal | Angelo Fernando Padilha<br>Cargo - Presidente da CNEN<br>CPF - 76312330800<br>End. - Rua Gal Severiano, nº 90 - Botafogo<br>Rio de Janeiro - RJ – Brasil CEP 22290-901<br>Tel.- (21) 2173-2101<br>Fax.- (21) 2173-2103<br>Email: <a href="mailto:padilha@cnen.gov.br">padilha@cnen.gov.br</a>                             |
| Contatos            | Isaac José Obadia<br>Cargo - Diretor da DPD<br>Função - Coordenador de Gestão do RMB<br>CPF – 425534667-49<br>End. - Rua Gal Severiano, nº 90 - Botafogo<br>Rio de Janeiro - RJ – Brasil CEP 22290-901<br>Tel.- (21) 2173-2090<br>Fax.- (21) 2173-2093<br>Email: <a href="mailto:isaac@cnen.gov.br">isaac@cnen.gov.br</a> |
|                     | José Augusto Perrotta<br>Cargo - Assessor da Presidência da CNEN<br>Função - Coordenador Técnico do RMB   |

| Empreendedor                          | Comissão de Energia Nuclear - CNEN  |
|---------------------------------------|---|
|                                       | <p>CPF – 461689077-34<br/>End. – IPEN/CNEN-SP<br/>Av. Professor Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária<br/>São Paulo, SP – Brasil CEP 05508-000<br/>Tel. – (11) 31338942<br/>Fax – (11) 31339018<br/>Email: <a href="mailto:perrotta@ipen.br">perrotta@ipen.br</a><br/>CTF-IBAMA - 5113927</p> <p>Leslie de Molnary<br/>Cargo – Tecnologista Senior<br/>Função - Líder de Contrato para o EIA/RIMA<br/>CPF – 087.178.478-50<br/>End. – IPEN/CNEN-SP<br/>Av. Professor Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária<br/>São Paulo, SP – Brasil CEP 05508-000<br/>Tel. – (11) 31339497<br/>Fax – (11) 31339018<br/>Email: <a href="mailto:molnary@ipen.br">molnary@ipen.br</a><br/>CTF-IBAMA - 4488131</p> <p>Vanusa Maria Feliciano Jacomino<br/>Cargo – Pesquisador Titular III<br/>Função - Líder Técnica para o EIA/RIMA<br/>CPF – 029700498-05<br/>End. – CDTN<br/>Av.Pres. Antônio Carlos, 6.627 - Campus UFMG,<br/>Belo Horizonte, Minas Gerais CEP 31270-901<br/>Tel. – (31) 3069-3259<br/>Fax – (31) 3069-3444<br/>Email: <a href="mailto:vmfj@cdtn.br">vmfj@cdtn.br</a><br/>CTF-IBAMA - 5685628</p> |
| Denominação Oficial do Empreendimento | Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)  |
| Número do Processo junto ao IBAMA     | 02001.007021/2010-51  |

### **3 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA E DA EQUIPE RESPONSÁVEL PELOS ESTUDOS AMBIENTAIS**

#### **3.1 MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA**

A MRS Estudos Ambientais Ltda. iniciou suas atividades no ano de 1992, com sede em Porto Alegre/RS. Formada por uma equipe multidisciplinar de técnicos com experiência na área de consultoria e planejamento, a MRS Estudos Ambientais Ltda. desenvolveu seus primeiros trabalhos na área de licenciamento ambiental, mineração e gestão de áreas protegidas. A missão da empresa consiste em trabalhar para a preservação da biosfera, integrando o desenvolvimento humano com o bem estar da natureza.

Com a expansão do território de atuação e a diversificação dos serviços na área ambiental, houve necessidade de se fixar no centro do país. Assim, em 1998 a empresa abre sua filial em Brasília. Há cerca de dois anos fixou também escritório na cidade do Rio de Janeiro, o que deu uma melhor base para a execução dos serviços na região sudeste, em especial a do projeto do Estaleiro Base Naval (EBN), da Marinha do Brasil. No ano de 2011, e com a mesma filosofia de atuação, expansão e diversificação adotadas, fixa mais dois escritórios, sendo um no estado do Maranhão e outro no estado do Paraná, atuando com agilidade e credibilidade nos serviços que são, por ela, executados.

No que se refere à experiência na área nuclear, a MRS Estudos Ambientais já desenvolveu os seguintes trabalhos:

- EIA/RIMA da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: Eletronuclear - Eletrobrás Termonuclear S.A., 2005;
- Licenciamento Ambiental da Unidade III do Depósito Intermediário de Rejeitos Radioativos – DIRR da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: Eletronuclear - Eletrobrás Termonuclear S.A., 2003;
- Licenciamento Ambiental da Unidade 2-B e do Prédio de Monitoração do Depósito Intermediário de Rejeitos - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: Eletronuclear - Eletrobrás Termonuclear S.A., 2005;
- Plano de Controle Ambiental para a Unidade 1 da CNAAA (Angra 1) e para as Unidades 1 e 2A do Depósito do Centro de Gerenciamento de Rejeitos - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: Eletronuclear - Eletrobrás Termonuclear S.A., 2009;
- EIA/RIMA do Estaleiro e Base Naval para a Construção de Submarinos Convencionais e de Propulsão Nuclear, em Itaguaí - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: ODEBRECHT Engenharia e Construção e Marinha do Brasil, 2009;
- Plano Básico Ambiental do Estaleiro e Base Naval para a Construção de Submarinos Convencionais e de Propulsão Nuclear, em Itaguaí - Rio de Janeiro/RJ, Cliente: ODEBRECHT Engenharia e Construção e Marinha do Brasil, 2009;

Janeiro/RJ, Cliente: ODEBRECHT Engenharia e Construção e Marinha do Brasil, 2009.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

Os dados gerais de identificação da empresa consultora estão apresentados no Quadro 2. As Anotações de Responsabilidade Técnica da Equipe encontram-se no ANEXO I.

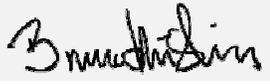
**Quadro 2 - Identificação da empresa consultora.**

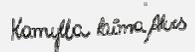
| Empresa Consultora  | MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA.  |
|---------------------|---|
| CNPJ-MF             | 94.526.480/0001-72  |
| CREA/RS             | 82.171  |
| CTF-IBAMA           | 196.572   |
| Endereço            | Matriz: Av. Praia de Belas nº 2.174, Ed. Centro Profissional Praia de Belas, 4º andar, sala 403. Bairro Menino de Deus, Porto Alegre- RS. CEP: 90.110-001<br>Filial 1: SRTVS Quadra 701, Bloco O, Ed. Centro Multiempresarial, entrada A, Sala 504, Brasília – DF. CEP: 70.340-000<br>Filial 2: Av. Rio Branco, 123, sala 1608, Centro - Rio de Janeiro / RJ. CEP: 20.040-005<br>Filial 3: Avenida dos Holandeses, 14 sala 509, Ed. Century Multiempresarial – São Marcos, São Luís – MA. CEP: 65.075-441<br>Filial 4: Rua Tibagi, nº 294, salas 1203 e 1204, Centro – Curitiba / PR. CEP: 80.060-110 |
| Fone/Fax            | Matriz: (51) 3029-0068<br>Filial 1: (61) 3201-1800<br>Filial 2: (21) 3553-5622<br>Filial 3: (98) 3227-4735<br>Filial 4: (41) 3022-6752  |
| E-mail              | <a href="mailto:mrs@mrsdf.com.br">mrs@mrsdf.com.br</a>  |
| Diretores           | Alexandre Nunes da Rosa – Geólogo<br>Luciano Cezar Marca – Geólogo  |
| Representante Legal | Alexandre Nunes da Rosa (CPF: 339.761.041-91)   |
| Contato             | Helena Maia de Abreu Figueiredo – Gerente Regional (CPF: 693.253.911-04)  |
| Fone/ Fax           | (61) 3201-1800  |
| E-mail              | <a href="mailto:helena@mrsdf.com.br">helena@mrsdf.com.br</a>  |

#### 3.2.1 IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

A equipe técnica responsável pela elaboração dos estudos é multidisciplinar, composta por profissionais de diversas áreas de atuação abrangendo conhecimentos acerca dos aspectos físicos, bióticos, socioeconômicos e nuclear, conforme informações constantes no Quadro 3.

**Quadro 3 – Equipe técnica responsável pela elaboração dos estudos.**

| Nome                                    | Função                     | Registro Profissional | CTF/IBAMA | Assinatura  |
|---|----------------------------|-----------------------|-----------|---|
| <b>Coordenador Geral</b>                |                            |                       |           |   |
| Alexandre Nunes da Rosa                 | Geólogo                    | 66.876/D<br>CREA-RS   | 225.743   |    |
| <b>Coordenação Técnica</b>              |                            |                       |           |   |
| Helena Maia de A. Figueiredo            | Eng <sup>a</sup> Florestal | 15.189/D<br>CREA-DF   | 2.235.332 |    |
| Raquel Alves Medeiros                   | Eng <sup>a</sup> Ambiental | 16.987/D<br>CREA-DF   | 3.974.519 |    |
| <b>Equipe</b>                           |                            |                       |           |   |
| <b>Meio Físico</b>                      |                            |                       |           |   |
| Luciano Cezar Marca                     | Geólogo                    | 021.158/D CREA-PR     | 306.766   |    |
| Fabiano Oliveira Mingati                | Engenheiro Civil           | 12.015/D CREA-DF      | 5.190.821 |    |
| Lízia do Lago Murbach                   | Eng <sup>a</sup> Agrônoma  | 3729/D<br>CREA-RO     | 2.223.461 |   |
| Vinicius de Oliveira Monteiro Guimarães | Geólogo                    | 20100/D<br>CREA-DF    | 5.670.942 | Vinicius de O. M. Guimarães   |
| Melina Hespanhol Bezerra                | Geóloga                    | 19237/D<br>CREA-DF    | 5.524.332 |  |
| <b>Meio Biótico</b>                     |                            |                       |           |   |
| Janderson Brito Pereira                 | Biólogo                    | 37.854/04-D<br>CRBio  | 469.096   |  |
| Adriana Soares Trojan                   | Bióloga                    | 25852/03-D<br>CRBio   | 2.489.106 |  |
| Giselle Paes Gouveia                    | Eng <sup>a</sup> Florestal | 18.759/D<br>CREA/DF   | 277.958   |  |
| Maurea Flynn                            | Bióloga/<br>Oceanógrafa    | 079786/01<br>CRBio    | 333980    |  |
| Lucas Alegretti                         | Biólogo                    | 82061/01<br>CRBio     | 5375714   |  |
| Guilherme Lessa                         | Biólogo                    | 86468/01<br>CRBio     | 5375740   | Guilherme Lessa Ferreira  |
| Bruno Burstin                           | Biólogo                    | 86478/01<br>CRBio     | 5376473   |  |

| Nome                                    | Função                       | Registro Profissional | CTF/IBAMA  | Assinatura  |
|---|------------------------------|-----------------------|------------|---|
| Maurea Flynn                            | Bióloga/<br>Oceanógrafa      | 079786/01<br>CRBIO    | 333980     |    |
| <b>Meio Socioeconômico</b>              |                              |                       |            |   |
| Mariana Anselmo<br>Ventureli            | Cientista Social             | ---                   | 3.998.099  |    |
| Giuslaine de Oliveira<br>Dias           | Socióloga                    | ---                   | 5.633.297  |    |
| Rovena Zanchet                          | Advogada                     | 52.571<br>OAB/RS      | 2358902    |    |
| Samara Dyva                             | Arqueóloga                   | ---                   | 5.538.876  |    |
| Wellington Mesquita<br>de Carvalho      | Engº Ambiental               | 15.310/D<br>CREA-DF   | 2.207.194  |    |
| <b>Risco Convencional</b>               |                              |                       |            |   |
| Iukio Ogawa                             | Engº. Nuclear e<br>Ambiental | 0600630274<br>CREA-SP | 862.562    |   |
| José Gemal                              | Engº. Civil                  | 900480/D<br>CREA-RJ   | 5009/99SDS |  |
| <b>Equipe de Geoprocessamento e SIG</b> |                              |                       |            |   |
| Juliane Chaves da<br>Silva              | Engª Ambiental               | 15.376/D<br>CREA-DF   | 1.783.367  |  |
| Daniela Cappellessio<br>Mangoni         | Engª Ambiental               | 17.465/D<br>CREA-DF   | 2.665.210  |  |
| Rafael Viana de<br>Sousa                | Engº Ambiental               | 19651/D<br>CREA- DF   | 5477400    |  |
| <b>Equipe de Apoio</b>                  |                              |                       |            |   |
| Vitor Magno Andrade<br>Medeiros         | Estagiário                   | ---                   | 5.223.027  |  |
| João Marcelo Bersan<br>Soares de Brito  | Estagiário                   | ---                   | 5.133.141  |  |
| Kamylla de Lima Alves                   | Estagiária -                 | ---                   | 5688352    |  |

## 4 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

### 4.1 HISTÓRICO

#### 4.1.1 HISTÓRICO DA POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA

A tecnologia nuclear possui diversas aplicações direcionadas para o benefício da sociedade. As primeiras pesquisas brasileiras na área nuclear foram realizadas na década de 30. Em 1934, a criação da Universidade de São Paulo dá início, no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, aos estudos concentraram-se em radiação cósmica, radioatividade e problemas de física teórica (CNEN, 2012).

Em 1947, é criada a Comissão de Estudos e Fiscalização dos Minerais Estratégicos, com a finalidade de controlar as exportações de minerais radioativos, em especial a areia monazítica, rica em tório. Neste Contexto, o Brasil propõe que, em troca do minério, que os americanos repassem tecnologia nuclear, porém tal proposta não trouxe resultados (Kuramoto & Appoloni, 2002).

A partir disso, o Governo Brasileiro passou a controlar as exportações de minérios nucleares, estabeleceu reservas e estoques estratégicos e estimulou o desenvolvimento da tecnologia nacional no setor. Assim, em 1951, por sugestão da Comissão, foi criado o Conselho Nacional de Pesquisas - CNPq, que herdou a função de administrar as reservas nacionais de urânio e tório. O CNPq possuía como órgão consultor a Comissão de Energia Atômica.

Em 1954 o Brasil negociou com franceses a compra de uma usina de produção de *yellow cake*, o urânio livre de impurezas, e na Alemanha, adquiriu três centrífugas, que foram apreendidas na véspera de sua entrada no Brasil, numa operação realizada pelos Estados Unidos da América (EUA). Em 1955 a pressão política dos EUA foi tão forte que resultou no pedido de exoneração do então responsável pela política nuclear brasileira, Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva da presidência do CNPq. A partir de então, acordos são assinados com os EUA e classificados como estrategicamente desinteressantes para o desenvolvimento nuclear nacional.

Em 1956, o então Presidente da República, Juscelino Kubitschek, decide criar, por decreto, a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, encarregada de propor as medidas julgadas necessárias à orientação da política geral da energia atômica em todas as suas fases e aspectos.

Em 1957 o Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1, o primeiro da América Latina, entra em operação no campus da USP, em São Paulo, após as fases de teste e comissionamento. O reator de pesquisas continua em funcionamento até hoje e tem como finalidade a produção de radioisótopos, irradiação de amostras para a realização de análises multielementares,

pesquisas em física nuclear, serviços de neutrongrafia e treinamento de pessoal licenciado para operação de reatores.

Já em 1960, é inaugurado no Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), hoje denominado de Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), o reator de pesquisas IPR-1, tipo TRIGA (*Training Research Isotope General Atomic*) Mark 1, com as finalidades de pesquisa, produção de radioisótopos e treinamento.

Em maio de 1962, por meio de um convênio entre a CNEN e a Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro, instalou-se no campus da UFRJ, o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), com a responsabilidade de abrigar e operar um novo reator de pesquisas, batizado de ARGONAUTA. O reator, desenvolvido segundo projeto do laboratório americano de ARGONNE, redesenhado no país e construído com 93% de componentes nacionais, atingiu sua primeira criticalidade em 20 de fevereiro de 1965.

Em 1977 é lançado o documento Programa Nuclear Brasileiro, que visava proporcionar esclarecimento público sobre o programa, e que afirmava:

“Todos nós - Povo e Governo - temos responsabilidade na promoção do desenvolvimento, econômico, social e político, do Brasil. Para assegurar esse desenvolvimento, necessário ao bem-estar geral, é imprescindível dispor de adequadas fontes energéticas, dentre as quais sobressai, nos dias de hoje e no futuro próximo, a utilização do átomo.”

Nota-se que nessa fase os esclarecimentos sobre o Programa Nuclear Brasileiro eram voltados à produção de energia elétrica por meio da tecnologia nuclear. Nesse momento, e ainda hoje, era corriqueira a preocupação sobre o tema “nuclear” e “radioatividade” devido a associações diretas com eventos como a bomba atômica, utilizada na 2ª Guerra Mundial.

Portanto, neste mesmo documento, é citado ainda o acordo sobre a cooperação no campo dos usos pacíficos da energia nuclear entre o Brasil e a República Federal da Alemanha. O objetivo principal era demonstrar que a transferência da tecnologia indispensável e adequada para implantação de uma indústria nuclear autônoma seria apenas para fins pacíficos, abrangendo o ciclo completo do combustível.

Ao final da década de 70, ao perceber que o desenvolvimento da tecnologia nuclear em associação com outros países poderia não atender às necessidades nacionais, o Governo Brasileiro passou a conduzir um Programa Autônomo - conhecido por esse nome por ter sido implantado em paralelo ao Programa Oficial (Acordo com a Alemanha), com o objetivo de desenvolver competência nacional autônoma, indispensável às aplicações pacíficas da energia nuclear, de forma coerente com as necessidades nacionais, e que hoje é conhecido como Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (PDTN). Para a implantação do Programa Autônomo, em 1979 a Marinha do Brasil começou a desenvolver um Programa Nuclear com os objetivos específicos de dominar o processo de enriquecimento por centrifugação e construir um submarino à propulsão nuclear.

Para atender seus objetivos, em 1981 a Marinha do Brasil firma um convênio com a CNEN através do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN para apoiar o desenvolvimento da tecnologia do Programa Autônomo, e que permitiu que no ano seguinte

fosse realizado o primeiro experimento de enriquecimento de urânio por centrifugação. Além disso, intensificaram-se as atividades de engenharia nuclear e o projeto do reator de propulsão naval. Como decorrência realizou-se o projeto e construção de um reator de potência zero, unidade crítica, como laboratório da área de física de reatores. O projeto do Reator IPEN/MB-01 foi iniciado em 1983 e suas obras foram concluídas em Julho de 1988. No mesmo mês iniciaram-se os testes dos seus vários sistemas. Cumpridas as exigências legais para o seu licenciamento, foi concedida em 19 de Outubro de 1988, pelas resoluções CNEN 23 e 25 a autorização para a sua operação inicial.

O Reator IPEN/MB-01 é uma instalação nuclear que permite a simulação de todas as características nucleares de um reator de grande porte em escala reduzida, sem que haja a necessidade de construir-se um complexo sistema de remoção de calor.

Do Programa Autônomo destaca-se, pela sua relevância, o domínio da etapa de maior complexidade do ciclo do combustível nuclear: o enriquecimento isotópico de urânio pelo processo de ultracentrifugação, obtido pelo hoje Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo – CTMSP em cooperação com o IPEN. Esse importante desenvolvimento tecnológico teve como mérito principal a viabilização do ciclo do combustível nuclear, condição indispensável à utilização, pelo Brasil, da energia nuclear, independentemente de injunções externas. Decorrente dessa conquista e para dar continuidade ao processo de autonomia desenvolveu-se a tecnologia necessária para as demais etapas do ciclo.

Apesar do forte enfoque dado para o uso da tecnologia nuclear na geração de energia ou para fins de defesa, existe na área nuclear uma extensa aplicação no campo civil, principalmente na produção de radiofármacos, utilizados na medicina nuclear.

O IPEN foi a Instituição pioneira na produção de radioisótopos e radiofármacos no Brasil. A produção experimental, iniciada em 1959 com o radiofármaco  $^{131}\text{I}$  (iodo-131), usado para diagnóstico e terapia de doenças da tireóide, foi fundamental para a viabilização e consolidação da medicina nuclear no país. Subsequentemente, ao longo dos anos, substâncias marcadas com  $^{51}\text{Cr}$  (cromo-51) e  $^{131}\text{I}$ , para o diagnóstico de diversas funções do organismo humano, foram preparadas com ótima aceitação pela classe médica brasileira. A produção rotineira de radioisótopos e radiofármacos passou a ocorrer em 1963. Deve-se aos “pioneiros” do IPEN essa conquista que se expandiu largamente ao longo dos anos seguintes.

Em meados da década de 70, com a instalação do cíclotron CV-28 (*The Cyclotron Corporation* – USA), foram realizados os primeiros experimentos no IPEN para produção dos radioisótopos gálio-67, iodo-123, tálio-201 e índio-111, empregados em diversos diagnósticos por imagem na medicina nuclear. Também foram realizados experimentos de reações nucleares. O gálio-67, obtido através da irradiação com prótons do zinco-68, veio a ser produzido rotineiramente a partir de 1987, e em 1991, iniciou-se a produção do iodo-123 via Óxido de Telúrio ( $^{124}\text{TeO}_2$ ). No ano de 1998 um novo radioisótopo, o flúor-18, obtido a partir da irradiação de água enriquecida em oxigênio-18, entrou em produção rotineira.

No final de 1980, médicos nucleares consultaram o IPEN sobre a possibilidade de produção no país dos geradores de  $^{99}\text{Mo}$  (molibdênio – 99) -  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (tecnécio – 99m) - sistema onde é depositado o molibdato  $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$  o qual decai a  $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$  - até então importados. O  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  é um dos principais radioisótopos usados em radiofármacos em diagnósticos da medicina nuclear (em torno de 80% dos procedimentos).

Para atender a essa demanda, o IPEN estabeleceu um programa de desenvolvimento, iniciando os trabalhos experimentais com  $^{99}\text{Mo}$  importado do Canadá. Já em 1981, iniciou o atendimento a hospitais e clínicas do país com geradores de  $^{99}\text{Mo}$  -  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  preparados com tecnologia nacional, atendendo uma demanda inicial de 10 geradores/semana - esta demanda tem crescido anualmente e atingiu em 2012 a marca de mais de 370 geradores distribuídos por semana para hospitais e clínicas no Brasil, permitindo realizar em torno de 2 milhões de procedimentos por ano para a população brasileira.

No início das atividades de produção experimental de radiofármacos, os insumos (radioisótopos) eram produzidos no próprio IPEN. Com o expressivo aumento da demanda e a inadequação da capacidade do Reator IEA-R1 que operava a 2 MW e do cíclotron existente com energia insuficiente, esses insumos passaram a ser importados quase na sua totalidade. Diante disso, a partir de 1995, o IPEN iniciou um programa de nacionalização de radioisótopos, com objetivo de passar a produzir parte dos radioisótopos atualmente importados. De acordo com o programa estabelecido, e com o objetivo de aumentar a capacidade nacional de produção de radioisótopos, foi instalado um cíclotron de 30 MeV (milhões de elétron-volts), e iniciado um programa de modernização do reator IEA-R1, visando o aumento de sua potência para 5 MW.

Em 2005 o IPEN já produzia 100% da necessidade anual do mercado nacional de  $^{67}\text{Ga}$  (gálio-67) e de  $^{201}\text{Tl}$  (tálio-201) produzidos em cíclotron, e 60% de  $^{131}\text{I}$  (iodo-131) produzido no reator nuclear. No entanto continuou, e continua até hoje, dependente da importação total de molibdênio-99 e parcial de iodo-131, principais radioisótopos produzidos em reatores para produção dos radiofármacos.

Cabe ressaltar ainda a aplicação importante de radioisótopos na indústria, e já no ano de 1972 inicia-se o Programa de Aplicações das Radiações na Indústria, com atividades de pesquisas e testes na área pelo IPEN. Hoje o IPEN atende as empresas nacionais com mais de 20 mil curies de atividade de radioisótopos por ano para irradiadores de gamagrafia, utilizando, na sua maioria, radioisótopos importados.

Hoje, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) é o órgão governamental responsável pela política nacional de energia nuclear. Fomenta a pesquisa e o desenvolvimento dessa tecnologia e supervisiona órgãos de licenciamento e controle, de pesquisa e desenvolvimento, e os do setor industrial, voltados para as aplicações pacíficas da energia nuclear no País.

Atualmente o programa abrange atividades que envolvem centenas de especialistas, entre técnicos, engenheiros e pós-graduados. Além disso, é repassado ao parque industrial do país tecnologia para o desenvolvimento de equipamentos, produtos, materiais e máquinas

necessários aos projetos e subprojetos a eles vinculados, cuja importação frequentemente é negada ao Brasil.

Pode-se dizer que hoje centenas de empresas já receberam, ou estão recebendo, tecnologia de ponta, em troca de fornecimento de insumos, que abrangem as áreas de eletrônica avançada, solventes químicos, mecânica fina, metalurgia especial, mecânica pesada, ótica, refrigeração, informática, radioisotopia, etc.

Os principais objetivos do programa estão estabelecidos no Plano Plurianual (PPA) 2012-2015 do Governo Federal, que contém 60 Programas Temáticos, sendo que um deles é denominado de “Política Nuclear” e explicita a agenda de governo para as atividades da área nuclear. A criação deste Programa mostrou a importância desta política para o governo federal, já que a quantidade de programas no PPA foi reduzida de 365 para apenas 60 Programas Temáticos.

As atividades relativas ao Programa Nuclear Brasileiro estão inseridas no PPA 2012-2015 em três Programas Temáticos: Energia Elétrica, Defesa Nacional e Política Nuclear. No Programa de Energia Elétrica estão as ações voltadas para a geração elétrica nuclear, coordenadas pela Eletronuclear no Ministério de Minas e Energia. No Programa de Defesa Nacional estão as atividades da Marinha do Brasil relacionadas com a propulsão nuclear. Finalmente, no Programa Política Nuclear, de responsabilidade do Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação, estão inseridas todas as ações da CNEN e INB de PD&I e Aplicações, Gestão de Combustíveis usados e Rejeitos, Regulação, Recursos Humanos e Ciclo do Combustível.

As atividades e os projetos do Programa Temático “Política Nuclear” estão estruturados no PPA 2012-2015 com sete Objetivos envolvendo três instituições: CNEN, INB (Indústrias Nucleares do Brasil) e GSI (Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República), a quem cabe.

- À CNEN:
  - Objetivo 1: Aumentar o fornecimento e a capacidade de produção de radioisótopos e radiofármacos no país, para ampliar o acesso à medicina nuclear pela população brasileira.
  - Objetivo 2: Implantar programa de formação especializada do setor nuclear, envolvendo universidades e centros tecnológicos, voltados para os segmentos de pesquisa avançada, desenvolvimento tecnológico e indústria nuclear.
  - Objetivo 3: Fortalecer o sistema de regulação nuclear, para garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear e das radiações ionizantes no país.
  - Objetivo 4: Desenvolver a tecnologia nuclear e suas aplicações para atender aos diversos usos na área civil.

- Objetivo 5: Identificar e definir soluções para a deposição definitiva dos rejeitos radioativos de média e baixa atividade, visando a proteção da população e do meio ambiente.
- À INB
  - Objetivo 6: Expandir e implantar, em escala capaz de suprir a demanda nacional, o ciclo completo para produção do combustível nuclear.
- À GSI
  - Objetivo 7: Aprimorar as atividades de proteção ao programa nuclear e o atendimento a emergências radiológicas e nucleares.

Cabe destacar que o Empreendimento RMB insere-se nos objetivos 1, 2 e 4, demonstrando assim, o seu multipropósito para a política nuclear brasileira.

#### 4.1.2 REATORES DE PESQUISA NO BRASIL

O Brasil possui atualmente quatro reatores de pesquisa, todos eles localizados em unidades de pesquisa administrados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. O Quadro 4 apresenta a lista dos reatores e sua localização. Os três primeiros foram importados dos Estados Unidos, tendo sido construídos em cooperação com as Universidades locais e instalados dentro de seus *campi*, no final dos anos 50 e início dos anos 60.

Foram unidades que deram sustentação a uma política nuclear brasileira, promoveram o crescimento das unidades de pesquisa da CNEN, e que formaram a maior parte dos pesquisadores e tecnólogos que atualmente atuam no setor. São reatores de baixa potência, com baixo fluxo neutrônico, a exceção do reator IEA-R1 que é de médio fluxo, com utilização limitada às características dos respectivos fluxos.

O quarto reator de pesquisa, já com tecnologia nacional, foi projetado e construído dentro do desenvolvimento do Programa Autônomo de Tecnologia Nuclear, sendo um reator tipo unidade crítica para testes específicos em física de reatores. O Quadro 5 apresenta um resumo das principais aplicações de cada um dos 4 reatores de pesquisa nacionais.

**Quadro 4 - Reatores de Pesquisa do Brasil.**

| Nome       | Utilização                                 | Potência   | Localização                     | Início de Operação | Tipo                                  |
|------------|--|------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| IEA-R1     | Pesquisa – Produção de Radioisótopos       | 5 MW (2MW) | IPEN/CNEN-SP<br>São Paulo       | 1957               | Reator MTR<br>Piscina Aberta          |
| IPR-R1     | Pesquisa - Ensino                          | 100 kW     | CDTN/CNEN-<br>MG Belo Horizonte | 1960               | TRIGA MARK-I                          |
| ARGONAUTA  | Pesquisa - Ensino                          | 500 W      | IEN/CNEN-RJ<br>Rio de Janeiro   | 1965               | Argonauta                             |
| IPEN/MB-01 | Unidade Crítica – Análise de Núcleo de PWR | 100 W      | IPEN/CNEN-SP<br>São Paulo       | 1988               | Núcleo Aberto –<br>Vareta Combustível |

**Quadro 5 - Aplicação dos Reatores de Pesquisa do Brasil.**

| IEA-R1   | IPR-R1   | ARGONAUTA   | IPEN/MB-01  |
|--|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de radioisótopos para aplicação na medicina, indústria, agricultura e meio ambiente</li> <li>- Análise por ativação com nêutrons</li> <li>- Utilização de feixe de nêutrons</li> <li>- Neutronografia</li> <li>- Dopagem de silício</li> <li>- Irradiação de combustíveis e AND no interior da piscina</li> <li>- Ensino e treinamento</li> <li>- Fluxo de nêutrons &lt; 5 x 10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>.s (térmico)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de radioisótopos para aplicação na medicina, indústria, agricultura e meio ambiente</li> <li>- Análise por ativação com nêutrons</li> <li>- Ensino e treinamento</li> <li>- Treinamento dos operadores dos reatores de potência do Brasil</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensino e treinamento</li> <li>- Neutronografia</li> <li>- Análise por ativação com nêutrons</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validação de metodologia em física de reatores e dados nucleares para núcleos de reatores PWR</li> <li>- Ensino e treinamento dos operadores dos reatores de potência do Brasil</li> </ul> |

#### 4.1.2.1 Reator IEA – R1

Sob a responsabilidade do IPEN, está localizado no Estado de São Paulo, na Cidade Universitária (Universidade de São Paulo - USP).

O reator IEA-R1 é um reator de pesquisa tipo piscina, moderado e refrigerado a água leve. Utiliza elementos combustíveis tipo MTR de dispersão de siliceto de urânio em alumínio, com 19,75% de enriquecimento em peso de urânio-235, e possui, em volta do núcleo do reator, elementos de berílio e de grafite que atuam como refletores de nêutrons. Projetado para operar a uma potência de 2 MW, este reator, na década de 90, teve seu projeto alterado para uma potência máxima de 5 MW.

Sua primeira criticalidade ocorreu em 16 de setembro de 1957 e, após a fase inicial de testes e comissionamento, passou a operar na potência de 2 MW, seguindo um ciclo de 8 horas por dia, 5 dias por semana.

A partir de 1993 passou a operar em ciclos de 64 horas contínuas semanais a 3,5 MW, num arranjo de 24 elementos combustíveis padrões, todos fabricados no próprio IPEN. Hoje continua operando 64 horas por semana a 4,5 MW de potência.

O reator IEA-R1 foi o propulsor do crescimento do IPEN como ele é hoje. As fotos históricas de 1958 e a foto atual do IPEN mostram esse crescimento do instituto ao longo de 55 anos de operação do reator. Observa-se também o crescimento da cidade ao redor do IPEN, o que inibe qualquer projeto de aumento de potência do reator atual, ou instalação de um novo reator de maior potência no instituto.

Atualmente, o reator IEA-R1 é utilizado para as seguintes finalidades:

- **Produção de radioisótopos para uso em medicina nuclear, tais como:**
  - O Samário-153, utilizado como paliativo da dor em metástases óssea e no tratamento de artrite reumatóide;
  - O Iodo-131, utilizado na terapia de câncer de tireóide e hipertireoidismo, na terapia de hepatomas, na localização e terapia de feocromocitomas, neuroblastomas e outros tumores, no estudo da função renal, na determinação do volume plasmático e volume sanguíneo total;
  - O Iridio-192, produzido na forma de pequenos fios metálicos, utilizado na técnica de braquiterapia (radioterapia interna, ou seja, em que se coloca uma fonte de radiação dentro de, ou junto à área que necessita de tratamento de câncer); e
  - Pesquisas estão sendo realizadas para a produção de geradores de Tecnécio-99m pelo método de ativação com nêutrons de molibdênio-98 na produção do molibdênio-99, e estudos sobre uso de lutécio-177 e rênio-188.
- **Irradiação de amostras para a realização de análises multielementares, utilizando a técnica AAN** (Análise por Ativação com Nêutrons), em materiais geológicos, produtos industriais como plásticos e resinas, catalisadores, petróleo, metais e ligas metálicas, amostras arqueológicas, tecidos animais e humanos, vegetais, alimentos e amostras ambientais.
- **Pesquisas em Física Nuclear** com utilização de difratometria de nêutrons usando feixes de nêutrons extraídos do reator;
- **Serviços de neutrongrafia**, ou seja, radiografia com nêutrons; e
- **Treinamento de pessoal** licenciado para operação de reatores.

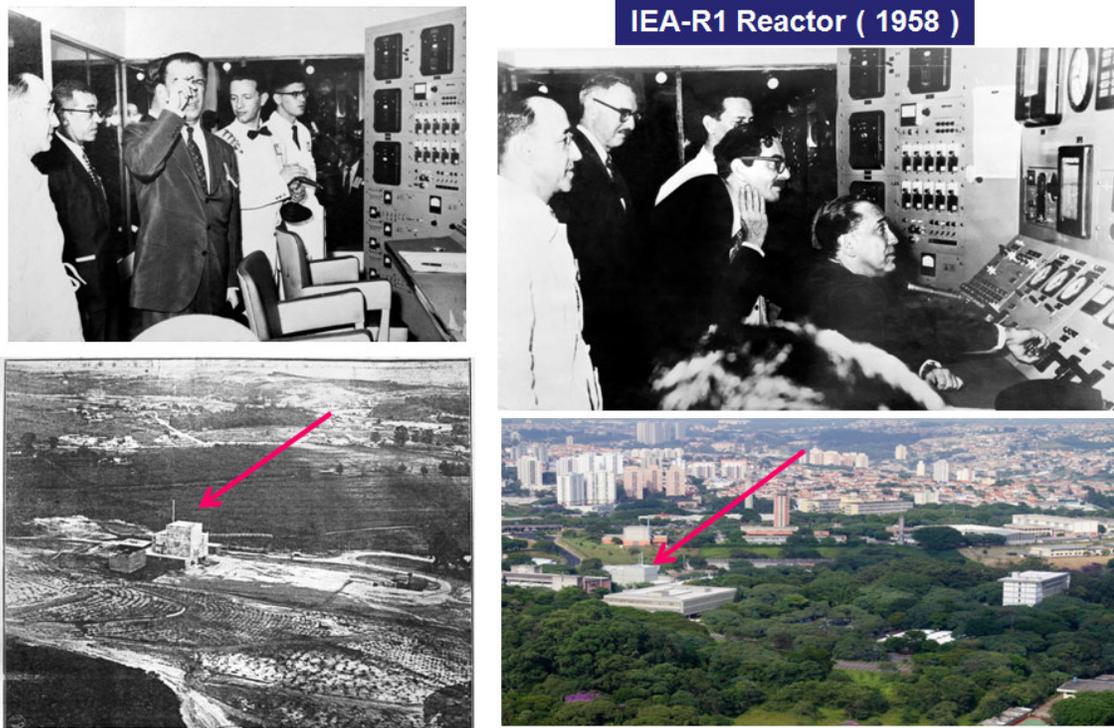


Figura 5 – Imagens do IEA-R1.

### *Reator IEA-R1*

- Reator tipo piscina, MTR, projeto Babcock & Wilcox.
- Instalado no antigo IEA- Instituto de Energia Atômica, atual IPEN da CNEN, no campus da USP em São Paulo
- O reator ficou crítico em 16 de Setembro de 1957.
- Potência máxima de 5 MW (original 2 MW)
- O reator utilizava combustível de liga de U-Al com 93% de enriquecimento e hoje utiliza combustível tipo dispersão de  $U_3Si_2-Al$ , produzido no IPEN, com 20% de enriquecimento

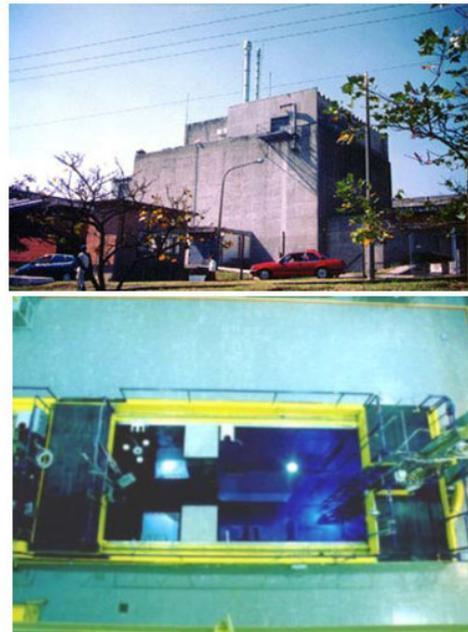


Figura 6 - Imagens do IEA-R1.

#### 4.1.2.2 Reator IPEN/MB-01

Assim como o reator IEA-R1, o reator IPEN/MB-01 opera sob a responsabilidade do IPEN, e está localizado no Estado de São Paulo, na Cidade Universitária (Universidade de São Paulo - USP).

O IPEN/MB-01 é um reator nuclear genuinamente brasileiro, concebido por pesquisadores e Engenheiros do IPEN e da Marinha do Brasil, financiado e construído pela Marinha do Brasil. Atingiu sua primeira criticalidade em Novembro de 1988, sendo oficialmente entregue para operação ao IPEN em 28 de Novembro daquele mesmo ano.

Esse tipo de reator é conhecido mundialmente como reator de potência zero ou Unidade Crítica, sendo nesse caso, projetado para operar a uma potência máxima de 100 watts. O reator é constituído de material físsil arranjado de forma a permitir reação nuclear em cadeia autossustentada e controlada a baixos níveis de potência, em geral em torno de 10 watts. A queima de combustível é desprezível e a água do moderador dispensa refrigeração, pois não chega a aquecer.

É uma instalação nuclear que permite a simulação de todas as características nucleares de um reator de grande porte em escala reduzida, sem que haja a necessidade de se construir um complexo sistema de remoção de calor. Assim, esse reator representa uma ferramenta básica que permite aos pesquisadores estudar, não apenas por cálculos teóricos, mas também com medidas experimentais, o desempenho e as características do núcleo de um reator de potência ou de propulsão naval antes da sua efetiva instalação, simulando as condições de projeto na própria instalação.

Com os experimentos realizados é possível comprovar metodologias de cálculo empregadas no projeto de núcleo de reatores, podendo-se realizar testes reais do núcleo no que diz respeito à obtenção de parâmetros nucleares de interesse para a Física de Reatores, como reatividade, distribuição de fluxo e potência.

Sua construção e operação tornaram-se fundamentais para se adquirir experiência no gerenciamento de um projeto tipicamente nuclear, incluindo-se aí todo o processo de licenciamento nuclear junto a CNEN.

A formação e o treinamento de operadores de reatores é outra atividade que mantém vivo o interesse pela instalação.

## Reator IPEN/MB-01

- Projetado e construído com tecnologia nacional (IPEN e CTMSP)
- Instalado no IPEN, ficou crítico em 1988.
- Máxima potência de 100 W.
- Combustível de varetas de  $UO_2$  com 4.3% de enriquecimento de urânio.
- Principal utilização:
  - Validação de metodologia de análise em física de reatores para núcleos de reatores tipo PWR.
  - Ensino e treinamento em física de reatores

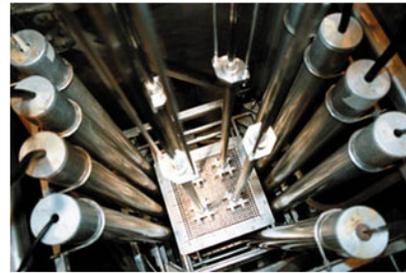


Figura 7 – Imagens do Reator IPEN/MB-01

### 4.1.2.3 Reator Argonauta

Sob a responsabilidade do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), está localizado no estado do Rio de Janeiro, na Cidade Universitária, Ilha do Fundão (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ).

Batizado como Argonauta, foi o terceiro reator construído no Brasil e o primeiro construído por empresa nacional. Foi desenvolvido segundo projeto do laboratório americano de Argonne, redesenhado e construído com 90% de componentes nacionais, atingindo sua primeira criticalidade em 20 de fevereiro de 1965.

O reator é moderado por água deionizada e apresenta as seguintes potências de operação: Máxima de projeto - 5 kW (para a configuração atual); licenciada - 500 W (operação contínua); licenciada para pico - 1 kW (1 hora de operação); usual de trabalho - 170 e 340 W; combustível - urânio enriquecido a 20% em U-235, placa combustível de dispersão de  $U_3O_8$  em alumínio.

Entre as principais linhas de pesquisas estão ensaios não destrutivos com nêutrons térmicos nas áreas de biologia, indústria, meio ambiente e segurança pública nacional. Também são produzidos radioisótopos manganês-56 (Mn - 56), lantânio-140 (La-140), selênio - 75 (Se-75) e bromo - 72 (Br-82) para serem utilizados como traçadores em pesquisas nas áreas do meio ambiente e industrial.

Colaborando com universidades e instituições, disciplinas e aulas diversas são ministradas em suas dependências completando a formação de alunos, da graduação ao doutorado.

## Reator ARGONAUTA

- Reator tipo Argonaut (Argonne National Laboratory Nuclear Assembly for University Training)
- Instalado em 1965 no IEN - Instituto de Engenharia Nuclear da CNEN no campus da UFRJ
- Potência máxima de 500 W
- Combustível tipo dispersão de  $U_3O_8$ -Al com 20% de enriquecimento de urânio
- Principal utilização
  - Ensino e treinamento em física de reatores
  - Neutronografia
  - Análise por ativação com nêutrons

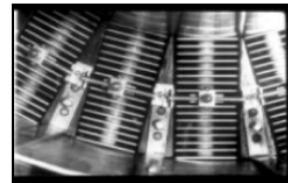
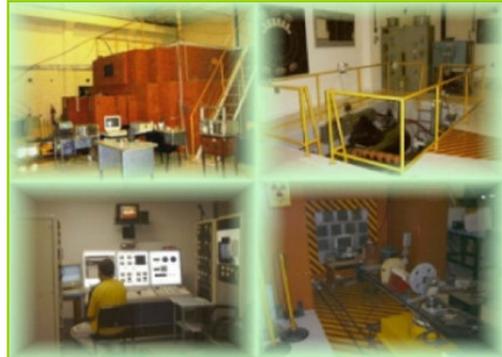


Figura 8 – Imagens do Reator Argonauta.

### 4.1.2.4 Reator Triga IPRR1

O reator nuclear de pesquisa IPR-R1 está localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) em Belo Horizonte, no campus da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

O reator teve sua primeira criticalidade em 1960, a uma potência máxima de 30 kW. Em 1973 a potência passou a 100 kW e atualmente o reator está em processo de licenciamento para 250 kW.

Desde sua primeira criticalidade, é utilizado prioritariamente como um equipamento de suporte ao setor de química analítica, para ensaios de caracterização de materiais pela técnica de ativação neutrônica - técnica nuclear de análise elementar, baseada na produção de radioisótopos formados através de reações nucleares entre os nêutrons e os átomos dos isótopos dos elementos que constituem a amostra.

É um reator tipo TRIGA (*Training, Research, Isotopes, General Atomics*), fabricado pela *Gulf General Atomic*, e desenvolvido com características de segurança intrínseca, principalmente, para serem utilizados em formação de pessoal e realização de pesquisas em tecnologia nuclear.

Sua segurança inerente é baseada em seu combustível, que é fabricado a partir de uma mistura homogênea com seu moderador, o hidreto de zircônio (UZrH) misturado ao combustível (urânio enriquecido a 20%). A mistura garante ao reator um coeficiente negativo de temperatura. Desta forma é impossível ocorrer superaquecimento e fusão do núcleo, garantindo assim operações mais seguras.

Trata-se de uma classe de reatores nucleares de pequeno porte e versátil, podendo ser instalado sem a necessidade de um edifício para conter radioatividade e foi projetado para instituições de pesquisa científica e universidades.

### Reator IPR-R1

- Reator tipo TRIGA MarkI, produzido pela General Atomic Company, USA.
- Instalado em 1960 no antigo Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), atual CDTN – Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear da CNEN em Belo Horizonte, Minas Gerais
- Máxima potência de 100 kW para operação contínua
- Combustível tipo vareta de U-Zr-H com 20% de enriquecimento de urânio
- Principal utilização:
  - Produção de alguns radioisótopos para aplicação na indústria, medicina, agricultura, e aplicações tecnológicas
  - Ensino e treinamento em física de reatores
  - Análise por ativação com nêutrons
  - O reator é bastante utilizado no treinamento de operadores das centrais nucleares Angra I e Angra II

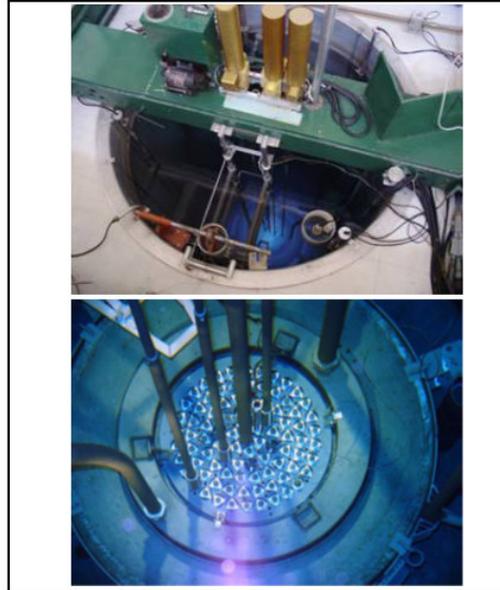


Figura 9 – Imagens do Reator IPR-R1.

#### 4.1.3 REATORES DE PESQUISA NO MUNDO

Há mais de 60 anos reatores de pesquisa têm sido centros de inovação e produtividade para a ciência e tecnologia nuclear. A pesquisa multidisciplinar que esses reatores fornecem tem incentivado novo desenvolvimento para a energia nuclear, produção de radioisótopos e medicina nuclear, pesquisa e aplicação de feixe de nêutrons, caracterização e teste de materiais, validação de códigos computacionais e várias análises elementares.

Até hoje, aproximadamente 700 reatores de pesquisa foram construídos em todo mundo, sendo que muitos deles foram construídos em 1960 e 1970. A operação atingiu o ápice em 1975 com 373 reatores de pesquisa distribuídos em 55 países.

Atualmente, 230 reatores de pesquisa continuam em operação em todo mundo, sendo que mais de 70% desses reatores em operação possuem mais de 30 anos e mais de 50% possuem mais de 40 anos.

- Muitos deles estão sendo remodelados para atingirem os padrões tecnológicos e de segurança atuais.

Conforme a publicação “Research Reactors: Purpose and Future” (IAEA, 2010) da Agência Internacional de Energia Atômica, são identificadas diversas categorias de classificação (quando ao status de operação) de reatores de pesquisa. A Federação Russa possui o

maior número de reatores de pesquisa em operação (incluindo instalações críticas) com 49, seguida pelos Estados Unidos (41), China (15), Japão (15), França (12) e Alemanha (11).

Ainda de acordo com a referida publicação, *Research Reactors: Purpose and Future* (IAEA, 2010), muitos países considerados em desenvolvimento, também possuem reatores de pesquisa, tais como: Argélia, Bangladesh, Colômbia, Gana, Jamaica, Líbia, Marrocos, Nigéria, Tailândia, Vietnã e o Brasil.

A Tabela 1 apresenta os valores recentes, conforme consulta feita em 2012 no sítio eletrônico <http://nucleus.iaea.org/rrdb/rr/reactorsearch.aspx>, da Agência Internacional de Energia Atômica, acerca da situação dos reatores de pesquisa no mundo.

**Tabela 1 – Reatores de pesquisa no mundo.**

| Status                     | Países desenvolvidos | Países em desenvolvimento | Todos os países |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|
| Em operação                | 145                  | 85                        | 230             |
| Temporariamente desativado | 9                    | 5                         | 14              |
| Em construção              | 3                    | 1                         | 4               |
| Planejado                  | 1                    | 3                         | 4               |
| Desativado                 | 112                  | 23                        | 135             |
| Descomissionado            | 284                  | 22                        | 306             |
| Cancelado                  | 1                    | 4                         | 5               |

Fonte: International Atomic Energy Agency, 2012.

Os principais reatores existentes no mundo que se assemelham ao Reator Multipropósito Brasileiro estão apresentados na Tabela 2:

**Tabela 2 – Reatores de pesquisa no mundo que possuem características que se assemelham ao RMB.**

| Reator                           | Localização    | Tipo              | Potência | Status                     |
|----------------------------------|----------------|-------------------|----------|----------------------------|
| Maple 1                          | Canadá         | Piscina           | 10 MW    | Desativado                 |
| Maple 2                          | Estados Unidos | Piscina           | 10 MW    | Desativado                 |
| National Research Universa (NRU) | Canadá         | Água pesada       | 135 MW   | Em operação                |
| HFR-Petten                       | Holanda        | Piscina           | 45 MW    | Em operação                |
| HFR                              | França         | Água Pesada       | 58,3 MW  | Em operação                |
| Safari 1                         | África do Sul  | Piscina           | 20 MW    | Em operação                |
| BR2                              | Bélgica        | Tanque            | 100 MW   | Em operação                |
| OSIRIS                           | França         | Piscina           | 70 MW    | Em operação                |
| Jules Horowitz                   | França         | Tanque em piscina | 100 MW   | Em construção              |
| RA 3                             | Argentina      | Piscina           | 10 MW    | Em operação                |
| OPAL                             | Austrália      | Piscina           | 20 MW    | Em operação                |
| ETRR-2                           | Egito          | Piscina           | 22 MW    | Em operação                |
| Pallas                           | Holanda        | -                 | -        | Em planejamento            |
| HANARO                           | Coréia do Sul  | Piscina           | 30 MW    | Em operação                |
| NBSR                             | Estados Unidos | Água Pesada       | 20 MW    | Em operação                |
| JRR-3M                           | Japão          | Piscina           | 20 MW    | Temporariamente desativado |

| Reator  | Localização     | Tipo              | Potência | Status          |
|---------|-----------------|-------------------|----------|-----------------|
| HFR     | Holanda         | Tanque em piscina | 45 MW    | Em operação     |
| HFIR    | Estados Unidos  | Tanque            | 85 MW    | Em operação     |
| Orpheé  | França          | Piscina           | 14 MW    | Em operação     |
| BRR     | Estados Unidos  | Piscina           | 2 MW     | Descomissionado |
| LVR-15  | República Checa | Tanque WWR        | 10 MW    | Em operação     |
| ILL HFR | França          | Água pesada       | 58,3 MW  | Em operação     |
| FRM II  | Alemanha        | Piscina           | 20 MW    | Em operação     |

Fonte: International Atomic Energy Agency, 2012.

O reator de OPAL (20 MW), da Austrália é utilizado como projeto de referência do RMB e os reatores OSIRIS (70 MW) e *Jules Horowitz* (100 MW), ambos da França e o reator ETRR-2 (22MW), no Egito, são usados como referência complementar.

#### 4.1.3.1 Reator OPAL - Austrália

É um reator de pesquisa com uma potência térmica de 20 MW. É do tipo piscina aberta, moderado e refrigerado a água leve, tendo como refletor água pesada. O fluxo de nêutrons térmicos médio no núcleo é de  $1,05 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s e o fluxo de nêutrons rápidos médio é de  $1,27 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s. O núcleo do reator consiste de 16 elementos combustíveis de U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al, com 21 placas combustíveis por elemento, com 19,75% de enriquecimento, e cinco barras de controle, que são inseridos através de um mecanismo hidráulico localizado abaixo do núcleo.

A temperatura de entrada do refrigerante no reator é de 38 °C e a de saída de 47 °C, com uma velocidade de escoamento de 8,1 m/s. Os objetivos principais deste reator são prover fonte de nêutrons para aplicações científicas e produzir radioisótopos. O reator, mostrado na figura abaixo, foi construído e projetado na Austrália pela empresa argentina INVAP.

## Reator OPAL - Austrália



Figura 10 – Imagens do reator OPAL – Austrália.

### 4.1.3.2 Reator OSIRIS - França

É um reator de pesquisa com uma potência térmica de 70 MW. É do tipo piscina aberta, moderado e refrigerado a água leve, tendo como refletores a água leve e blocos de berílio. O fluxo de nêutrons térmicos no núcleo é de  $3 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s e o fluxo de nêutrons rápidos é de  $4,5 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s. O núcleo do reator consiste de 38 elementos combustíveis de U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al com 19,75% de enriquecimento e seis barras de controle.

A temperatura de entrada do refrigerante no reator é de 38 °C e a de saída é de 47 °C, com uma velocidade de 7 m/s no combustível. Os objetivos principais deste reator são testar e irradiar combustíveis e materiais estruturais de reatores de potência e produzir radioisótopos. O reator OSIRIS foi utilizado largamente na caracterização e demonstração de desempenho de materiais e combustíveis do programa francês de centrais nucleares.

## Reator Osiris - França

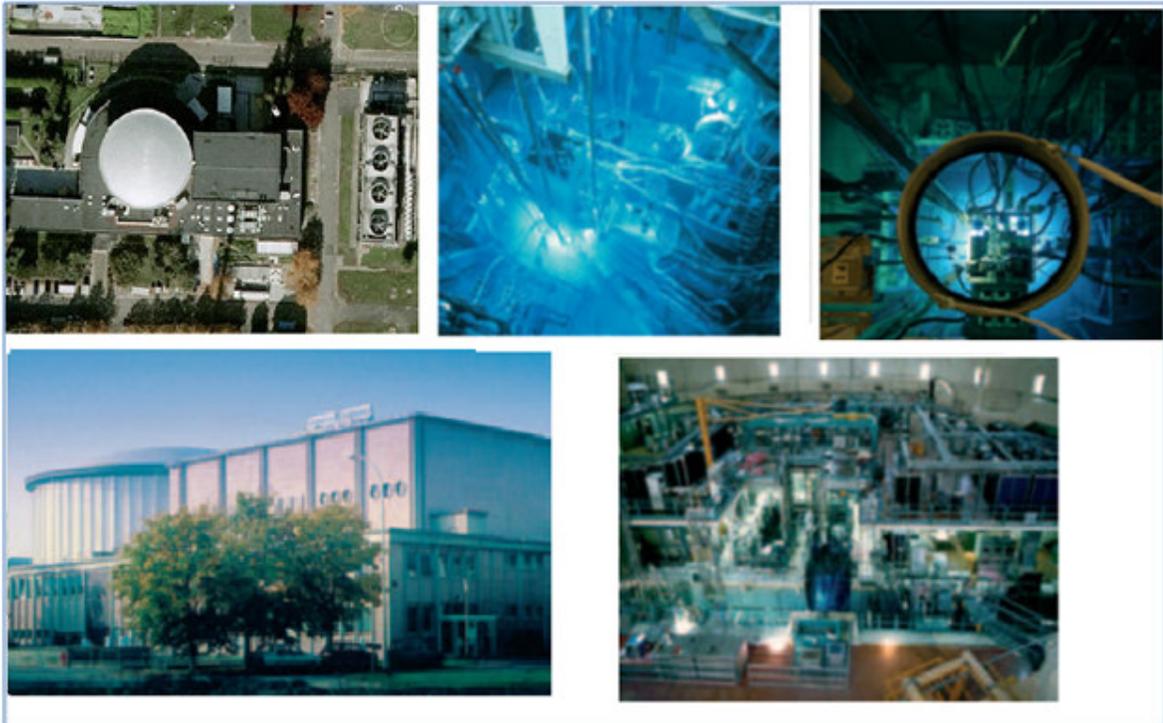


Figura 11 - Imagens do reator Osiris – França.

### 4.1.3.3 Reator Jules Horowitz - França

É um reator de pesquisa projetado para uma potência de 100 MW, com início de operação prevista para 2016; e tem por objetivo substituir o reator Osiris que será descomissionado. Será do tipo piscina aberta, moderado e refrigerado a água leve, tendo como refletores a água leve e o berílio. O fluxo de nêutrons térmicos no núcleo é de  $7,3 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s e o fluxo de nêutrons rápidos é de  $6,4 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s. O núcleo do reator consistirá de combustíveis do tipo U-Mo-Al com enriquecimento inferior a 20% e densidade de 8 g U/cm<sup>3</sup>.

A temperatura de entrada do refrigerante no reator é de 25 °C e a de saída de 41 °C, com uma velocidade de escoamento de 15 m/s no sentido ascendente no núcleo. Os objetivos principais deste reator são: testar e irradiar combustíveis e materiais estruturais de reatores de potência, produzir radioisótopos e formar recursos humanos na área nuclear.

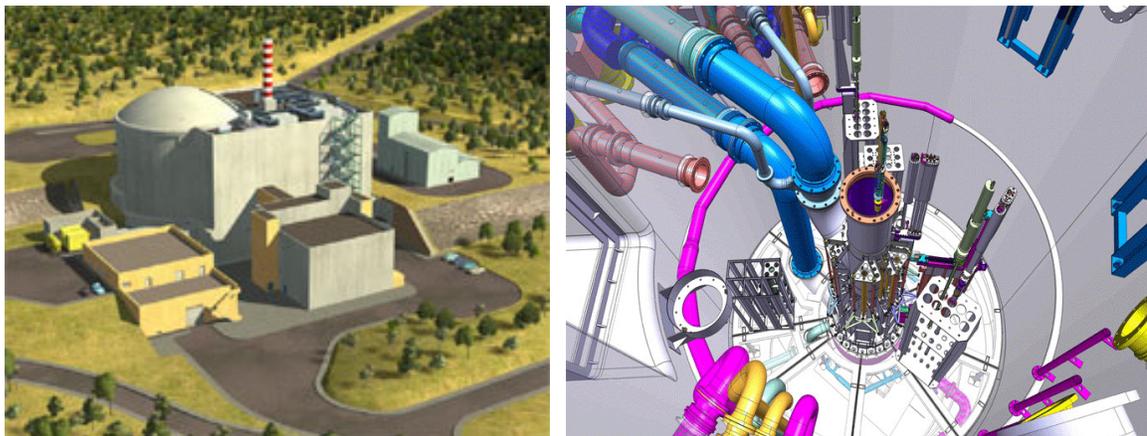
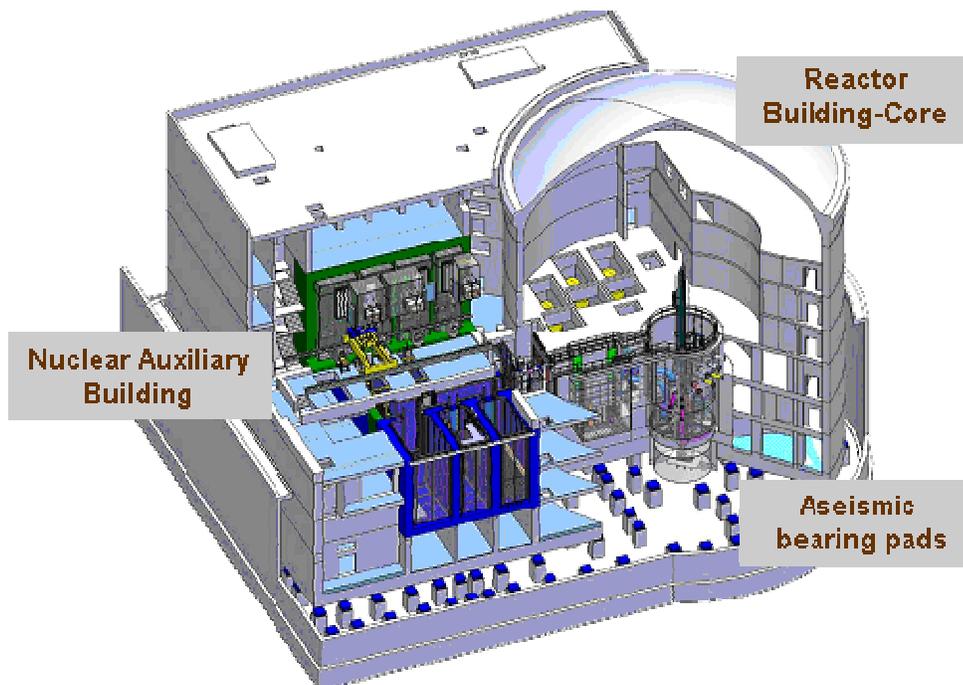


Figura 12 – Imagens do reator Jules Horowitz - França.

#### 4.1.3.4 Reator ETRR-2 - Egito

É um reator de pesquisa tipo MTR (*Material Test Reactor*) com potência de 22 MW. É do tipo piscina aberta, refrigerado e moderado com água leve, e elementos refletores de berílio posicionados ao redor do núcleo. Utiliza elementos combustíveis tipo placa de enriquecimento inferior a 20%, distribuídos numa matriz de 5 por 6, com até 3 das posições ocupadas por dispositivos para produção de radioisótopos.

O reator possui 6 barras de controle/segurança planas, colocadas entre elementos combustíveis, e tem 3 posições de irradiação onde o fluxo de nêutrons é superior a  $10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s. O reator, que opera num ciclo de operação de até 19 dias, foi construído pela INVAP, da Argentina, para a Autoridade de Energia Atômica do Egito em Inshas, 60 km a nordeste da cidade do Cairo.

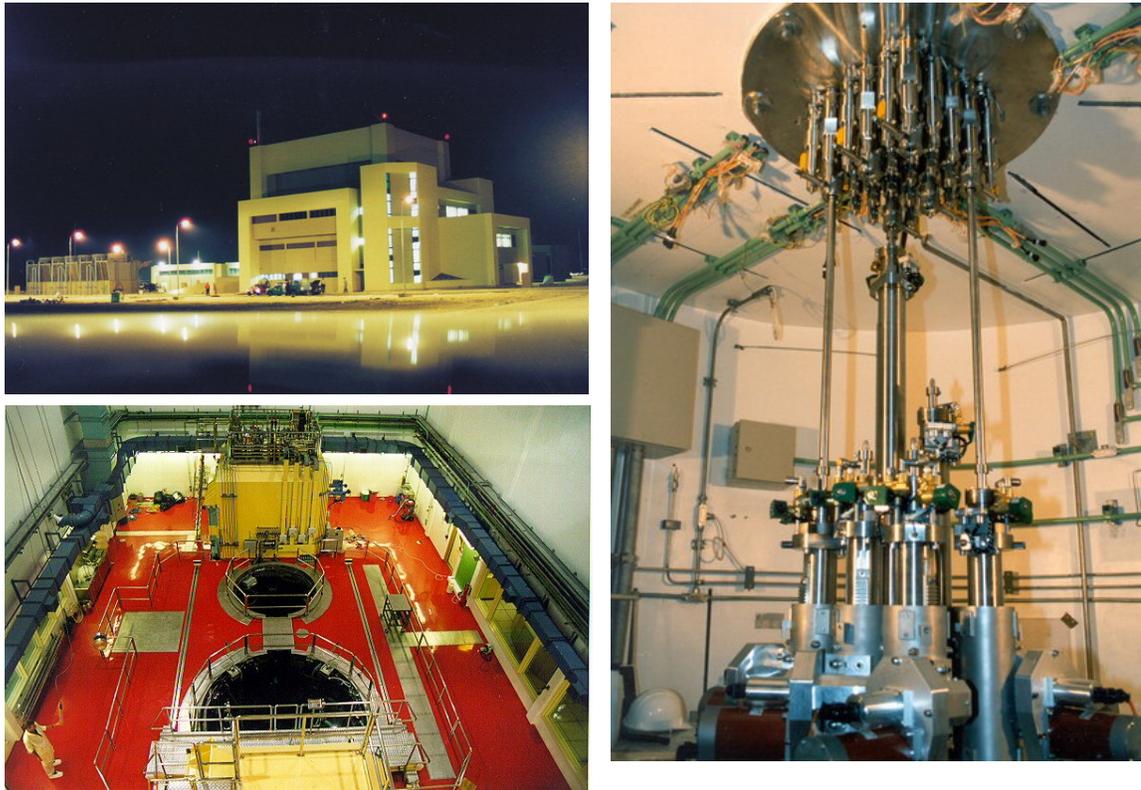


Figura 13 – Imagens do reator ETRR-2 - Egito.

#### 4.1.4 INSERÇÃO DO RMB NO CONTEXTO DA POLÍTICA NUCLEAR BRASILEIRA

A época, do Programa 1113 do Plano Plurianual do Governo Federal (2007-2011), o Programa Nacional de Atividades Nucleares (PNAN), possuía os seguintes objetivos gerais na área nuclear: garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver tecnologia nuclear e correlatas para a medicina, indústria, agricultura e meio ambiente, geração de energia elétrica, e atender ao mercado de equipamentos, componentes e insumos para indústria nuclear e de alta tecnologia.

Tinha como objetivos específicos viabilizar a utilização ampla e crescente de todas as formas de aplicações pacíficas da energia nuclear pela sociedade, com segurança, beneficiando camadas cada vez mais numerosas da população, destacando as seguintes iniciativas: consolidação do arcabouço legal da área nuclear; fortalecimento e ampliação das atividades regulatórias em todo território nacional; capacitação das instituições responsáveis pela execução do Programa para o desenvolvimento e fabricação de componentes de novas usinas nucleares; aumento da capacidade de produção de urânio no país; otimização do atendimento da demanda crescente por radioisótopos e radiofármacos na área médica, de modo a universalizar o acesso aos benefícios da moderna medicina nuclear à população brasileira; formulação e implementação de uma política brasileira de rejeitos; recomposição dos quadros de servidores e funcionários das instituições responsáveis pela execução do Programa; e ampliação da formação e capacitação de recursos humanos na área nuclear.

Ao mesmo tempo, o Programa Nuclear Brasileiro (PNB), na sua revisão de 2008, embora que não estabelecido como documento oficial pelo governo brasileiro, previa o aumento da utilização da fonte nuclear para a geração de eletricidade, com o conseqüente aumento significativo nas atividades do ciclo do combustível nuclear visando o fornecimento dos combustíveis nucleares para as centrais previstas.

O PNB previa também, na vertente relacionada à defesa nacional, o desenvolvimento continuado da tecnologia do enriquecimento isotópico de urânio e da construção do reator de propulsão naval (LABGENE) da Marinha do Brasil. É fundamental salientar que tanto os reatores de potência de geração de energia elétrica como de propulsão nuclear requerem a realização de testes de irradiação para garantir a segurança do projeto de seu combustível e dos materiais utilizados no núcleo do reator.

O PNB previa, também, a ampliação da autonomia nacional no desenvolvimento tecnológico, o aumento das aplicações de materiais e técnicas nucleares para benefício da sociedade, seja na saúde, na indústria, na proteção do meio-ambiente ou na agricultura, e recomendava a continuada formação de recursos humanos especializados.

Há que se registrar também o forte impacto sofrido pelos centros de medicina nuclear brasileiros em decorrência da crise internacional de fornecimento de molibdênio-99 (Mo-99) nos anos de 2008 e 2009, quando da interrupção na operação dos reatores nucleares National Research Universal (NRU), canadense, e HFR-Petten, holandês. Esses reatores são responsáveis pelo fornecimento de mais de 70% da demanda mundial de Mo-99, que em seu decaimento radioativo produz o radioisótopo tecnécio-99m (Tc-99m), utilizado nos radiofármacos mais empregados na medicina nuclear - cerca de 80 % dos procedimentos - para a realização de exames que permitem diagnosticar tumores, doenças cardiovasculares, função renal, problemas pulmonares, neurológicos, entre outros.

Grande parte da demanda mundial do Mo-99 é atendida por apenas quatro reatores nucleares de pesquisa de grande porte: NRU, no Canadá; HFR-Petten, na Holanda; Safári, na África do Sul; e BR2, na Bélgica.

No Brasil, são realizados atualmente cerca de dois milhões de procedimentos por ano com radiofármacos que utilizam radioisótopos produzidos em reatores nucleares, e importados (Canadá, África do Sul, Argentina). Os serviços de medicina nuclear atendem um público formado em grande parte por pacientes do Sistema Único de Saúde (SUS). O país consome cerca de 4% da produção mundial anual do Mo-99 e, embora seja um grande produtor de radiofármacos (correspondendo a um faturamento de mais de R\$86 milhões pela CNEN em 2012), o principal insumo, no caso o Mo-99, ainda é importado.

Na crise de 2008-2009 milhares de pacientes ficaram sem atendimento de medicina nuclear e o Brasil recorreu, na época, ao suporte da Argentina e da África do Sul. Hoje a CNEN importa o Mo-99 da Argentina, África do Sul e Canadá, mas a crise demonstrou a vulnerabilidade da medicina nuclear do país, altamente dependente do fornecimento externo de Mo-99, e indicando de forma clara a necessidade de se buscar a autonomia nacional na produção desse importante insumo.

A análise dos fatos ocorridos em 2008-2009 mostrou de forma clara que, para que os objetivos do PNAN e do PNB pudessem ser alcançados de maneira plena, efetiva e com autonomia tecnológica nacional havia a necessidade de se ter no país uma instalação nuclear com características e capacidades para prestar os serviços de produção de radioisótopos – em especial o Mo-99 – para realizar testes de irradiação de combustíveis nucleares e de materiais e as respectivas análises pós-irradiação, e para realizar pesquisas com feixes de nêutrons em várias áreas do conhecimento. O tipo de instalação nuclear que permite a execução desses serviços consiste de um reator de pesquisa multipropósito e de laboratórios e instalações complementares específicas, associadas a cada um desses serviços.

Como já mencionado, atualmente o Brasil possui quatro reatores de pesquisa em operação, todos antigos e de baixa potência, sendo que apenas um deles, o reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP, de 5 MW, possui limitada capacidade de produção de radioisótopos, de irradiação de materiais, e de utilização de feixe de nêutrons, já que apresenta características bastante limitadas e com baixo fluxo de nêutrons.

Além disso, há que se considerar que o Reator IEA-R1 encontra-se operando há cinquenta e cinco anos e possui perspectivas de operação por um período máximo de mais dez anos. Após o seu desligamento, várias das atividades realizadas hoje deixarão de existir se não houver um novo reator. Por suas limitadas características, o reator IEA-R1, não tem capacidade de atender a demanda de radioisótopos do país, como também não possui as características necessárias para dar suporte tecnológico consistente para um programa nuclear do porte previsto no PNB.

Para que os objetivos estabelecidos no PNB e no PNAN possam ser alcançados, tornou-se imperativa a implantação do Empreendimento RMB, empreendimento inédito no país que dará suporte às atividades nucleares, contribuindo de maneira decisiva para o alcance dos objetivos estratégicos nacionais relativos ao desenvolvimento tecnológico para as áreas de energia e defesa; ao desenvolvimento científico e tecnológico; à formação de recursos humanos para o setor nuclear e à produção crescente de radioisótopos para aplicação médica.

A proposta de construção e operação do Reator Nuclear Multipropósito Brasileiro (RMB) foi estabelecida em 2007 como meta do Plano de Ação em Ciência Tecnologia e Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI (Linha de Ação 18 do PACTI 2007 – 2010). O RMB foi considerado um empreendimento de arraste tecnológico e de organização para o setor nuclear, de importância fundamental para viabilizar objetivos estratégicos do país.

Este Empreendimento viabiliza e/ou integra as seguintes políticas e planos de governo:

- (i) Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 do Ministério de Minas e Energia (MME), que estabelece a consolidação da opção nuclear para a geração de energia elétrica no país, por meio da conclusão da usina Angra 3 e a construção de mais 4 a 8 novas usinas nucleares até o ano de 2030;

- (ii) Linha de Ação 18 - Programa Nuclear - do Plano de Ações de Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI 2007-2010) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que estabelece as ações visando o domínio industrial de todas as fases do ciclo do combustível nuclear, a conclusão do reator LABGENE da Marinha do Brasil, o fortalecimento necessário da base científica, tecnológica e de formação de recursos humanos para o setor nuclear, bem como estabelece como uma de suas metas, o Estudo e Definição de um Reator Multipropósito que seja também utilizado para ampliar a produção de radioisótopos do país;
- (iii) Política do Ministério da Saúde relativa ao PNB, apresentada na Nota Técnica: Proposta para o Programa Nuclear Brasileiro, elaborada pelo Subgrupo Medicina, da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, do Ministério da Saúde referente aos desafios e oportunidades do Programa Nuclear Brasileiro no que se refere às demandas do Ministério da Saúde. Este documento, de setembro de 2008, enfatizava o potencial de crise do mercado mundial na produção de radioisótopos e radiofármacos devido à desativação futura de reatores no Canadá e na Europa, e apontava como oportunidade estratégica a ampliação da capacidade produtiva nacional por meio da instalação de um reator de maior potência na CNEN, que permitisse a produção de radioisótopos que hoje são importados pelo país.

As atividades relativas ao Programa Nuclear Brasileiro foram ratificadas e inseridas, como mencionado no item 4.1 deste documento, no PPA 2012-2015 em três Programas Temáticos: Energia Elétrica, Defesa Nacional e Política Nuclear. Particularmente, no Programa Política Nuclear, de responsabilidade do Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação, estão inseridas todas as ações da CNEN.

A CNEN, como autarquia federal subordinada ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, tem a função de estado de executar a política nuclear e implantar esta política como estabelecida no PPA 2012-2015.

O Empreendimento RMB foi submetido pela CNEN à Câmara Técnica de Projetos de Grande Vulto da Comissão de Monitoramento e Avaliação do Plano Plurianual da Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, do Ministério do Planejamento, obtendo parecer favorável à sua viabilidade socioeconômica, conforme Resolução N.10, de 1 de março de 2011 (DOU N.56, seção 1, 23/03/2011). O Empreendimento RMB está contemplado no PPA 2012-2015 na Ação 12P1 com alocação prevista de R\$ 400 milhões.

## 4.2 OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO

O Empreendimento RMB tem como objetivo principal dotar o país de um reator nuclear de pesquisa e instalações associadas para as seguintes aplicações:

- Produzir radioisótopos para aplicação na saúde, indústria, agricultura e meio ambiente;
- Irradiar materiais e combustíveis nucleares, de forma a permitir sua análise de desempenho e comportamento sob os diversos campos de radiação de um reator nuclear;
- Realizar pesquisas científicas e tecnológicas com feixes de nêutrons.

A seguir são detalhados esses objetivos.

#### 4.2.1 PRODUÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

Radioisótopos podem ser produzidos em reatores nucleares e em aceleradores de partículas como o ciclotron. No reator nuclear, os radioisótopos são produzidos basicamente por reações nucleares com nêutrons, e nos aceleradores com partículas carregadas. Os radioisótopos produzidos em reatores possuem meias-vidas longas, quando comparados com os radioisótopos produzidos nos aceleradores. Os radioisótopos produzidos em reatores têm aplicações na saúde, na indústria, e também no controle do meio ambiente e em agricultura através de traçadores.

O Quadro 6 apresenta um resumo dos radioisótopos e fontes para produção inicial no RMB. É importante realçar que a produção dos radiofármacos e dos geradores de tecnécio continuará a ser realizada nas instalações hoje existentes no IPEN em São Paulo. Todos os radioisótopos listados no Quadro 6 serão produzidos em posições de irradiação localizadas no tanque refletor, ao lado da estrutura que envolve o núcleo do reator.

**Quadro 6 - Radioisótopos a serem produzidos no RMB**

| Finalidade                                  | Radioisótopo                           | Forma de Produção    |
|---|--|----------------------|
| Radioisótopos para Radiofármacos Injetáveis | Mo-99 (molibdênio- 99)                 | Irradiação de U-235  |
|   | I-131 (Iodo-131)                       | Irradiação de U-235  |
|   | Cr-51 (Cromo-51)                       | Irradiação de Cr-50  |
|   | Sm-153 (Samário-153)                   | Irradiação de Sm-152 |
|   | Lu-177 (Lutécio-177)                   | Irradiação de Lu-176 |
|   | Ho-166 (Hólmio-166)                    | Irradiação de Ho-165 |
|   | Y-90 (Írídio-90, microesferas)         | Irradiação de Y-89   |
|   | W-188 (Tungstênio-188)                 | Irradiação de W-186  |
| Radioisótopos para Braquiterapia            | P-32 (Fósforo-32)                      | Irradiação de S-32   |
|   | I -125 (Iodo-125)                      | Irradiação de Xe-124 |
| Radioisótopos para a Indústria              | Írídio-192 (médico)                    | Irradiação de Ir-191 |
|   | Írídio-192 (industrial)                | Irradiação de Ir-191 |
|   | Co-60 (Cobalto-60, de baixa atividade) | Irradiação de Co-59  |
| Radioisótopos tipo Traçadores               | Se-75 (Selênio-75)                     | Irradiação de Se-74  |
|   | Br-82 (Bromo-82)                       | Irradiação de Br-81  |
|   | Hg-203 (Mercúrio-203)                  | Irradiação de Hg-202 |
|   | I-131 (Iodo-131)                       | Irradiação de U-235  |

#### 4.2.1.1 Radioisótopos de Aplicação na Saúde

A Medicina Nuclear tem como campo de atuação a aplicação clínica de materiais radioativos no diagnóstico e terapia de pacientes. Os radioisótopos aplicados na medicina nuclear são escolhidos pelas suas características de decaimento favoráveis e podem ser utilizados na sua forma química mais simples ou, então, incorporados a uma variedade de substâncias ou moléculas sintetizadas, escolhidas pelas propriedades bioquímicas, fisiológicas e metabólicas favoráveis, tornando-se, assim, um fármaco adequado ou radiofármaco. O Quadro 7 apresenta uma lista de radiofármacos, com os radioisótopos associados e a aplicações na medicina.

**Quadro 7 – Aplicação de radioisótopos na medicina nuclear.**

| Fármacos            | Radioisótopo  | Aplicações                          |
|---------------------|---|-------------------------------------|
| ECD                 | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Cérebro                             |
| Pertecnetato        | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Glândulas Salivares, Estômago       |
| Nal                 | Iodo 1-123 <sup>(2a)</sup> e Iodo- 131 <sup>(3)</sup>   | Tireóide                            |
| Estanho Coloidal    | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Fígado                              |
| Fitato              | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Fígado                              |
| MIAA                | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Fígado                              |
| MAA                 | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup> e Iodo-131 <sup>(3)</sup> | Pulmão                              |
| MIBG                | Iodo-123 <sup>(2a)</sup> e Iodo-131 <sup>(3)</sup>      | Coração, Tumores                    |
| Cloreto de Tálcio   | Tálcio-201 <sup>(2a)</sup>                              | Coração, Tumores                    |
| SAH                 | Cromo – 51 <sup>(4)</sup>                               | Intestino                           |
| Citrato de Gálio    | Gálio-67 <sup>(2a)</sup>                                | Tecidos moles, Tumores, Infecção    |
| EDTPM               | Samário-153 <sup>(2)</sup>                              | Ossos                               |
| MDP                 | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Ossos                               |
| PIRO                | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Ossos, Coração                      |
| Dextran 500         | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Sistema Linfático                   |
| DMSA                | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Rins                                |
| GHA                 | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Rins                                |
| DTPA                | Tecnécio – 99m <sup>(1)</sup>                           | Rins                                |
| Hippuran            | Iodo 1-123 <sup>(2a)</sup> e Iodo- 131 <sup>(3)</sup>   | Rins                                |
| FDG                 | Flúor-18 <sup>(2a)</sup>                                | Coração, Cérebro, Tumores, Infecção |
| In-DTPA-octreotídeo | Índio -111 <sup>(2)</sup>                               | Oncologia                           |
| Lu – octreotato     | Lutécio – 177 <sup>(4)</sup>                            | Oncologia                           |
| Y – Citrato         | Ítrio – 90 <sup>(4)</sup>                               | Radiosinovirtese                    |
| Y – Hidroxiapatita  | Ítrio – 90 <sup>(4)</sup>                               | Radiosinovirtese                    |
| Produto             | <b>Radioisótopo</b>                                     | <b>Aplicações</b>                   |
| * Fio de Irídio     | Irídio-192 <sup>(2)</sup>                               | Garganta                            |
| * Sementes de Iodo  | Iodo-125 <sup>(4)</sup>                                 | Próstata, oftálmica, cerebral.      |

\* Fontes utilizadas em braquiterapia(1) Produzido a partir do molibdênio 99 – importado pelo IPEN-CNEN/SP.(2) Produção 100% nacional – IPEN-CNEN/SP.(2a) Produção 100% nacional em Ciclotrons(3) 30% produção nacional – IPEN-CNEN/SP, 70% importado.(4) 100% importado.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é a unidade de pesquisa da CNEN responsável pela produção e distribuição de radioisótopos de origem em reatores nucleares e os radiofármacos que utilizam esses radioisótopos para uso em medicina nuclear.

A própria história da medicina nuclear no Brasil é extremamente ligada a estas atividades do IPEN. O IPEN iniciou as atividades de produção de radioisótopos, para uso na Medicina Nuclear, no final de 1959, distribuindo a primeira partida de iodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ), produzido no Reator Nuclear IEA-R1, para diagnóstico da função tireoidiana. Ao longo dos anos, e com o avanço das técnicas diagnósticas e terapêuticas, novos radioisótopos produzidos em reator nuclear e seus radiofármacos foram incorporados à prática médica.

Dentre eles destaca-se o gerador de molibdênio-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ), que fornece o radioisótopo mais utilizado em diagnóstico em medicina nuclear, o tecnécio-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), que marca facilmente uma série de conjuntos de reativos liofilizados (kits). Estes kits, marcados com  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , produzidos no IPEN, permitem a visualização e estudo dinâmico do funcionamento de uma série de órgãos e sistemas no corpo humano. O  $^{131}\text{I}$  se estabeleceu para o diagnóstico e terapia de problemas relacionados à glândula tireóide.

Moléculas marcadas com  $^{131}\text{I}$ , como a MIBG- $^{131}\text{I}$  e hipuran- $^{131}\text{I}$  permitem o diagnóstico e terapia de outras doenças. Moléculas marcadas com cromo-51 também foram incorporadas à produção rotineira do IPEN-CNEN/SP. Mais recentemente, uma classe de radioisótopos emissores de partículas  $\beta$  - se tornaram extremamente importantes em aplicações terapêuticas.

Atualmente o IPEN-CNEN/SP produz radiofármacos preparados com samário-153, lutécio-177 e ítrio-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) para aplicações terapêuticas. Outros radioisótopos de interesse futuro para o preparo de radiofármacos, produzidos no RMB, são o hólmio-166 ( $^{166}\text{Ho}$ ) e o rênio-188 ( $^{188}\text{Re}$ ), na forma do gerador de tungstênio-188/rênio-188 ( $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$ ). Além deles, as micro esferas marcadas com  $^{166}\text{Ho}$ ,  $^{90}\text{Y}$  e fósforo-32 ( $^{32}\text{P}$ ) tem uso potencial em Medicina Nuclear. Hoje o  $^{32}\text{P}$  é distribuído em 2 formas químicas diferentes para aplicações em pesquisas biológicas.

As radiações ionizantes são utilizadas também em diversas terapias, principalmente no tratamento de câncer. Nesse caso, a irradiação das células cancerosas tem o objetivo de destruí-las e impedir sua multiplicação. Uma das formas de aplicação da radiação consiste em se colocar pequenas fontes em contato direto com a área do tecido a ser irradiada (braquiterapia). Essas fontes podem ser aplicadas por um determinado período de tempo e depois retiradas – como é feito, por exemplo, em tratamentos de câncer de útero – ou ser implantadas no corpo do paciente, como no tratamento de câncer de próstata. Fios de irídio-192 e sementes de iodo-125 são processados no IPEN para este tipo de aplicação.

Do Quadro 6 e Quadro 7 destacam-se os seguintes itens relevantes para a definição do RMB:

- (i) Mo-99 e I-131 são os principais radioisótopos para aplicação na saúde e devem ser a prioridade de irradiação no reator. Mo-99 e I-131 deverão ser produzidos a partir de alvos irradiados no núcleo do reator que consistem de placas combustíveis miniaturas (miniplacas), de liga de urânio-alumínio ( $\text{UAl}_2$ ), revestidas de alumínio, sendo o urânio enriquecido a 20% em U-235. Cada alvo possui em torno de 1,4 gramas de U-235, sendo estimado um

consumo semanal de 16 alvos para a atividade desejada de projeto. Os dispositivos de irradiação no reator e a unidade de processamento serão dimensionados para uma produção semanal mínima de 1.000 (um mil) curies de atividade de Mo-99, calibrados para após 6 dias de decaimento. (Obs.: o consumo nacional atual do Mo-99 é de aproximadamente 450 curies de atividade por semana). Esta quantidade dobrará a oferta atual e também poderá ser incrementada, se houver necessidade, sem acarretar problemas técnicos ao projeto.

- (ii) Mo-99 e I-131 são produtos de fissão do U-235, sendo necessárias células quentes para o processamento químico dos alvos irradiados e a separação/purificação desses radioisótopos, requerendo também frequência semanal de processamento e operação sem interrupção do reator por períodos de até 4 semanas.
- (iii) O radioisótopo  $^{125}\text{I}$  para braquiterapia não exige alto fluxo de nêutrons, mas exige equipamentos específicos de irradiação e tratamento pós-irradiação, já que é produzido pela irradiação de um gás.
- (iv) A capacidade de produção dos demais radioisótopos para aplicação na saúde será definida conforme demanda existente e futura, não sendo este um parâmetro limitante ao projeto do reator e instalações associadas.

Atualmente mais de 2 milhões de procedimentos em cerca de 370 clínicas e hospitais de diversos locais do país realizam procedimentos de medicina nuclear utilizando radiofármacos com radioisótopos produzidos em reatores nucleares de pesquisa. O Brasil apresenta uma demanda crescente por este tipo de serviço, conforme pode ser visto na Tabela 3.

Os insumos que viabilizam a realização destes procedimentos são produzidos, como mencionado anteriormente, na sua maioria, em reatores nucleares de pesquisa. Os reatores existentes no país não têm capacidade para produzir esses insumos em escala comercial, o que traz uma forte dependência de fornecedores estrangeiros. É com foco nessa dependência do exterior e no aumento da oferta para o atendimento da demanda da população brasileira que está sendo desenvolvido o projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Ele possibilitará o atendimento integral da demanda nacional por esses insumos (CNEN, 2011). A Tabela 4 apresenta um quadro do consumo de radiofármacos no Brasil, fornecidos pelo IPEN, no ano de 2012.

**Tabela 3 - Crescimento anual do fornecimento de radiofármacos**

| Produtos e serviços   | 2008<br>(em R\$) | 2009<br>(em R\$) | 2010<br>(em R\$) | 2011<br>(em R\$) | 2012<br>(em R\$) | Crescimento<br>no período<br>2012/2011 | Crescimento<br>no período<br>2012/2008 |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|--|
| Gerador de Tecnécio   | 27.448.237       | 35.014.096       | 40.300.889       | 45.950.608       | 49.989.265       | 8,8%                                   | 82,1%                                  |
| Iodeto de Sódio – 131 | 7.317.748        | 7.484.729        | 7.569.812        | 8.151.829        | 8.345.939        | 2,4%                                   | 14,1%                                  |

| Produtos e serviços        | 2008 (em R\$) | 2009 (em R\$) | 2010 (em R\$) | 2011 (em R\$) | 2012 (em R\$) | Crescimento no período 2012/2011 | Crescimento no período 2012/2008 |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Citrato de Gálio           | 3.776.630     | 4.533.630     | 4.541.130     | 4.370.217     | 4.129.419     | -5,5%                            | 9,3%                             |
| Flúor-18                   | 10.024.752    | 10.214.244    | 10.474.461    | 6.421.542     | 6.488.667     | 1,0%                             | -35,3%                           |
| Iodeto de Sódio - Cápsulas | 3.253.454     | 3.713.950     | 4.041.139     | 4.054.319     | 5.439.310     | 34,2%                            | 67,2%                            |

Tabela 4 - Radiofármacos fornecidos pelo IPEN em 2012

| Produtos  | Unidade de medida | Total do ano |                |
|---|-------------------|--------------|----------------|
|   |                   | Quant.       | Faturamento    |
| Produtos Farm. Veterinários                                   |                   | ---          | R\$ 84.024.131 |
| Gerador de Tecnécio ( <sup>99</sup> MTC)                      | mCi               | 19.013.250   | 49.989.265     |
| Iodeto de Sódio ( <sup>131</sup> I)                           | mCi               | 1.571.119    | 8.345.939      |
| Iodeto de Sódio ( <sup>131</sup> I) – Em cápsulas             | mCi               | 909.295      | 5.439.310      |
| Citrato de Gálio ( <sup>67</sup> Ga)                          | mCi               | 54.825       | 4.129.419      |
| <sup>18</sup> F (Fluorodeoxiglucose)                          | Dose              | 4.582        | 3.824.916      |
| Semente de I-125 – corda                                      | Unid.             | 29.190       | 2.836.100      |
| MIBI - Metoxiisobutilisonitrila                               | Kit               | 2.939        | 2.072.583      |
| Octreotídeo-In-111  | mCi               | 1.800        | 1.433.920      |
| MDP – (kits <sup>99</sup> MTC)                                | Kit               | 8.095        | 926.696        |
| Cloreto de Tallium – 201                                      | mCi               | 13.575       | 836.604        |
| 177-LU-DOTATATE   | mCi               | 32.500       | 826.751        |
| DTPA – (kits <sup>99</sup> MTC)                               | kit               | 2.928        | 335.315        |
| MAA – (kits <sup>99</sup> MTC)                                | kit               | 2.803        | 320.771        |
| Semente de I-125 – solta                                      | Unid.             | 3.633        | 292.892        |
| MIBG – (Subst. Marcada <sup>131</sup> I)                      | mCi               | 11.483       | 263.672        |
| DMSA – (kits <sup>99</sup> MTC) e Pentavalente                | Kit               | 2.122        | 243.011        |
| MIBG – (Subst. Marcada <sup>131</sup> I)                      | mCi               | 2.894        | 221.807        |
| Fitato - (kits <sup>99</sup> MTC)                             | kit               | 1.841        | 210.602        |
| Iodeto de Sódio ( <sup>123</sup> I)                           | mCi               | 4.019        | 190.760        |
| ECD – Etilenodicitseína-Dietel-Ester (kits <sup>99</sup> MTC) | Kit               | 1.660        | 189.760        |
| Semente de I-125 – oftálmica e cerebral                       | Unid.             | 270          | 182.481        |
| PIROFOSFATO – (kits <sup>99</sup> MTC)                        | Kit               | 1.578        | 180.598        |
| Estanho Coloidal – (kits <sup>99</sup> MTC)                   | Kit               | 1.190        | 136.279        |
| Dextran 70 e Dextran 500 (kits <sup>99</sup> MTC)             | Kit               | 1.068        | 122.193        |

| Produtos  | Unidade de medida | Total do ano |             |
|---|-------------------|--------------|-------------|
|   |                   | Quant.       | Faturamento |
| DISIDA – (kits <sup>99</sup> MTC)                       | Kit               | 625          | 108.219     |
| Samário-153 (EDTMP) e Sm-153 Hidroxiapatita             | Dose              | 186          | 91.609      |
| Caixa de vidro (12 frascos)                             | Un                | 1.551        | 64.692      |
| Y-90 Hidroxiapatita                                     | mCi               | 363          | 56.238      |
| EDTA – (Subst. Marcada <sup>51</sup> Cr)                | mCi               | 573          | 43.239      |
| EC – Etilenodicisteína                                  | Kit               | 375          | 42.945      |
| HSA - (Subst. Marcada <sup>51</sup> Cr)                 | mCi               | 160          | 18.323      |
| Fosfato de Sódio + Ácido Fosfórico – ( <sup>32</sup> P) | mCi               | 2.310        | 13.779      |
| Cromato de sódio ( <sup>51</sup> Cr)                    | mCi               | 240          | 12.060      |
| Blindagem de Gerador de Tc                              | Pc                | 12           | 6.418       |
| Hippuran – (Subst. Marcada <sup>131</sup> I)            | mCi               | 180          | 3.964       |
| Fios de Iridio – <sup>192</sup> I – Para Braquiterapia  | Unid.             | 2            | 2.823       |
| HSA - (Subst. Marcada <sup>131</sup> I)                 | mCi               | 20           | 2.219       |
| GHA – (kits <sup>99</sup> MTC)                          | Kit               | 13           | 1.489       |
| Sulfato de Sódio + Ácido Sulfúrico – ( <sup>35</sup> S) | mCi               | 120          | 774         |
| LUPIODOL - (Subst. Marcada <sup>131</sup> I)            | mCi               | 50           | 695         |
| Citrato de Ítrio  | mCi               | ---          | ---         |
| HSA - (kits <sup>99</sup> MTC)                          | kit               | ---          | ---         |

O RMB trará os seguintes benefícios na área da medicina nuclear:

- Nacionalização da produção do radioisótopo do Mo-99, do qual deriva o radioisótopo Tc-99m, garantindo autonomia e soberania no fornecimento à classe médica, com possibilidade de exportar a produção excedente;
- Nacionalização de todos os radioisótopos produzidos em reatores que hoje são importados pelo Brasil, para aplicação médica na diagnose, terapia e braquiterapia;
- Aumento do fornecimento nacional de radioisótopos possibilitará o atendimento integral da demanda nacional por esses insumos, reduzindo o receio no uso desse tipo de tratamento e até mesmo abrangendo o seu fornecimento e uso para o Sistema Único de Saúde (SUS);
- Investimento na medicina nuclear nacional uma vez que haverá garantia no fornecimento dos insumos necessários para a aplicação desse tipo de aplicação em pacientes, possibilitando ainda o desenvolvendo de técnicas e aperfeiçoamento para a mesma.

#### 4.2.1.2 Radioisótopos de Aplicação na Indústria

O irídio-192 é utilizado na forma de discos para gamagrafia industrial. O IPEN é o único fornecedor atual do material no Brasil. Discos irradiados são adquiridos no exterior e as fontes utilizadas em gamagrafia são montadas no Instituto. O consumo anual é da ordem de 20.000 Ci.

O cobalto-60 (meia vida de 5,6 anos) é a principal fonte radioativa de instalações de irradiação comercial para esterilização. O irradiador multipropósito do IPEN (irradiador para esterilização de alimentos, equipamentos cirúrgicos, etc.) consome por ano aproximadamente 200.000 curies. Outros irradiadores nacionais consomem aproximadamente 650.000 curies/ano somente para reposição das fontes existentes. Ou seja, é de aproximadamente 850.000 a 1.000.000 curies/ano a atividade necessária de cobalto-60 para alimentar os irradiadores existentes.

Este consumo anual é causado pelo decaimento radioativo do cobalto-60, ou seja, estes valores são necessários para manter os irradiadores operando e não o consumo para novos irradiadores e/ou aumento de potência dos irradiadores existentes. Esta grande atividade é hoje importada, e os fornecedores são países com reatores de potência tipo CANDU (reatores refrigerados e moderados à água pesada - D<sub>2</sub>O), onde cobalto é utilizado como material das barras de controle do reator. Estas altas atividades de cobalto são difíceis de obter em reatores de pesquisa.

Cobalto-60 com atividade na faixa de milicuries pode ser utilizado na indústria para medidores de nível e de espessura e para perfilagem de colunas de destilação, entre outras aplicações. Atualmente, fontes de até 300 milicuries são produzidas no reator IEA-R1, sendo a demanda atual de aproximadamente 10 fontes por ano, com atividade total de 2,0 curies/ano.

É viável a produção no RMB de cobalto-60 para pequenas atividades. No entanto, a produção de cobalto-60 de alta atividade irá requerer um estudo técnico aprofundado, já que sua característica em termos neutrônicos poderá interferir bastante com as outras necessidades de irradiação. Uma possibilidade, embora que limitada, é a utilização de barras de controle contendo cobalto. No entanto isto deverá ser estudado no decorrer do projeto e verificada sua viabilidade.

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial, ou seja, a Impressão de radiação gama em filme fotográfico. Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças. As empresas de aviação, por exemplo, fazem inspeções frequentes nos aviões, para verificar se há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) usando a gamagrafia.

Neste contexto, o RMB tem como objetivo produzir os radioisótopos atualmente importados para utilização na gamagrafia.

A Tabela 5 apresenta o fornecimento de fontes para indústria no ano de 2012 pelo IPEN.

**Tabela 5 - Fornecimento de fontes para aplicação na indústria pelo IPEN em 2012**

| Indústria de Produtos Fermoquímicos    | Unidade de medida | Total no ano     |                     |
|--|-------------------|------------------|---------------------|
|  |                   | Quant.           | Faturamento         |
| Fontes de irídio ( <sup>192</sup> Ir)  | Ci                | 20.247           | 945.746             |
| Fontes de cobalto (57Co)               | Unid.             | 51               | 113.785             |
| Fontes de Césio (137Cs)                | Unid              | 105              | 79.695              |
| Fontes de BA-133                       | Unid              | 26               | 34.598              |
| Fonte fria                             | Unid              | 1                | 678                 |
| Cápsula de fonte radioativa            | Unid              | 1                | 415                 |
| Fontes de cobalto (60Co)               | mCi               | -                | -                   |
| Fontes selada de césio (137Cs)         | Unid              | -                | -                   |
| Outros produtos ind. De produção farm. | Unid              | -                | -                   |
| <b>Total</b>                           | -                 | <b>20.431,00</b> | <b>1.174.918,00</b> |

#### 4.2.1.3 Radioisótopos de Aplicação na Agricultura e Meio Ambiente

Radioisótopos são utilizados como traçadores no controle e otimização de processos industriais e na proteção do meio ambiente. Atualmente, destacam-se os seguintes radiotraçadores: mercúrio-203 (meia vida de 47 dias), bromo-82 (meia vida de 35 horas) e iodo-131 (meia vida de 8 dias). Exemplos de aplicações são: (i) quantificação da massa de mercúrio imobilizado em células eletrolíticas, das indústrias de fabricação de soda e cloro, que utilizam mercúrio metálico no processo de fabricação. A massa desse mercúrio precisa ser periodicamente quantificada e nesses casos o <sup>203</sup>Hg é aplicado como radiotraçador, com grandes vantagens sobre qualquer outro método convencional; e (ii) determinações de vazões e distribuição de tempo de residência (DTR) em rios, lagos, tanques de estações de tratamento de esgotos e reatores de processos industriais. Aplicam-se os radioisótopos bromo-82 ou iodo-131, cuja escolha entre um e outro é sempre feita em função do tempo previsto para a duração do trabalho, características químicas do meio e de detecção da radiação.

Além disso, existe a necessidade de novos radiotraçadores sólidos, líquidos e gasosos, tais como, argônio-41, criptônio-85, lantânio-140, potássio-42, enxofre-35, xenônio-133, entre outros, utilizados no controle e otimização de processos, nas industriais químicas e, petroquímicas.

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido. Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode, também, ser “radiografada”, permitindo localizar o radioisótopo. Para isso, basta colocar um filme, semelhante ao usado em radiografias e abreugrafias, sobre a região da planta durante alguns dias e revelá-lo. Obtém-se assim, o que se chama de autorradiografia da planta.

Os traçadores radioativos permitem ainda estudar o comportamento de insetos. Com isso, podem ser empregadas técnicas para eliminação de pragas por meio dos predadores naturais, sem o uso de inseticidas.

Também é possível determinar a quantidade de agrotóxico retida nos alimentos, além de identificar sua presença na água e solo.

Neste contexto, o RMB tem como objetivo produzir os radioisótopos para aplicação como traçadores e que são utilizados basicamente em estudos e pesquisas laboratoriais e de campo.

Com relação à produção de radioisótopos, é relevante mencionar, de uma forma geral, o total de recursos financeiros que podem ser gerados na sua produção. Isto é um ponto importante na quantificação dos recursos necessários ao custeio (operação contínua) do RMB. De certa forma, um valor acima de cinquenta milhões de reais anuais pode ser previsto na comercialização desses produtos, no entanto, sem quantificar ou entrar no mérito dos benefícios indiretos à sociedade. No estudo de empreendimento de grande vulto apresentado pela CNEN ao Ministério do Planejamento, estimou-se um retorno do investimento global, considerando-se basicamente a venda de radioisótopos, em torno de 20 anos, para uma vida útil de 50 anos do Empreendimento.

#### 4.2.2 IRRADIAÇÃO, TESTE E ANÁLISE PÓS-IRRADIAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS MATERIAIS

Uma das principais vantagens dos reatores de pesquisas é permitir a condução de experimentos em materiais combustíveis nucleares e estruturais até limites que não poderiam ser alcançados em reatores de potência. Além disso, os tempos dos experimentos são bem inferiores à vida útil real do item, uma vez que a irradiação instrumentada pode ser realizada pelo ajuste de parâmetros tais como temperatura e fluxo de nêutrons. O reator de pesquisa para teste de materiais (como uma das funções multipropósito do RMB) possui fluxo de nêutrons bem superior aos reatores de potência tipo PWR, tornando o reator de pesquisa como uma “máquina do tempo” em relação a produção dos danos da radiação nos materiais, possibilitando em tempo curto a observação de fenômenos que ocorrem em longo tempo nos reatores de potência.

Considerando as necessidades específicas e gerais dos projetos brasileiros na área de reatores de potência tipo PWR, o projeto RMB inclui como objetivos:

- Estudo do comportamento de combustíveis nucleares sob irradiação.
- Irradiação de materiais combustíveis para levantamento experimental de dados básicos de desempenho e propriedades físicas, mecânicas, térmicas e estruturais.
- Estudo de danos devido à irradiação (“envelhecimento”) em materiais estruturais de reatores.

- Estudo do comportamento dos materiais do núcleo de reatores sob efeitos combinados de química da água e do ambiente de alta radiação e temperatura.

O Quadro 8 apresenta de forma geral os objetivos de testes de irradiação.

**Quadro 8 - Objetivos dos testes de irradiação**

| Materiais              | Aspectos   | Objetivos do Teste   |
|------------------------|--|--|
| Materiais Combustíveis | Otimização das características de comportamento do combustível | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificar comportamento de combustíveis para estados estacionários e transientes;</li> <li>-Verificar o comportamento de combustíveis com altas taxas de queima determinando: distribuição de temperatura, deformação do revestimento, liberação de gases de fissão, densificação/inchamento, corrosão do revestimento, etc.;</li> <li>-Qualificar e caracterizar novos combustíveis</li> <li>-Desenvolver materiais para revestimento otimizado em relação ao comportamento e resistência aos danos da radiação.</li> </ul> |
| Materiais Estruturais  | Extensão da vida útil de centrais nucleares de potência        | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificar comportamento das estruturas internas do reator em relação a: propriedades mecânicas, corrosão, crescimento devido à irradiação, cinética de deformação lenta (<i>creep</i>), etc.;</li> <li>-Verificar comportamento de materiais de vasos de reatores e de componentes internos do reator para extensão do período de operação: mudanças nas propriedades mecânicas dos aços de vasos, resistência à corrosão e corrosão sob tensão.</li> </ul>  |
|                        | Segurança  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificar reações dos combustíveis em situações normais e condições de acidentes;</li> <li>-Verificar comportamento de itens específicos para dimensionamento e análise de segurança.</li> </ul>   |

Para realizar testes de irradiação devem ser desenvolvidos dispositivos de irradiação no núcleo do reator que podem ser classificados em 3 categorias básicas:

- Cápsulas projetadas para irradiar materiais sob condições similares àquelas de reatores PWR.
- Cápsulas projetadas para irradiar materiais em condições similares àquelas de reatores de alta temperatura para as novas famílias de reatores.
- Circuitos (*loops*) para irradiação de combustíveis reproduzindo as condições termohidráulicas, neutrônicas e químicas encontradas em reatores PWR de potência.

Os seguintes dispositivos de irradiação de materiais e combustíveis são previstos para o RMB:

- Cápsulas de irradiação para testes de materiais estruturais no núcleo do reator. As cápsulas de irradiação devem permitir a irradiação dos corpos de prova (cp) de materiais estruturais (por exemplo: aços de vasos de pressão de PWR; aços de estruturas internas do reator, etc) em temperaturas representativas daquela de operação do componente no reator PWR.
- Circuitos de irradiação pressurizados para testes de combustíveis junto ao núcleo do reator (região refletora). Os circuitos ("*loops*") de irradiação pressurizados devem permitir a irradiação de miniplacas ou minivaretas em

ambientes representativos daqueles da operação no reator para que forem projetados (por ex.:PWR).

- Utilização de Dispositivos de Deslocamento Horizontal (DDH): possibilitam irradiações sob condições estacionárias e de transientes. Este dispositivo permite posicionamento controlado da cápsula de irradiação nas condições neutrônicas exigidas pelo teste. Possibilita também operação a níveis de potência variável e ciclagem de potência (rampas de 20 % a 100% da potência linear máxima e número máximo de ciclos) e assegura o afastamento automático da cápsula de irradiação em relação ao núcleo do reator como condição de segurança.

São previstos espaços na piscina para posicionamento dos vários sistemas suporte aos circuitos de irradiação, bem como para desmontagem da cápsula de irradiação e para decaimento radioativo após os testes de irradiação. É previsto também uma célula quente para desmonte e manuseio dos vários dispositivos de irradiação.

Ao se realizar testes de irradiação de combustíveis e materiais estruturais, estes ficam altamente ativados, necessitando seu manuseio ser realizado em instalações com blindagem e controle ambiental adequado. Todo equipamento para caracterização e ensaios devem estar dentro desses sistemas especiais denominados células quentes. Estas células possuem blindagem de chumbo ou concreto, visores de vidro plumbífero, manipuladores mecânicos que separam a ação do operador do ambiente interno de alta radiação. Estas células são estanques e seu ambiente interior controlado por sistemas adequados de ventilação.

Duas linhas de células combustíveis estão previstas para o Laboratório de Análise Pós-irradiação do RMB: uma linha contendo células para caracterização de combustíveis nucleares; e a segunda linha de células para caracterização dos materiais estruturais.

Os equipamentos de ensaios devem permitir análises não destrutivas de caracterização física dos itens irradiados, preparação de amostras metalográficas, puncionamento e coleta de gases radioativos, microscópio ótico, equipamentos de caracterização de propriedades mecânicas, etc.

Os seguinte ensaios são previstos para combustíveis irradiados

- Análise não destrutiva: inspeção visual; análise dimensional; espectrometria gama para determinação de queima (*burn-up*) e localização do combustível; determinação de defeitos no revestimento e determinação da espessura da camada de óxido; ensaio empolamento de placas combustíveis e determinação da densidade hidrostática.
- Preparação de Amostras, puncionamento de vareta para quantificação de volume de gases liberados, determinação da composição dos gases liberados por espectrometria de massa.

- Microscopia óptica das amostras, análise microestrutural da seção polida: poros, grãos, fases; determinação de microdureza.

Ensaio previstos para materiais irradiados:

- Ensaio mecânicos: tração; arrebentamento de tubo; fluência axial; fluência biaxial; Dureza; teste Charpy.

Podemos resumir que o Empreendimento RMB tem como objetivos para a área estratégica de reatores de potência e ciclo do combustível desenvolver:

- Capacidade para testar e qualificar combustíveis nucleares para propulsão nuclear, combustíveis avançados desenvolvidos para as centrais nucleares brasileiras; e novos combustíveis para reatores de pesquisa;
- Capacidade para testar materiais e processos especiais desenvolvidos para os elementos combustíveis, vasos e estruturas internas utilizadas nas centrais nucleares brasileiras;
- Capacidade para testar materiais desenvolvidos ou fabricados no país para serem utilizados nos reatores de centrais nucleares ou de propulsão nuclear;
- Criar capacidade nacional para testar e qualificar materiais para serem utilizados em reatores.

Os usuários beneficiários de toda essa infraestrutura de teste serão a CNEN, a INB, a Eletronuclear e o CTMSP, pois são órgãos ligados à pesquisa, projeto, produção e operação do ciclo do combustível nuclear e reatores nucleares no país. Particularmente a INB, fornecedora dos combustíveis nucleares para as usinas de potência, será beneficiada de forma direta em suporte à qualificação de processos e materiais sob irradiação, podendo nacionalizar componentes hoje importados. O país não dispõe hoje dessa infraestrutura proposta para o RMB, e todas as pesquisas, testes e desenvolvimento de tecnologia nessa área são realizados no exterior a um custo bastante alto (quando possível de realizar).

Essa infraestrutura tem uma característica bastante estratégica para o país e permitirá avanços significativos na tecnologia de combustíveis e materiais para reatores de potência.

Importante realçar também que essa infraestrutura laboratorial permitirá testar os corpos de prova que ficam como testemunho de irradiação nos vasos dos reatores de potência (Angra I, II e III e Labgene), gerando também autonomia e economizando divisas ao país nos testes periódicos exigidos por norma.

#### 4.2.3 UTILIZAÇÃO DE FEIXE DE NÊUTRONS

O Empreendimento RMB tem como objetivo geral para utilização de feixe de nêutrons:

- Melhorar a investigação fundamental e tecnológica por meio da utilização de feixe de nêutrons, a qual é limitada hoje pela infraestrutura existente dos institutos de pesquisa nuclear do país;

- Ampliar a capacidade nacional existente em análise por ativação com nêutrons e aplicações de técnicas nucleares;
- Criar um Laboratório Nacional para atender a comunidade científica brasileira em diversas áreas de pesquisa básica e aplicada utilizando feixe de nêutrons.

Devido às peculiaridades dos nêutrons, estes se constituem em uma poderosa ferramenta para estudos de materiais, desde a pesquisa fundamental até aplicações tecnológicas. Como exemplo, ele nos permite estudar a estrutura atômica e a dinâmica dos materiais, respondendo perguntas como "onde estão os átomos?" ou "o que os átomos fazem?". A partir do espalhamento de nêutrons na matéria pode-se obter uma vasta quantidade de informações, dentre elas, citam-se:

- O nêutron é a única partícula de prova capaz de ver, por exemplo, tanto o núcleo atômico como as interações magnéticas dos elétrons, ao mesmo tempo. Por este motivo, ele pode ser usado no estudo de muitos aspectos do magnetismo, em vários sistemas complexos, desde estruturas magnéticas exóticas até sistemas supercondutores não convencionais;
- O nêutron possui alto poder de penetração nos materiais, sem danificá-los, permitindo um melhor entendimento sobre possíveis transformações e degradações nos materiais;
- Muitos dos objetos do nosso dia a dia, por exemplo, ferramentas, roupas e comidas, são feitos de materiais com estruturas complexas. Devido aos nêutrons verem átomos leves, eles permitem a observação de mecanismos invisíveis em substâncias complexas tais como polímeros, grandes moléculas, surfactantes e solventes, proteínas, líquidos, gases, etc.
- Medições usando nêutrons de baixa energia podem fornecer um melhor entendimento da estrutura dos núcleos e das reações nucleares.

Por ser o espalhamento de nêutrons uma das mais poderosas ferramentas usadas na obtenção de informações sobre os materiais, muito se investe no mundo na instrumentação associada a feixes de nêutrons. Vários países da Europa, os Estados Unidos, o Japão, a Coreia e a Índia, entre outros, que possuem reatores com alto fluxo de nêutrons, têm uma intensa atividade nesse setor.

São motivadas ao RMB as aplicações de feixes de nêutrons em pesquisa fundamental e tecnológica, já que estas atividades são muito pouco praticadas no Brasil devido ao baixo fluxo de nêutrons dos reatores hoje existentes. É assumido que esta será uma instalação para uso da comunidade científica brasileira, agregando valor à política nacional de incentivo à ciência, tecnologia e inovação. É proposta que a operação do reator seja contínua, 24 horas por dia, ao longo de quatro semanas em operação e pelo menos onze ciclos de operação por ano, garantindo desta forma uma ferramenta eficaz aos pesquisadores.

Para utilizar os feixes de nêutrons o reator precisa dispor de tubos de extração de nêutrons (denominados “*beamholes*”) do núcleo para fora da blindagem do reator. São observados projetos no mundo com 9 a 14 *beamholes* saindo do núcleo. Um aspecto que deve ser considerado é que existem tipos diferentes de *beamholes*. Existem aqueles que param após a blindagem do reator, sendo neste ponto colocados os equipamentos experimentais desejados. Mas existem também os *beamholes* onde são montadas guias longas de nêutrons que levam o feixe de nêutrons a um prédio de experimentos, fora do prédio do reator. Estes *beamholes* com as guias de nêutrons são maiores e suas estruturas também são diferentes, uma vez que comportam um número grande de guias.

No reator do RMB serão disponibilizados cinco *beamholes*. Quatro *beamholes* devem ser projetados para guias de nêutrons: dois para guias térmicas e dois para guias frias (“*cold neutron source*”), e cada um com capacidade para receber até 3 guias de nêutrons. O quinto *beamhole* será dedicado à técnica de neutrografia com nêutrons térmicos. As características técnicas de cada *beamhole* (dimensões e posições) deverão ser estabelecidas durante o projeto de concepção e básico do reator. É importante que cada *beamhole* seja tangencial ao núcleo do reator, e que o fluxo de nêutrons térmicos na saída do *beamhole*, fora da blindagem, seja no mínimo da ordem de  $1 \times 10^9$  n/cm<sup>2</sup>.s, valor este que exige um fluxo mínimo da ordem de  $1 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s na posição de tangência do núcleo.

Existem dois espaços para experimentos com feixe de nêutrons. Um espaço chamado de “sala de experimentos”, que contorna a blindagem principal do reator, e outro espaço chamado de “prédio das guias de nêutrons”, onde serão desenvolvidos experimentos que utilizam as guias de nêutrons. O prédio das guias de nêutrons tem a forma retangular, na proporção aproximada de 2x1 ou 2,5x1, onde o lado maior está voltado para a direção das guias de nêutrons, ocupando uma área da ordem de 2000 m<sup>2</sup>. Este prédio possui características construtivas com requisitos de segurança inferiores ao prédio do reator.

O Quadro 9 apresenta uma relação de equipamentos básicos necessários para as pesquisas com os feixes de nêutrons e que podem ser implantados no RMB ao longo de sua vida útil. Nesta tabela estão apontados os equipamentos, o local da sua instalação, a sua aplicação. O Quadro 10 apresenta uma relação de equipamentos básicos que comporão o portfólio inicial para o laboratório de aplicação de feixe de nêutrons do RMB.

**Quadro 9 - Infraestrutura básica.**

| Equipamento   | Localização          | Aplicações   |
|---|----------------------|--|
| Difratômetro de nêutrons de alta resolução para amostras policristalinas (HRPD) | Sala de Experimentos | Determinação e/ou refinamento de estruturas cristalinas e magnéticas, em amostras policristalinas.         |
| Difratômetro de nêutrons para monocristais (SCD)                                | Sala de Experimentos | Determinação e/ou refinamento de estruturas cristalinas e magnéticas, em amostras monocristalinas.         |
| Difratômetro de nêutrons para medidas de tensão residual e textura              | Sala de Experimentos | Determinação de tensão residual e/ou textura em materiais de interesse industrial.                         |
| Espectrômetro de 3 eixos (TAS)  | Sala de Experimentos | Investigação de movimentos coletivos de átomos e dos seus momentos magnéticos em amostras monocristalinas. |
| Espalhamento de baixo ângulo  | Prédio das Guias     | Investigação de estruturas de materiais porosos,   |

| Equipamento  | Localização                  | Aplicações   |
|--|------------------------------|--|
| (SANS)   | de Nêutrons                  | ligas inhomogêneas, polímeros, cerâmicas, domínios magnéticos, etc., na escala de 1 a 100 nm.  |
| Radiografia com nêutrons térmicos(NR)                            | Sala de Experimentos         | Instrumento padrão para inspecionar ou radiografar amostras de materiais hidrogenados (óleos, explosivos, borrachas, água, sangue, adesivos, plásticos) mesmo envoltos em espessas camadas de metais ou materiais altamente radioativos. |
| Radiografia com nêutrons frios(NR)                               | Prédio das Guias de Nêutrons | Idem, podendo, no entanto estar envoltas em camadas bem mais espessas de metais e permite imagens bem mais nítidas da estrutura interna das amostras.  |
| Instalação para irradiação com nêutrons fora do núcleo do reator | Sala de Experimentos         | Desenvolvimento de pesquisas nas áreas: biológica, médica, física das radiações e danos de radiação em equipamentos e componentes eletrônicos.   |
| Análise por gamas prontos obtidos por ativação com nêutrons      | Prédio das Guias de Nêutrons | Análise multielementar quantitativa de elementos principais, menores e traço em amostras dos mais variados campos de aplicação.  |
| Fonte de nêutrons fria   | Núcleo do reator             |  |
| Espectrômetro de tempo de voo (TOF)                              | Sala de Experimentos         | Estudos de dinâmica atômica em materiais policristalinos, vidros ou líquidos.  |
| Ultra SANS   | Prédio das Guias de Nêutrons | Idem ao SANS, porém na escala de 50 nm a 10 $\mu$ m.   |
| Difratômetro de nêutrons para estruturas cristalinas grandes     | Prédio das Guias de Nêutrons | Estudos em monocristais de origem biológica, com celas unitárias muito grandes.  |
| Reflectômetro  | Sala de Experimentos         | Determinação de estruturas de superfícies e multicamadas.  |
| Espectrômetro de 3 eixos para nêutrons frios                     | Prédio das Guias de Nêutrons | Idem ao TAS convencional, porém ideal para transições magnéticas de baixa energia.   |

#### Quadro 10 - Infraestrutura inicial do RMB para feixe de nêutrons

| Feixe de Nêutrons Térmicos       |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Prédio das Guias                 | Sala de Experimentos        |
| Difratômetro de Alta Resolução   | Espectrômetro de Três Eixos |
| Difratômetro de Alta Intensidade | Neutronografia              |
| Difratômetro Laue                |                             |
| Difratômetro de Tensão Residual  |                             |
| Feixe de Nêutrons Frios          |                             |
| Espalhamento de Pequeno Ângulo   | Neutronografia              |
| Análise de Gama Pronto           |                             |

No início do projeto RMB, em 2008, foi realizada uma enquete entre pesquisadores brasileiros de várias instituições sobre seu interesse na utilização de feixe de nêutrons em suas pesquisas/trabalhos. Foram obtidas várias respostas, e o Quadro 11 sintetiza as respostas obtidas, mostrando o grande interesse e importância das técnicas com feixe de nêutrons.

**Quadro 11 - Exemplos sobre utilização de feixe de nêutrons obtidos com pesquisadores brasileiros**

| Interesse  |
|--|
| Espalhamento de nêutrons em baixos ângulos (SANS), para estudar estruturas contendo partículas de dimensões nanométricas, além de acompanhar a evolução de "clusters" destas partículas.   |
| Espalhamento inelástico de nêutrons para servir à comunidade de espectroscopia vibracional dentro do Brasil. Com o avanço dos métodos computacionais, existem cada vez mais grupos no Brasil que realizam cálculos de relações de dispersão, o que daria origem a uma interação teórico-experimental frutífera.                                    |
| Difração de nêutrons para estudos com novos materiais magnéticos.  |
| Difração de nêutrons.  |
| Análises por ativação de nêutrons para determinação de pequenas quantidades (parte por milhão) de tântalo e tungstênio em nióbio e de háfnio em zircônio, necessárias para se caracterizar quimicamente o nióbio e o zircônio obtidos nas células de refino por eletrólise em meio de sais fundidos.   |
| Medidas de tensões residuais em componentes e materiais estruturais utilizados nas indústrias automotiva, de óleo e gás, nuclear, etc.   |
| Difração de nêutrons para estudos de ordem local em materiais amorfos.   |
| Difração de nêutrons para estudos da estrutura de ligas metálicas modificadas com plasma de N, C, e O e revestimentos duros por PVD. Aplicações na indústria metal-mecânica.   |
| Difração de nêutrons para determinação de estruturas magnéticas (magnitude e direção do momento magnético em cada átomo) em materiais ferromagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos.  |
| Espectrômetro de 3 eixos para o estudo de ordem e excitações magnéticas, bem como um difratômetro de pó de alta resolução, ambos equipados com facilidades de baixas temperaturas e altos campos magnéticos.   |
| Difração de nêutrons para o estudo de células a combustível, em especial as de membrana. Um dos problemas na célula e na membrana é um eficiente gerenciamento da água, que pode ser acompanhado por técnicas de difração de nêutrons.   |
| Espalhamento de nêutrons, para estudar distribuição de tamanhos de partículas nanométricas precipitadas em ligas metálicas, útil no desenvolvimento de novos aços e ligas de alumínio e no estudo de caráter mais fundamental para explicar e modelar os aços e ligas atualmente existentes.   |
| Difratômetro de nêutrons para monocristal, para estudos estruturais de rotina e de espalhamento difuso, assim como o estudo de propriedades magnéticas.  |
| Difração de nêutrons para o desenvolvimento de células de altas pressões hidrostáticas.  |
| Difração de nêutrons em função da temperatura para estudar configuração de momentos magnéticos em boratos de metais de transição "3d".   |
| Difração de nêutrons.  |
| Difração de nêutrons para identificação e caracterização de óxidos de ferro magnéticos, sintéticos e naturais, como os de solos desenvolvidos de rochas máficas, que formam pedodominios de grande potencialidade agrícola, e não-máficas, como em áreas de mineração de ferro e em litologia de pedra-sabão, do estado de MG.                     |
| Difração de nêutrons para caracterização de materiais cristalinos.   |
| Difração de nêutrons para estudos em materiais amorfos, objetivando determinação da estrutura local amorfa usando simulações de Monte Carlo reverso.   |
| Difração de nêutrons para determinação das propriedades cristalográficas de materiais emissores de luz.  |
| Técnicas de difratometria de nêutrons aplicadas ao estudo de policristais, particularmente alguns compostos magnetocalóricos, assim como, óxidos semicondutores de óxido de Ce dopados com terras raras, e a difração múltipla utilizando nêutrons, cujos resultados devem complementar as informações obtidas com a difração múltipla de raios-X. |
| Difração de nêutrons para o estudo do ferromagnetismo em nanopartículas de metais de transição obtidas pelo método de precipitação.  |
| Difração de nêutrons para implementação de célula de pressão hidrostática para investigação de óxidos metálicos e compostos orgânicos.   |
| Ativação por nêutrons para pesquisas com materiais geológicos em amostras para datação pelo método Argônio.  |
| Difração de nêutrons para caracterização de amostras de materiais magnéticos.  |
| Espectrômetro de 3 eixos para obtenção da curva de dispersão de fonons para poder complementar e corroborar resultados obtidos por espalhamento inelástico de luz (Raman) na caracterização de novos materiais.  |
| Espalhamento de nêutrons a baixos ângulos em sistemas de relevância biológica com o uso de técnicas de   |

| Interesse  |
|--|
| refletividade (ângulo rasante). Estas técnicas associadas com contraste (trocas proporcionais de água por água pesada) podem oferecer, por exemplo, informações importantes de estados conformacionais de proteínas em solução, processo de hidratação, enovelamento e desenovelamento de proteínas. |
| Difração de nêutrons aplicada a compostos cerâmicos contendo vários elementos de terras raras e outros elementos difíceis de identificação quantitativa por DRX ou difração de elétrons.   |
| Difração de nêutrons e também espalhamento a baixo ângulo para estudo de materiais poliméricos naturais e sintéticos.  |
| Estudo dos efeitos das radiações em biologia e medicina  |
| Efeito das radiações em parasitas e em proteínas de venenos de serpentes brasileiras   |

No Brasil o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) pertencente ao Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM) (<http://lnls.cnpem.br>), localizado em Campinas, SP, possui um acelerador de partículas (síncrotron) usado como fonte de luz, projetado e construído no Brasil, pioneiro desse gênero no Hemisfério Sul. O LNLS possui 15 linhas de feixe de luz síncrotron, a disposição da comunidade científica brasileira (e internacional), variando sua energia de alguns elétron Volts até dezenas de milhar de elétron Volts.

Metade das linhas de feixes são dedicadas a estudos estruturais de materiais e organizadas em difração de raio-X, cristalografia de macromoléculas, e espalhamento de pequeno ângulo de Raio-X. A outra metade das linhas de feixe são dedicadas a espectroscopia de materiais, havendo dois grupos de linhas: espectroscopia de Fluorescência e Absorção de Raio X, e Spectroscopia de UV e Raio-X de baixa energia. O LNLS possui uma comunidade cadastrada de mais de 2000 usuários. Hoje o LNLS está projetando um laboratório maior (Sirius) com uma fonte melhor e melhores linhas de pesquisa que as atualmente existentes.

A técnica de utilização de feixe de nêutrons para pesquisa em materiais é complementar à utilização de luz síncrotron. Neste sentido é proposta que o Laboratório de Feixe de Nêutrons do RMB seja funcionalmente complementar ao LNLS. Para isto ocorrer, o Laboratório de Feixe de Nêutrons deverá ser operado pelo CNPEM em parceria com a CNEN. Isto permite, de imediato, estender a todos os usuários do LNLS as instalações do RMB. Isto será uma forma otimizada, para a sociedade de pesquisa do Brasil e para o Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), já que os dois órgãos, CNEN e CNPEM, são ligados ao MCTI.

#### 4.2.3.1 Outras aplicações com nêutrons produzidos no reator nuclear de pesquisa

A análise por ativação neutrônica (AAN) é um método de análise química multielementar, caracterizado por alta precisão, exatidão e sensibilidade e por sua capacidade multidisciplinar, podendo ser aplicada a uma diversidade muito grande de campos de pesquisa, tais como: geologia, arqueologia, biologia, medicina, meio ambiente, indústria, nutrição, agropecuária e outras. Trata-se de uma das aplicações relevantes dos reatores nucleares de pesquisa, a nível mundial. O método baseia-se na interação de isótopos estáveis com nêutrons, por meio de reações nucleares, produzindo-se isótopos radioativos cujas radiações emitidas são analisadas por equipamentos adequados, na maior parte dos casos espectrômetros de raios gama.

A principal reação nuclear para a AAN é a reação  $(n, \gamma)$  e por isso, na maior parte dos casos, são realizadas irradiações com nêutrons de baixa energia nas proximidades do núcleo ou do refletor. O ideal é disponibilizar posições de irradiação com fluxos tipicamente entre  $10^{11}$  a  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s, e nêutrons bem termalizados, ou seja nêutrons com baixa energia cinética. Pode-se lançar mão também de irradiações com nêutrons epitérmicos, que favorecem particularmente as análises de alguns elementos, como o urânio e os elementos do grupo dos lantanídeos ou elementos terras raras. Atualmente essas análises são realizadas no IPEN com as amostras envoltas em cápsulas de cádmio (absorvedor de nêutrons térmicos), mas é possível viabilizar a existência de posições de irradiação no reator envoltas em cádmio.

Quando são realizadas irradiações curtas, para determinar isótopos de meias-vidas curtas, tipicamente de alguns segundos a minutos, é indispensável a construção de estações pneumáticas de irradiação, para transportar as amostras dos laboratórios às posições de irradiação. No RMB serão instaladas estações pneumáticas com tempo de trânsito de 10 segundos, mas também uma estação ultrarrápida com tempo inferior a 10 segundos, para permitir a análise de elementos que originam radioisótopos de meias-vidas muito curtas, como o selênio e o flúor. Existirão também no RMB estações pneumáticas para transporte de amostras irradiadas no núcleo (irradiações longas) para os laboratórios de preparação de amostras antes das medidas de radioatividade. Outro arranjo experimental importante é o sistema de medida de nêutrons atrasados (*“delayed-neutrons”*) de fissão, que permite análises muito rápidas de urânio e tório. Esse tipo de sistema pode ser automatizado e tem sido utilizado em muitos países em programas de prospecção de urânio, pois centenas de amostras podem ser analisadas por dia sem muita dificuldade.

Uma alternativa ao método tradicional de AAN que tem sido utilizada em reatores de vários países é a PGAA (*“Prompt Gamma Activation Analysis”*), que abre a possibilidade de determinar elementos não favoráveis para a AAN, tais como hidrogênio, carbono, silício, fósforo, enxofre. O arranjo para PGAA situa-se nas proximidades da saída do beamhole.

As seguintes instalações associadas estarão disponíveis para dar apoio aos trabalhos de análise por ativação neutrônica: (i) laboratórios de radioquímica, para trabalhos com diferentes níveis de radioatividade; (ii) laboratórios químicos, para processamento de amostras e padrões; laboratórios para espectrometria de raios-gama; células quentes para manipulação de amostras irradiadas. Esse conjunto de instalações compõe um grande laboratório designado como Laboratório de Radioquímica. Ele será uma instalação ampliada e modernizada em relação ao laboratório hoje existente no IPEN.

É intenção do Empreendimento RMB que, da mesma forma que o Laboratório de Feixe de Nêutrons, o Laboratório de Radioquímica do RMB seja uma instalação aberta à comunidade científica nacional em suporte a pesquisas científico-tecnológicas e inovação, utilizando da mesma forma de gestão de um laboratório multiusuário.

#### 4.2.4 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Como mencionado anteriormente, o RMB é visto como um empreendimento estruturante e de arraste tecnológico para o setor nuclear, e de importância fundamental para viabilizar objetivos estratégicos do país referente ao programa nuclear brasileiro em atendimento às necessidades da sociedade. Um exemplo disto é o “ciclo social do combustível nuclear”, onde o urânio da mina é extraído, concentrado, transformado em gás, enriquecido, transformado em combustível e alvos, irradiados no RMB, processados para extração do molibdênio-99 e iodo-131, transformados em radiofármacos e utilizados por milhões de brasileiros em clínicas e hospitais do país. Em todo esse ciclo existem competência e tecnologia nacional que devem ser mantidas, aprimoradas e utilizadas.

Com relação à formação de RH, um dos objetivos estratégicos da política nuclear vigente é de implantar programa de formação especializada do setor nuclear, envolvendo universidades e centros tecnológicos, voltados para os segmentos de pesquisa avançada, desenvolvimento tecnológico e indústria nuclear.

Portanto, um dos objetivos esperados do RMB é a disponibilização de uma instalação de pesquisa de ponta na América Latina, podendo servir de pólo de integração regional de pesquisa científica e tecnológica e formação de RH.

Como apresentado nos itens anteriores dos objetivos específicos do Empreendimento RMB, várias instalações serão construídas no Empreendimento permitindo vislumbrar este papel de indutor de desenvolvimento em C&T&I.

O Empreendimento RMB em conjunto às instalações do CTMSP em ARAMAR constituirão o maior pólo de tecnologia nuclear do país, pois haverá dois reatores nucleares (o de pesquisa - RMB e o de teste - LABGENE do CTMSP) e toda uma importante infraestrutura laboratorial de tecnologia nuclear.

No sítio do RMB está prevista ser implantada toda uma infraestrutura de engenharia e operação (energia, água, viário, saneamento, ambiental, segurança, administração, etc.) que permitirá não só a operação do RMB em si, mas também instalações de outros empreendimentos na área de C&T&I de atribuição da CNEN. Podem-se antever instalações no sítio do RMB como o laboratório de fusão Nuclear (LFN), laboratório com aceleradores de partículas, laboratório de lasers de alta potência, podendo também receber laboratórios mais modernos para a fabricação dos radiofármacos (que hoje estão no IPEN em São Paulo), entre outros.

No sítio do RMB já estão sendo previstas instalações de apoio à formação de RH e C&T&I como auditório, salas de aula, centro de treinamento, biblioteca, centro de exposições para visitantes, pequeno hotel para pesquisadores, e prédio apropriado para receber pesquisadores e tecnólogos. Da mesma forma que as unidades da CNEN, é esperado o estabelecimento de uma pós-graduação local para formação de pesquisadores e tecnólogos nas várias áreas técnicas existentes no Empreendimento.

Um empreendimento da envergadura e duração do RMB traz junto uma série de outras atividades que abrirão novas fontes de emprego para mão de obra de nível superior e médio, em um processo de crescimento que acabará por envolver milhares de pessoas que contribuirão para o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico do país.

### 4.3 JUSTIFICATIVAS DO EMPREENDIMENTO

#### 4.3.1 JUSTIFICATIVAS ESTRATÉGICAS

Repetem-se aqui as justificativas apresentadas no item 4.1.4. Resumindo, a proposta de construção de um reator nuclear de pesquisa, no caso, o Reator Multipropósito Brasileiro-RMB, objeto deste estudo, indica que:

- Este será o maior reator de pesquisas do país e terá uma infraestrutura laboratorial associada com a capacidade de atender estrategicamente o Programa Nuclear Brasileiro nas suas várias vertentes;
- Com a construção do reator, garante-se autonomia e soberania no fornecimento do Tc-99m à classe médica, no atendimento pleno da demanda da população brasileira, com possibilidade de exportar a produção excedente;
- Permitirá ainda que o Brasil nacionalize praticamente todos os radioisótopos produzidos em reatores que hoje são importados, e não apenas os usados para diagnósticos, mas também os que são empregados em radioterapia, e para aplicações industriais;
- O RMB será utilizado na realização de testes de irradiação de materiais e combustíveis, item essencial de suporte ao desenvolvimento autônomo de tecnologia nuclear na área de reatores de potência;
- Esse projeto contribuirá para o desenvolvimento de uma infraestrutura científica e tecnológica na utilização de feixe de nêutrons para a comunidade de pesquisa brasileira;
- Também será uma importante ferramenta para a formação de recursos humanos no setor nuclear, o que é de grande importância estratégica para o país.

A proposta de construção e operação do Reator Nuclear Multipropósito Brasileiro (RMB) foi estabelecida inicialmente em 2007 como meta do Plano de Ação em Ciência Tecnologia e Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI (Linha de Ação 18 do PACTI 2007 – 2010). O RMB foi considerado um empreendimento de arraste tecnológico e de organização para o setor nuclear, de importância fundamental para viabilizar objetivos estratégicos do país.

As atividades relativas ao Programa Nuclear Brasileiro foram ratificadas e inseridas, como mencionado no item 4.1 deste documento, no PPA 2012-2015 em três Programas

Temáticos: Energia Elétrica, Defesa Nacional e Política Nuclear. Particularmente, no Programa Política Nuclear, de responsabilidade do Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação, estão inseridas todas as ações da CNEN. A CNEN, como autarquia federal subordinada ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, tem a função de estado de executar a política nuclear como estabelecida no PPA 2012-2015.

O Empreendimento RMB foi submetido pela CNEN à Câmara Técnica de Projetos de Grande Vulto da Comissão de Monitoramento e Avaliação do Plano Plurianual da Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, do Ministério do Planejamento, obtendo parecer favorável à sua viabilidade socioeconômica, conforme Resolução N.10, de 1 de março de 2011 (DOU N.56, seção 1, 23/03/2011). O Empreendimento RMB está contemplado no PPA 2012-2015 na Ação 12P1.

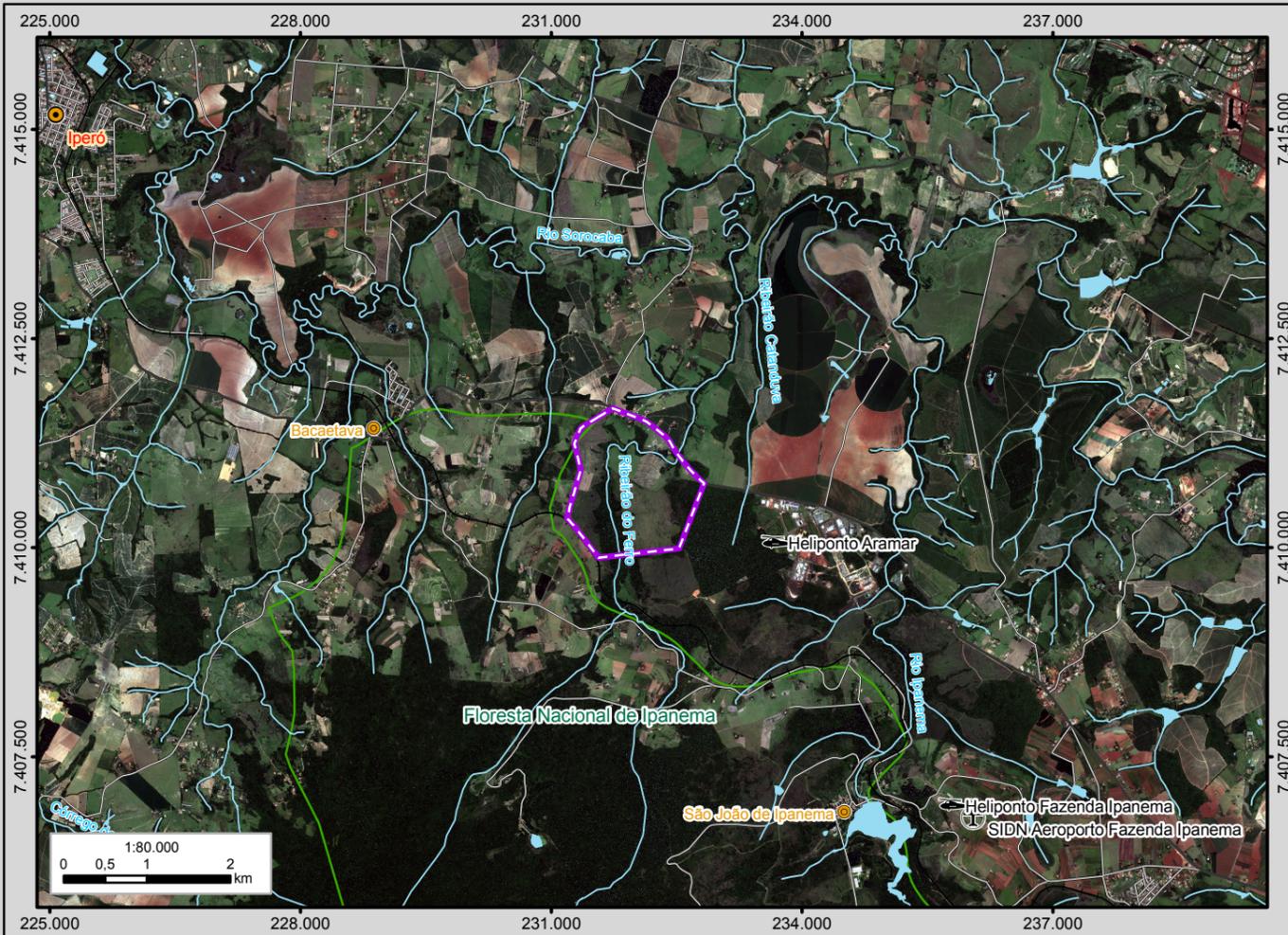
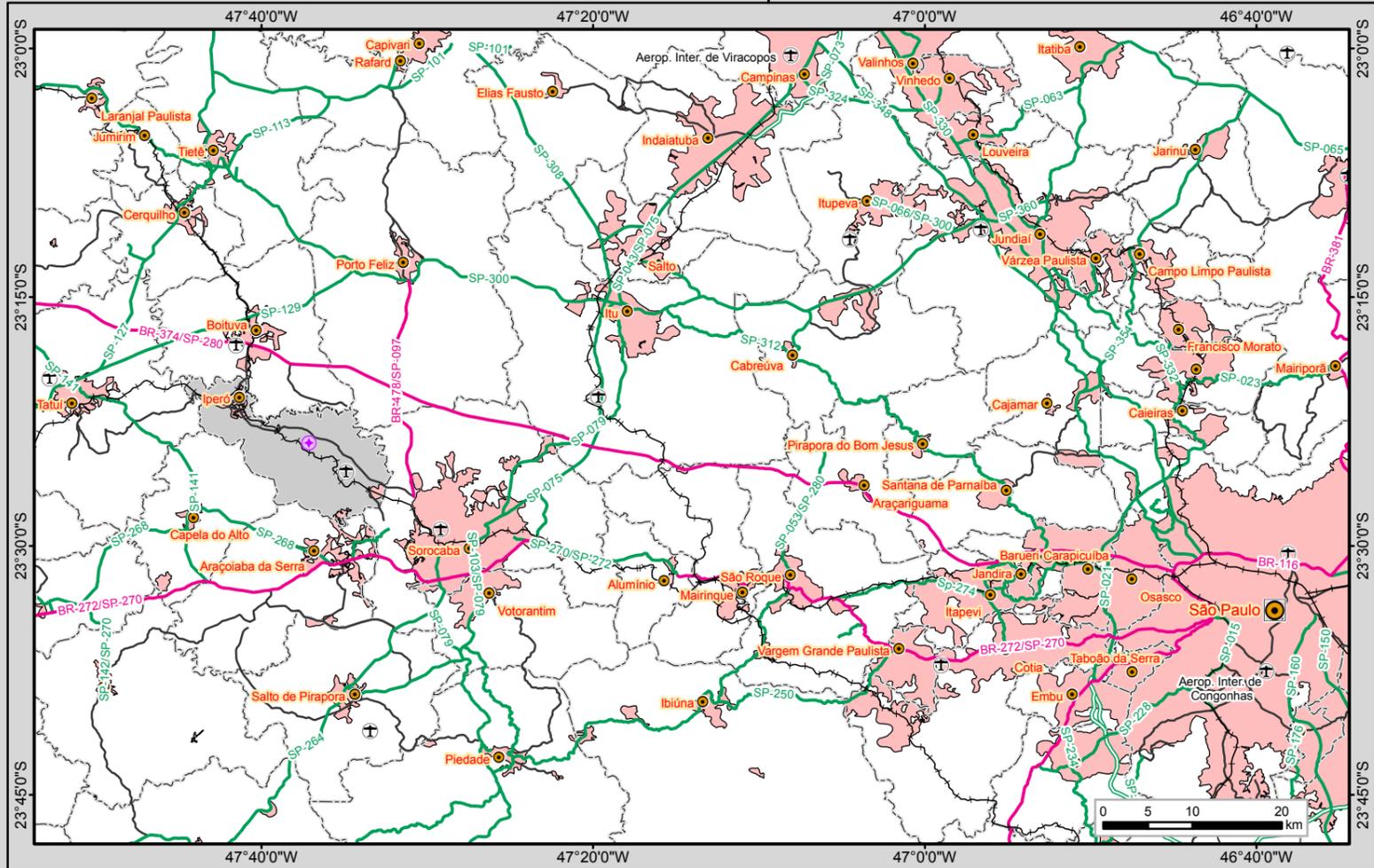
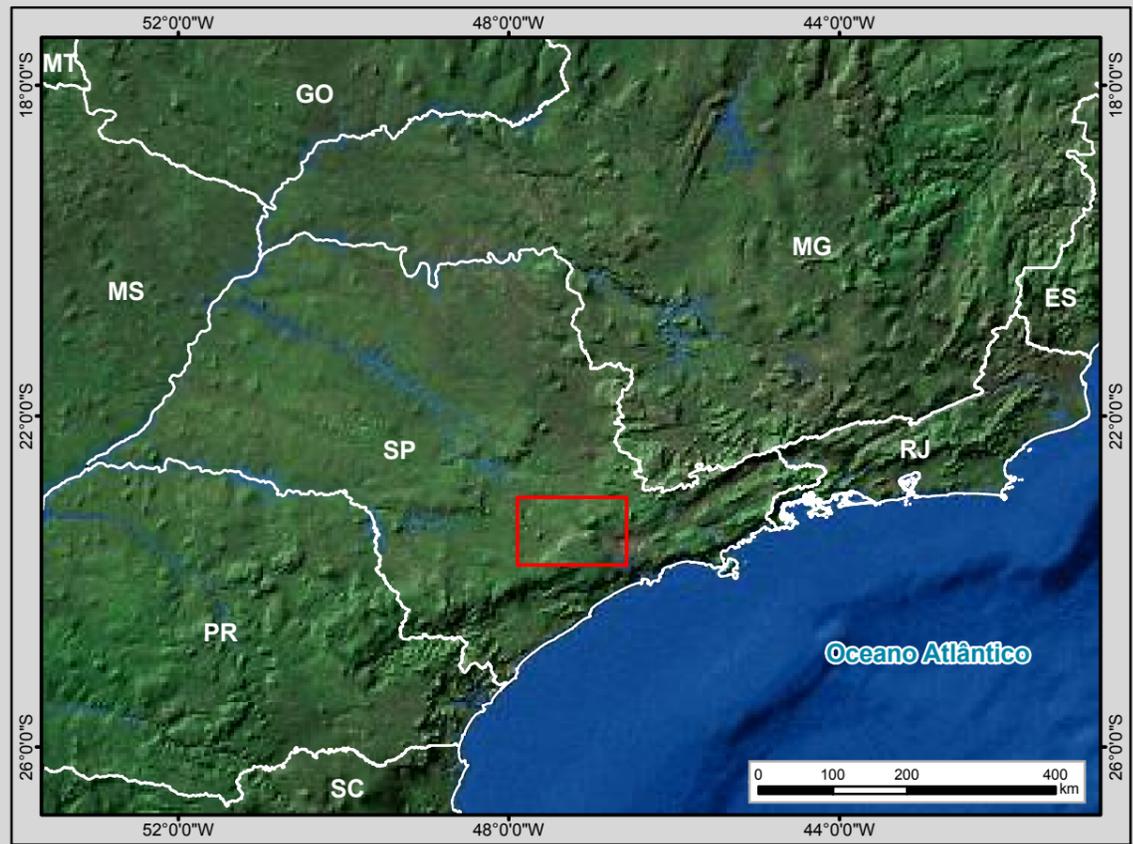
#### 4.3.2 PROPOSTA LOCACIONAL

O empreendimento e toda a infraestrutura e instalações associadas serão locadas no município de Iperó, estado de São Paulo. Situado nas coordenadas 23° 23' 33,5" Sul e 47° 37' 12,4" oeste, está localizado na altura do quilômetro 10 da Rodovia Municipal Bacaetava – Sorocaba, distante em aproximadamente 125 km do centro da cidade de São Paulo (Mapa 1).

Trata-se de platô a 580 metros acima do nível do mar, ocupando uma área total de aproximadamente 200 hectares. Essa área é contígua ao Centro Experimental Aramar (CEA), local este onde é desenvolvida parte do Programa de Desenvolvimento de Propulsão Nuclear, operado pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP). Importante esclarecer que destes 200 hectares, 121 hectares foram cedidos pelo CTMSP à CNEN e o restante encontra-se em processo de desapropriação pelo Governo do Estado de São Paulo, conforme decreto N. 58710 de 14 de dezembro de 2012, para posterior cessão de uso à CNEN.

Embora esteja no mesmo sítio, o Empreendimento se constituirá de uma área separada do CTMSP, com acesso exclusivo e de controle total da CNEN. A Certidão de Uso do Solo fornecida pela Prefeitura de Iperó encontra-se no ANEXO II.

A justificativa para a área escolhida baseia-se em condições consideradas favoráveis e imprescindíveis ao empreendimento e que serão apresentadas abaixo.



**Legenda**

- Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)
- Vila
- Cidade
- Aeroporto
- Campo de Pouso
- Heliporto
- Curso d'água
- Massa d'água
- Unidades de Conservação Federais - ICMBio (Agosto, 2011)

**Sistema Viário**

- Ferrovia Existente

**Rodovia Municipal**

- Pavimentada
- Não Pavimentada

**Legenda**

- Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)
- Cidade
- Capital Estadual
- Aeroporto
- Área Edificada
- Município de Iperó
- Limite Municipal

**Sistema Viário**

- Ferrovia Existente

**Rodovia Federal**

- Pavimentada

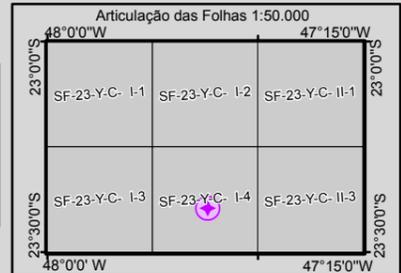
**Rodovia Estadual**

- Pavimentada
- Não Pavimentada

**Rodovia Municipal**

- Pavimentada

Escala numérica em impressão A3  
 Projeção UTM  
 Datum Horizontal SIRGAS 2000  
 Zona 23 K



**Identificação do Projeto**  
 EIA/RIMA do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)

**Título do Mapa**  
 Mapa 1 - Localização do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)

**Empreendedor**  
 CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Responsável Técnico</b> | <b>Data:</b> Maio/2013   |
| MRS                        | <b>Fonte:</b>  |
| Estudos Ambientais         | Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo (IBGE, 2010)<br>Mapeamento Sistemático Base Vetorial Contínua, 1:250.000, Área 3/2009<br>Lote 2 (IBGE, 2009); Imagem Orbital Worldview2, Composição das Bandas R3, G2, B1, Resolução Espacial 0,5 m, Data da Passagem: 21/12/2011 |

#### 4.3.2.1 Justificativa Locacional

Um reator nuclear de pesquisa normalmente faz parte de um complexo tecnológico onde estão operando diversas instalações de pesquisa e recursos humanos especializados que utilizam direta ou indiretamente o reator. No caso histórico do Brasil, para reatores de pesquisa, estes inicialmente se localizaram dentro dos campi das universidades, gerando centros de pesquisas nucleares, que hoje são as unidades de pesquisa da CNEN.

Estas instalações são pólo de atração de desenvolvimento em C&T&I onde recursos humanos de alta capacidade técnica é insumo fundamental. Particularmente à função de produção de radioisótopos para aplicação na medicina, é conveniente que o reator e seus laboratórios se situem próximo ao centro processador de radiofármacos, que no caso do Brasil, se localiza em São Paulo, no IPEN, unidade de pesquisa da CNEN. Deve-se realçar que este reator de pesquisa será instalação única no país, não se prevendo aqui no Brasil, como ocorreu em outros países nuclearmente desenvolvidos, a duplicação de novas instalações com porte maior ou igual ao proposto ao RMB.

Devido à característica de segurança inerente dos reatores de pesquisa, estes podem estar próximos a grandes centros, desde que sua potência assim o permita. Com relação a esta limitação de área ao redor do Empreendimento, ou mais especificamente à Zona de Planejamento de Emergência - ZPE, a norma ANSI/ANS-15.16 – *Emergency Planning of Research Reactors* – 2008 sugere um raio de referência ao redor do Empreendimento de 800 metros para reatores do porte do RMB (entre 20 e 50 MW). É conveniente que esta área esteja dentro do próprio sítio do Empreendimento, evitando assim estender a ZPE para outro público que não aquele ligado à operação do Empreendimento.

Por se tratar de instalação nuclear, o Empreendimento RMB está sujeito ao monopólio da União, o que significa que, pela regulamentação atual, a implantação e a operação do RMB têm de estar a cargo da CNEN.

A escolha do local para instalação do RMB procurou atender, de forma resumida, aos seguintes requisitos principais:

- Ter área suficiente para que a Zona de Planejamento de Emergência (ZPE) fique dentro dos limites do sítio escolhido. No caso específico do RMB (potência superior a 20 MW) é um raio de 800 metros, o que requer uma extensão de 1.600 metros em cada dimensão do sítio. Este sítio deve ficar fora de grandes centros populacionais.
- Estar próximo aos laboratórios de fabricação de radiofármacos (IPEN/CNEN-SP) de forma a minimizar as perdas de atividade dos radioisótopos devido ao decaimento radioativo durante transporte.
- Estar próximo a boas rodovias de acesso e proximidade de aeroporto para envio de material radioativo aos vários pontos do país ou mesmo ao exterior.

- Apresentar boas condições de acesso aos pesquisadores de instituições nacionais propiciando a utilização do RMB de modo intenso.
- Estar próximo a centros de tecnologia e indústrias avançadas de forma a facilitar o intercâmbio técnico e o suprimento de insumos ao reator.

Independentemente da conveniência do empreendimento estar dentro de um centro de pesquisa existente, todas as características técnicas, ambientais e de engenharia do local devem ser atendidas.

Capacidade das unidades da CNEN em sediar o empreendimento

A CNEN possui as seguintes unidades de pesquisa que operam reatores nucleares de pesquisa em seu sítio: IPEN em São Paulo, CDTN em Belo Horizonte, e IEN no Rio de Janeiro. Além dessas unidades, outras unidades que poderiam eventualmente sediar o Empreendimento RMB são o CRCN-NE em Recife e o IRD no Rio de Janeiro.

Nenhuma das unidades da CNEN possui a área necessária e suficiente para a instalação deste empreendimento uma vez que estas se encontram em centros urbanos, densamente povoados, o que além de dificultar o licenciamento do local também dificultaria e/ou inviabilizaria a implantação de um Plano de Emergência num raio de 800 metros, recomendado para este tipo de empreendimento.

Em vista do exposto, um novo sítio, fora das unidades da CNEN, deverá ser utilizado para abrigar o Empreendimento RMB.

#### 4.3.2.1.1 Sítios nucleares existentes

Outros sítios nucleares existentes no Brasil, como o sítio de Angra dos Reis (Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA), o sítio da INB (Indústrias Nucleares do Brasil) em Resende, e o centro Experimental ARAMAR do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), em Iperó, São Paulo, poderiam ser opção para localização do empreendimento.

Tanto o sítio de Angra dos Reis pertencente à Eletronuclear, como o de Resende, pertencente à INB, tecnicamente poderiam atender a implantação do reator. No entanto, o escopo mais científico do empreendimento RMB não seria atendido nestes sítios devido à característica industrial desenvolvida. Haveria necessidade de separação física dentro do sítio. Além disto, suas localizações, longe de centros tecnológicos mais densos, dificultariam o uso do Empreendimento por uma comunidade científica nacional. Também estaria longe do processador de radiofármacos (IPEN em São Paulo).

O sítio de ARAMAR, do CTMSP, por sua vez é um sítio licenciado para receber instalações experimentais do ciclo do combustível e o reator LABGENE, reator de teste para a propulsão nuclear. Este sítio localizado próximo a grandes centros tecnológicos (São Paulo, Campinas, Sorocaba), possui as condições necessárias que atendem as necessidades do Empreendimento RMB.

#### 4.3.2.1.2 Justificativas sobre a escolha da área do Centro Experimental de ARAMAR

Em vista dos requisitos apresentados acima (item 4.3.2.1.1), a CNEN/MCTI, juntamente com o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo – CTMSP da Marinha do Brasil, definiu o sítio do Centro Experimental Aramar, em Iperó, São Paulo, como local para a instalação do RMB. A justificativa para essa escolha se baseia nas seguintes principais condições favoráveis apresentadas por esse local:

- É um sítio com instalações nucleares que incluem um reator nuclear de potência de teste para propulsão (LABGENE) e instalações do ciclo do combustível nuclear;
- O sítio possui dimensões apropriadas, e fora de região densamente povoada, tendo o raio de exclusão necessário de 800 metros para a ZPE;
- O sítio já previa a instalação de um reator de teste de materiais (Reator RETEMA) que deixará de ser construído com a existência do RMB;
- O sítio já possui EIA/RIMA executado, licença ambiental, audiências públicas executadas, laboratórios de monitoração ambiental, dados históricos, etc. Isto auxiliará bastante os aspectos de licenciamento do Empreendimento RMB;
- Da mesma forma que o licenciamento ambiental, o licenciamento nuclear será facilitado no aspecto de aprovação de local, já que há todo um trabalho em execução para licenciamento do LABGENE e que pode ser também utilizado em apoio ao Empreendimento RMB;
- O CTMSP tem realizado um programa de informação com a comunidade local, já existindo aceitação favorável com relação às atividades e instalações nucleares;
- O sítio de ARAMAR, em Iperó, próximo a Sorocaba, fica a 120 km do IPEN/CNEN-SP, com ligação através de boas rodovias. Também fica próximo ao aeroporto de Viracopos, em Campinas, o que facilita os aspectos de transporte de radioisótopos;
- A localização próxima às cidades de Sorocaba, Campinas e São Paulo, posiciona o sítio em um local próximo a centros de tecnologia e indústrias avançadas, bem como a importantes centros universitários do país;
- O Centro Experimental de ARAMAR possui infraestrutura de energia elétrica, produção de água, plano diretor estabelecido, arruamento interno, oficinas de apoio, proteção física e patrimonial, etc. Isto facilitará o início de construção do RMB, até que uma infraestrutura própria seja criada.
- Outra situação que pode ser considerada como estratégica é que existe a possibilidade do Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM) e seu Laboratório Nacional de Luz Síncroton (LNLS), localizado em Campinas, trabalhar em conjunto com o RMB através da operação do

Laboratório de Feixe de Nêutrons. Dessa forma, uma maior proximidade desses empreendimentos facilitará esse vínculo.

- O terreno tem área suficiente para implantação de novas instalações de pesquisa, possibilitando, no futuro, maior crescimento de pesquisa de ponta na área nuclear. Instalações de ponta para o país, tais como laboratório de plasma para estudo de fusão nuclear, grandes aceleradores para pesquisa e produção de radioisótopos, laboratórios de laser de alta potência, entre outros, poderão utilizar o sítio proposto.

Deverá ser criada uma área específica de propriedade da CNEN para as instalações do RMB e de toda a infraestrutura necessária. Esta área deverá ser independente da Marinha, caracterizando-se como uma instalação civil, de propriedade da CNEN/MCTI.

A Figura 14 apresenta uma vista aérea da área do CTMSP-ARAMAR com 3 posições inicialmente estudadas para instalar o RMB.



Figura 14 - Sítio de Aramar, com as três posições analisadas para instalar o RMB (imagem *Google Earth*).

A análise dos pontos favoráveis e desfavoráveis relativos a cada uma dessas 3 posições está apresentada no Quadro 12. O local escolhido foi a posição 3.

Quadro 12 - Características dos locais analisados para instalar o RMB

| Localização | Pontos Favoráveis  | Pontos Desfavoráveis  |
|-------------|--|---|
| Posição 1   | Possui rocha aflorando.<br>Próximo à toda infraestrutura hoje existente no sítio: água, energia elétrica, torre meteorológica, arruamento, etc.<br>800 m de raio de exclusão fica dentro do sítio do | Difícil para alocar uma área independente do CTMSP para a CNEN.<br>Possui pouco espaço para expansão futura.<br>Raio de exclusão de 800m interfere com o LABGENE. |

| Localização | Pontos Favoráveis  | Pontos Desfavoráveis   |
|-------------|--|--|
|             | CTMSP.   |  |
| Posição 2   | <p>É uma área mais independente.<br/>Possui espaço para expansão futura.<br/>Está relativamente próxima da infraestrutura do sítio.</p>  | <p>800 m de raio de exclusão fica fora do sítio do CTMSP.<br/><br/>Haveria necessidade de adquirir área adicional e movimentar a estrada municipal.</p>              |
| Posição 3   | <p>É uma área mais independente.<br/>Possui espaço para expansão futura.<br/>Ideal para uma área exclusiva da CNEN.<br/>800 m de raio de exclusão fica dentro do sítio de ARAMAR<br/><br/>Possui característica geológica idêntica à posição 1<br/><br/>Possui um córrego que pode ser aproveitado para fornecimento de água (eventual).</p> | <p>Deve ser adquirida ou desapropriada a parte ao norte, não pertencente ao CTMSP.<br/><br/>Um pouco mais distante da infraestrutura existente do sítio do CTMSP</p> |

#### 4.3.2.1.3 Aspectos Econômicos, Sociais, e Ambientais da Região Seleccionada.

Conforme apontado no item 1 – Apresentação, do Termo de Referência (TR) do Processo IBAMA (02001.007021/2010-51) para este EIA/RIMA, deverá ser levado em conta o fato de que a localização proposta para o empreendimento está situada em fração da área original do Centro Experimental de Aramar (CEA), a qual foi cedida pela Marinha do Brasil à CNEN. O CEA possui licença ambiental de instalação/operação das instalações nucleares junto ao IBAMA. Desta forma, o TR propõe utilizar dados primários e atualizar, quando necessário, as informações contidas no EIA/RIMA do CEA.

A área escolhida, dentro do sítio de ARAMAR, é parte de um sítio nuclear que já passou por um estudo prévio de análise de alternativa locacional e também uma área já licenciada pelo IBAMA (à época do licenciamento de Aramar).

A disponibilidade de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) elaborado e de um Plano Básico Ambiental (PBA) em execução pelo CEA demonstram a viabilidade de uso socioambiental da área. Assim, trata-se de região com dados ambientais históricos, podendo prover o Estudo de Impacto Ambiental do RMB com dados bem consolidados. É importante lembrar que na escolha de ARAMAR levou-se também em conta a proximidade com o IPEN, em São Paulo, onde estão os laboratórios que deram origem ao CTMSP e onde foram desenvolvidos os estudos laboratoriais da tecnologia do enriquecimento isotópico de urânio, a tecnologia de reatores e as instalações do ciclo do combustível nuclear.

As justificativas apresentadas quando da instalação de Aramar, conforme explicitado no EIA do CEA elaborado pela empresa Multiservice (revisão final 1997), cujos critérios são apresentados a seguir, também se aplicam como justificativa ao RMB.

#### **i) Para seleção de áreas potenciais:**

Disponibilidade localizada de universidades capacitadas, centros de pesquisa e parques industriais tecnologicamente evoluídos. Como resultado teve-se a seleção do Estado de São

Paulo, uma vez que o estado, além de ser o maior parque industrial do país, também aloja centros de pesquisas onde são desenvolvidas tecnologias relativas à área nuclear.

**ii) Para seleção de regiões potenciais:**

Aplicou-se o critério acima, em conjunto com os de distância dos centros de interesse, disponibilidade de terra, tipos de terrenos, estabilidade geológica, desenvolvimento socioeconômico e facilidades de acesso. Na primeira análise dos critérios, foram excluídas as áreas litorâneas e a região metropolitana de São Paulo (muito densas) e o interior de São Paulo (muito distante). Assim foram eleitas três regiões: Campinas, Vale do Paraíba e Sorocaba.

Ao fazer uma análise comparativa entre estas três regiões aplicando-se apenas critérios socioeconômicos e sismológicos, apontou-se a região de Sorocaba como a mais favorável.

**iii) Para seleção de sub-regiões potenciais:**

Foram realizados estudos detalhados acerca dos seguintes indicadores: demográficos; geológicos; hidrológicos; meteorológicos; sismológicos; localização de fontes de energia elétrica e linhas de transmissão; localização de matérias primas, componentes e fontes de suprimento; disponibilidade de transporte rodoviário e ferroviário; disponibilidade de água; comprometimento dos recursos naturais para a preparação do local e construção das instalações, incluindo, mas não se restringindo, à destruição ou redução dos habitat da vida selvagem, flora, florestas; custo de preparação do sítio e construção da planta industrial; custo de operação, incluindo oferta de mão de obra, níveis salariais vigentes na região e outros custos periódicos ou não; disponibilidade de serviços municipais e atendimento de serviços à população tais como saúde, educação e habitação; exigências quanto à realocação de casas e famílias; e uso do solo atual e previsto.

Na análise de necessidades do empreendimento e minimização dos impactos negativos culminou-se na seleção de sete sub-regiões potenciais:

- Sub-região 1 – Tietê;
- Sub-região 2 – Boituva;
- Sub-região 3 – Iperó;
- Sub-região 4 – Sorocaba A e B;
- Sub-região 5 – Porto Feliz;
- Sub-região 6 – Indaiatuba; e
- Sub-região 7 – Salto.

Em avaliação dessas sub-regiões com relação ao estado de ocupação e uso do solo, confirmação de recursos hídricos e de energia elétrica, estado de conservação dos acessos, entre outros, ocorreu a exclusão das sub-regiões 2, 4A, 4B, 5 e 6. A exclusão dessas áreas foi justificada por possuírem seus arredores intensamente ocupados e subdivididos em sítios

e chácaras, o que geraria densidade populacional indesejável. Especificamente na área 6 existia ainda a questão de acesso precário e pouca disponibilidade de água.

A análise dos três locais restantes (1, 3 e 7) considerou critério de: acessibilidade, aspectos demográficos, custos de implantação, aspectos meteorológicos, hidrológicos, uso do solo e socioeconômicos. Concomitante a esses critérios a definição da alternativa baseou-se em procedimento padrão da área nuclear e análoga aos adotados internacionalmente.

O resultado final da análise apontou a sub-região 3 – Iperó, especificamente a Fazenda Ipanema, como o local mais adequado para a instalação do empreendimento.

#### 4.3.3 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

As alternativas técnicas avaliadas na definição do Empreendimento RMB foram baseadas na busca de solução para superar os gargalos tecnológicos associados a demandas da área nuclear do país, no sentido de viabilizar as metas estabelecidas no PNB e incorporadas nos planos do Governo Federal. A Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA (2009) chama a atenção para a necessidade da existência de uma condição no país que proporcione sustentabilidade aos empreendimentos de reatores de pesquisa, tendo em vista que em alguns países esses reatores encontram-se subutilizados.

Essa sustentabilidade deve ser analisada considerando-se todos os aspectos relativos ao ciclo de vida de operação do reator, tais como: comercial; institucional; capacidade de recursos humanos, materiais e financeiros para operação; segurança; responsabilidade ambiental; gerenciamento de rejeitos radioativos; entre outros. O Quadro 13 apresenta as demandas a serem atendidas e o tipo de empreendimento necessário para atender cada uma. O Quadro 14 apresenta as alternativas técnicas avaliadas.

**Quadro 13 - Demandas e tipos de empreendimentos necessários**

| Demanda  | Tipo de Empreendimento   |
|--|--|
| Produção nacional de radioisótopos para medicina nuclear garantindo segurança de suprimento para atender a demanda da população brasileira     | Reator produtor de radioisótopos e células de processamento, manuseio e transporte de radioisótopos                                  |
| Capacidade nacional para realizar testes de irradiação para qualificar combustíveis nucleares e novos materiais para uso em reatores           | Reator de teste de materiais com circuitos de irradiação e células para processamento, manuseio e transporte de materiais irradiados |
| Capacidade nacional de realizar pesquisas com fluxos de neutrons acima de $1 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> .s e com fonte fria de neutrons | Reator de pesquisa com fluxo acima de $1 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> .s e com as instalações e equipamentos apropriados.       |

**Quadro 14 - Alternativas avaliadas**

| Alternativa  | Considerações  |
|--|--|
| Implantar três empreendimentos, contendo um tipo de reator para cada demanda, implicando em três reatores distintos. | Essa alternativa é a mais cara, de maior dificuldade de aprovação pelo Governo Federal e a que requer maior esforço de implementação, quer seja na parte de obtenção de recursos e no gerenciamento das atividades técnicas e administrativas, como na execução das etapas de licenciamento ambiental e nuclear. É a alternativa com menor grau de sustentabilidade. |
| Implantar dois empreendimentos, sendo um com um reator para atender as demandas 1 e 3 (reator de produção de         | Existem alguns reatores no mundo projetados para produzir radioisótopos e realizar pesquisas com feixes de nêutrons. O reator OPAL (Austrália) que entrou em operação em 2008 é o exemplo mais   |

| Alternativa  | Considerações   |
|--|---|
| radioisótopos e feixe de nêutrons) e outro para atender a demanda 2 (reator de teste de materiais)   | recente. O custo desse reator foi de USD 350 milhões (2008). Da mesma forma, existem alguns reatores no mundo dedicados a realizar somente testes de materiais, como o reator Osiris (França) que deu suporte ao programa nuclear francês. Essa alternativa, apesar de que em menor grau, possui as mesmas desvantagens da alternativa 1 acima em termos de custo, dificuldade de aprovação, e esforço técnico, gerencial e administrativo, bem como de licenciamento e de baixa sustentabilidade. A sua escolha seria feita apenas no caso de haver uma condição estratégica do país que a justificasse.   |
| Implantar dois empreendimentos, sendo um para atender as demandas 2 e 3 (reator de teste de materiais e feixe de nêutrons) e outro para atender a demanda 1                                      | Essa configuração apresenta o mesmo quadro de análise da alternativa 2.   |
| Implantar dois empreendimentos, sendo um para atender as demandas 1 e 2 (produção de radioisótopos e teste de materiais) e outro reator para atender a demanda 3 (reator para feixe de nêutrons) | Existem reatores no mundo dedicados exclusivamente a utilização de feixe de nêutrons, como o reator do NIST, nos EUA e o FRM2 na Alemanha, por exemplo. Essa alternativa também apresenta as mesmas desvantagens das alternativas 2 e 3, com um agravante relativo à implantação de um reator com fluxo de nêutrons acima de $1 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> .s apenas para realizar pesquisas. Esse empreendimento apresentaria um grau de sustentabilidade extremamente baixo dada a subutilização do reator.  |
| Implantar um reator multipropósito para atender as três demandas, simultaneamente.   | Essa alternativa foi escolhida em função das seguintes vantagens em comparação com as demais:<br>Atende as três demandas com apenas um empreendimento, possuindo assim maior grau de sustentabilidade;<br>Apresenta menor custo de implantação;<br>Possui menor dificuldade de aprovação pelo Governo Federal, já que se trata de apenas um empreendimento;<br>Otimiza os esforços técnicos e gerenciais, já que são realizados de forma concentrada e orientada a apenas um empreendimento, apesar de ser um empreendimento maior do que os demais;<br>Otimiza os processos de licenciamento ambiental e nuclear, já que requer apenas um local de instalação. |

#### 4.3.3.1 Descrição técnica do projeto

A Figura 15 apresenta de uma forma concisa itens que precisam ser abordados no Escopo do Reator. Do lado esquerdo são apresentados os “produtos” da operação do RMB, destacando-se a produção de radioisótopos, a irradiação e teste de combustíveis e materiais, e as diversas aplicações possíveis com feixes de nêutrons. Do lado direito estão colocadas as “necessidades” para o projeto, construção, comissionamento, licenciamento e operação do RMB. Na parte central está apresentado o reator e a infraestrutura física que será necessária para atender as diversas demandas.

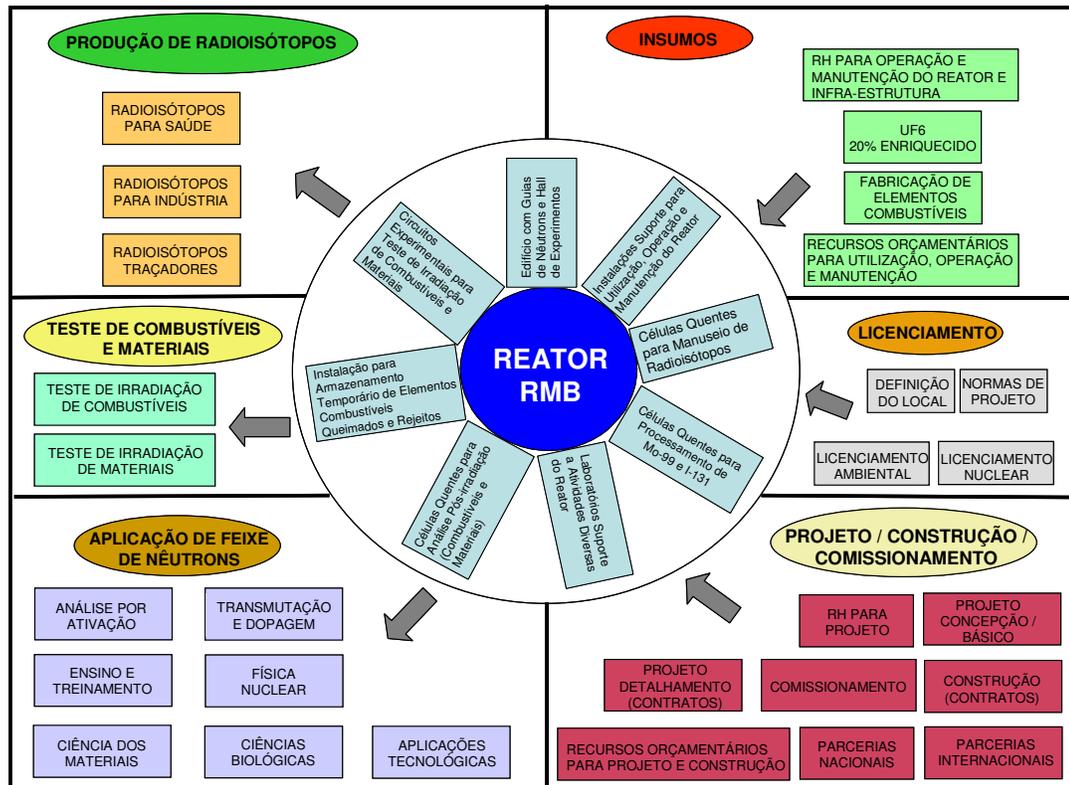


Figura 15 - Características Gerais do Projeto do RMB.

#### 4.3.3.1.1 Engenharia do Reator

Dentre os diversos tipos de reatores de pesquisa, os do tipo piscina são os mais comuns e os mais utilizados, devido à sua grande versatilidade, facilidade de operação e segurança. Os reatores Osiris e Jules Horowitz da França, assim como o reator OPAL, e ETR2 projetados pela empresa INVAP da Argentina e construídos na Austrália e no Egito, respectivamente, são modelos de reator de pesquisa tipo piscina, que serão observados pelo reator do RMB. Estes reatores possuem características de refrigeração do núcleo semelhantes, mas possuem materiais refletores e geometrias distintas.

Os reatores Osiris e Jules Horowitz são reatores de teste de materiais, e podem também produzir radioisótopos, mas não possuem extração de feixe de nêutrons. Utilizam berílio e água leve como materiais refletores do núcleo do reator. O reator OPAL produz radioisótopos e tem extração de feixe de nêutrons, utiliza água pesada como material refletor do núcleo do reator. O reator ETR2 é um reator multipropósito, isto é, produz radioisótopos, pode executar teste de materiais e também extrai feixe de nêutrons. Utiliza berílio como material refletor do núcleo.

A proposta do reator RMB, por concepção multipropósito, terá possibilidade de produzir radioisótopos, testar materiais e combustíveis, e extrair feixe de nêutrons. Para a função de produção de radioisótopos e extração de feixe de nêutrons utilizará água pesada como refletor, e na função de irradiação e teste de combustíveis utilizará berílio e água leve como material refletor. O interior do núcleo do reator possibilitará irradiação de materiais. Esta

concepção brasileira para o núcleo é inovativa, buscando otimizar as várias funções desejadas ao reator, mas mantêm similaridade de segurança e operação com os reatores de pesquisa mencionados. O reator OPAL será tomado como modelo de referência para comparação de segurança e licenciamento, conforme acordado entre CNEN (Brasil) e CNEA (Argentina) na similaridade dos reatores RMB e RA-10 (reator sendo projetado e construído na Argentina).

O RMB será do tipo piscina aberta, com uma potência térmica de 30 MW. O núcleo do RMB deverá ser compacto, com elementos combustíveis do tipo MTR de  $U_3Si_2-Al$  com densidade de até  $4,8 \text{ gU/cm}^3$  e enriquecimento de 19,75% em peso de urânio-235. O fluxo de nêutrons térmicos no núcleo deverá ser superior a  $2 \times 10^{14}$  nêutrons/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$  e o fluxo de nêutrons rápidos também superior a  $2 \times 10^{14}$  nêutrons/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ . O núcleo do reator será refrigerado e moderado a água leve, tendo como refletores a água pesada, o berílio e também água leve (conforme posição no núcleo e função das reações desejadas). A otimização do projeto do núcleo levará em conta na sua estratégia de projeto fatores tais como:

- Possibilidade de acomodar dispositivos de irradiação inseridos no núcleo do reator;
- Possibilidade de acomodar dispositivos de irradiação na periferia do núcleo, permitindo ajustes dos fluxos de nêutrons e de calor. Os dispositivos de irradiação poderão ter refrigeração independente ou refrigeração do próprio reator;
- Possibilidade de acomodar dispositivos no refletor, em particular para produzir radioisótopos;
- Permitir o posicionamento adequado dos guias (*beam-holes*) para a extração dos feixes de nêutrons com as intensidades de fluxo adequadas.

Toda a estrutura do núcleo estará localizada dentro de uma seção transversal quadrada denominada “chaminé”, que formará parte do circuito primário de refrigeração. O resfriamento do núcleo do reator será promovido pela circulação forçada de água desmineralizada, no sentido ascendente. Em operação normal, o refrigerante será bombeado através dos canais do núcleo e então, via tubulações, para o trocador de calor antes de retornar para a entrada do núcleo. Uma grade removível será colocada no topo da chaminé para fazer a calibração da vazão e para proteger o núcleo de eventual queda de objetos. A grade será removida durante o carregamento e descarregamento do núcleo.

A chaminé será envolvida por um tanque refletor de água pesada em três quartos de seu perímetro. Neste tanque serão posicionados dispositivos para produção de radioisótopos e extração de feixe de nêutrons. No terço restante será utilizado refletor de berílio e/ou água leve, onde serão posicionados os dispositivos de irradiação para teste de combustíveis. A região do tanque refletor incluirá também uma fonte de nêutrons frios e dispositivos para fornecer feixes de nêutrons frios para experimentos a serem localizados dentro do saguão do reator.

O núcleo e o refletor estarão localizados dentro de um tanque de água leve desmineralizada, que fornecerá a blindagem radiológica em todas as condições de operação do reator. A água do tanque também refrigera a região externa ao núcleo durante as operações e também o próprio núcleo (circulação natural) após o desligamento, retirando o calor residual.

A tecnologia adotada na concepção do projeto ao reator RMB atenderá não só suas funções e objetivos operacionais, mas também garantirá sua característica de segurança e confiabilidade. Cabe também destacar que o Brasil domina, através do IPEN, a tecnologia de fabricação dos combustíveis que serão utilizados no RMB, já que são combustíveis a semelhança dos utilizados no reator IEA-R1 do IPEN. A Figura 16 apresenta o esquema do reator RMB.

## Concepção do Reator RMB

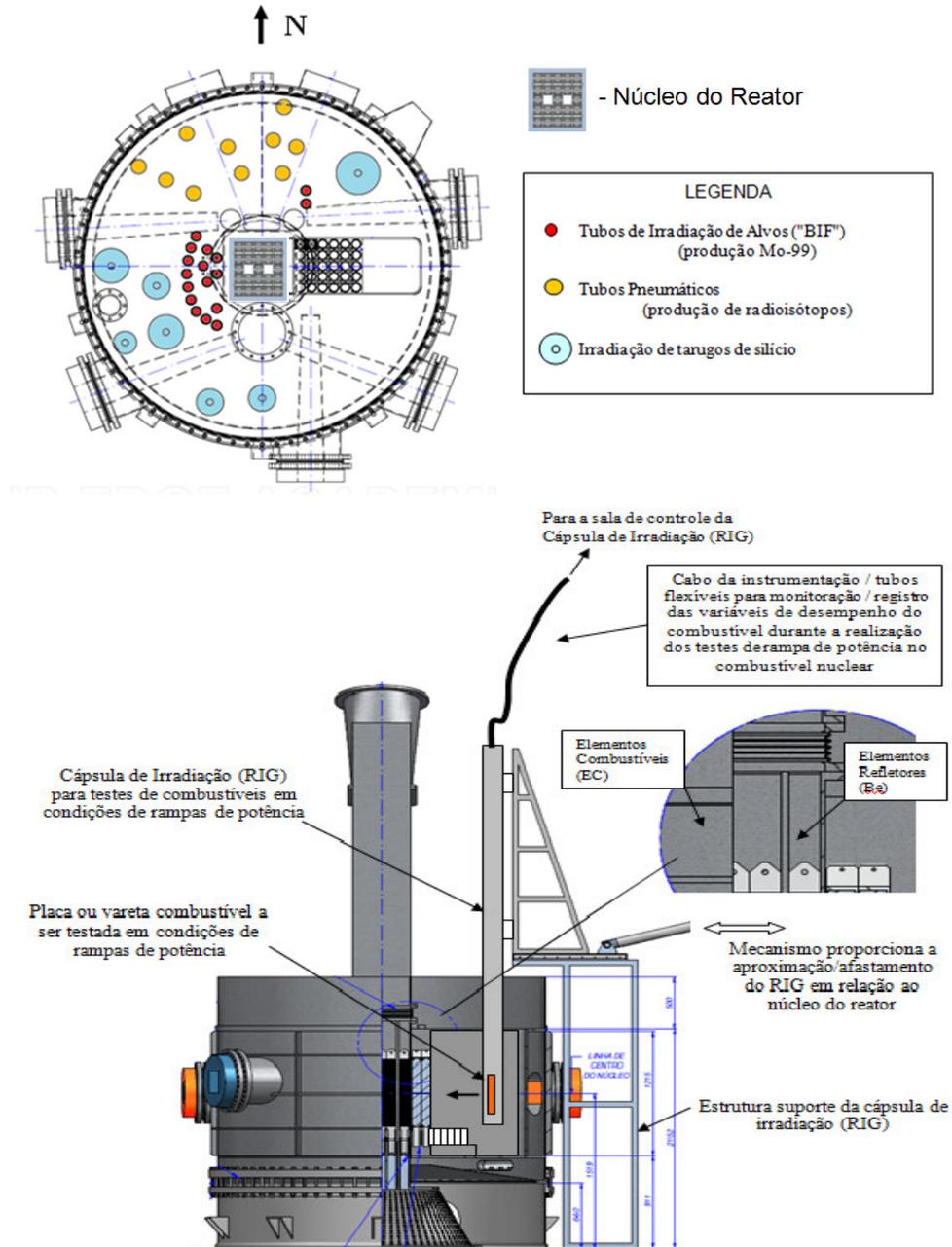


Figura 16 - Desenho esquemático do reator RMB.

Os laboratórios associados, para realizar as funções e objetivos desejados do empreendimento RMB, deverão ser projetados também utilizando tecnologia moderna e critérios de segurança e confiabilidade a exemplo de instalações semelhantes existentes no mundo.

O laboratório de processamento de radioisótopo deverá conter duas linhas principais: a primeira que processa alvos de urânio para separação química do Mo-99; e a segunda que apenas manipula os radioisótopos para os diversos usos desejados. A tecnologia de manipulação dos radioisótopos já existe de certa forma implantada nas atividades atuais no IPEN, mas a tecnologia do processamento de alvos de urânio para obtenção do Mo-99 está sendo ainda desenvolvida. Serão, inicialmente, utilizados alvos de liga de urânio-alumínio dispersa em alumínio, e enriquecimento de urânio-235 limitado a 19,75% em peso. Esta tecnologia já é utilizada comercialmente pela Argentina e Austrália na produção do Mo-99.

#### 4.3.4 HIPÓTESE DE NÃO REALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Tendo em vista que o Empreendimento RMB propicia, de forma simultânea, soluções para distintos problemas do país, não se vislumbra alternativa possível para alcançar a mesma finalidade.

As principais consequências da não realização do Empreendimento RMB são:

- Continuar a dependência externa completa do país na obtenção do radioisótopo molibdênio-99, estando sujeito às crises de fornecimento mundial e políticas de outros países;
- Continuar a dependência externa do país na obtenção dos radioisótopos, que hoje são importados, para aplicação médica na diagnose, terapia e braquiterapia;
- Continuar a dependência externa do país na obtenção de radioisótopos aplicados na indústria;
- Não realização de teste de irradiação e análise pós-irradiação de combustível nuclear de cunho estratégico, e inibindo ações de desenvolvimento autônomo na área de materiais e combustíveis de reatores de potência;
- Restrição ao conhecimento/experiência técnica e científica para gerações de pesquisadores brasileiros diante da não existência de infraestrutura apropriada na área de reatores de pesquisa e utilização de feixes de nêutrons e laboratórios associados;
- Inibição da reposição de pessoal qualificado na área de tecnologia nuclear, já que a infraestrutura hoje da área de reatores de pesquisa e tecnologia nuclear está em processo de extinção devido à idade avançada dos recursos humanos e da idade das próprias instalações.

## 4.4 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

### 4.4.1 GENERALIDADES

O empreendimento RMB, de concepção brasileira, será projetado e construído dentro dos padrões internacionais de segurança e confiabilidade, possuindo três áreas distintas, denominadas: i) “núcleo de produção e pesquisa”, ii) “área de apoio administrativo”, iii) “área de apoio e infraestrutura”. O núcleo de produção e pesquisa concentrará as edificações consideradas “objetivo” do empreendimento. As áreas de apoio administrativo e infraestrutura serão dotadas de edificações e instalações necessárias ao bom funcionamento do empreendimento como um todo.

Será descrito, introdutoriamente neste item, o Empreendimento RMB com as suas principais instalações, insumos, produtos e serviços, sistemas de controle ambiental, e dispositivos de armazenamento e liberação de efluentes e rejeitos.

#### 4.4.1.1 Principais Instalações

O Empreendimento RMB, de concepção brasileira, deverá ser projetado e construído dentro dos padrões internacionais de segurança e confiabilidade. No plano diretor proposto, o Empreendimento RMB possui três áreas principais para as atividades previstas na sua primeira fase, áreas para expansão futura e áreas de preservação ambiental (ver na Figura 24). As três áreas principais contêm os seguintes grupos de instalações: núcleo de produção e pesquisa; núcleo de infraestrutura e apoio; e núcleo de apoio administrativo.

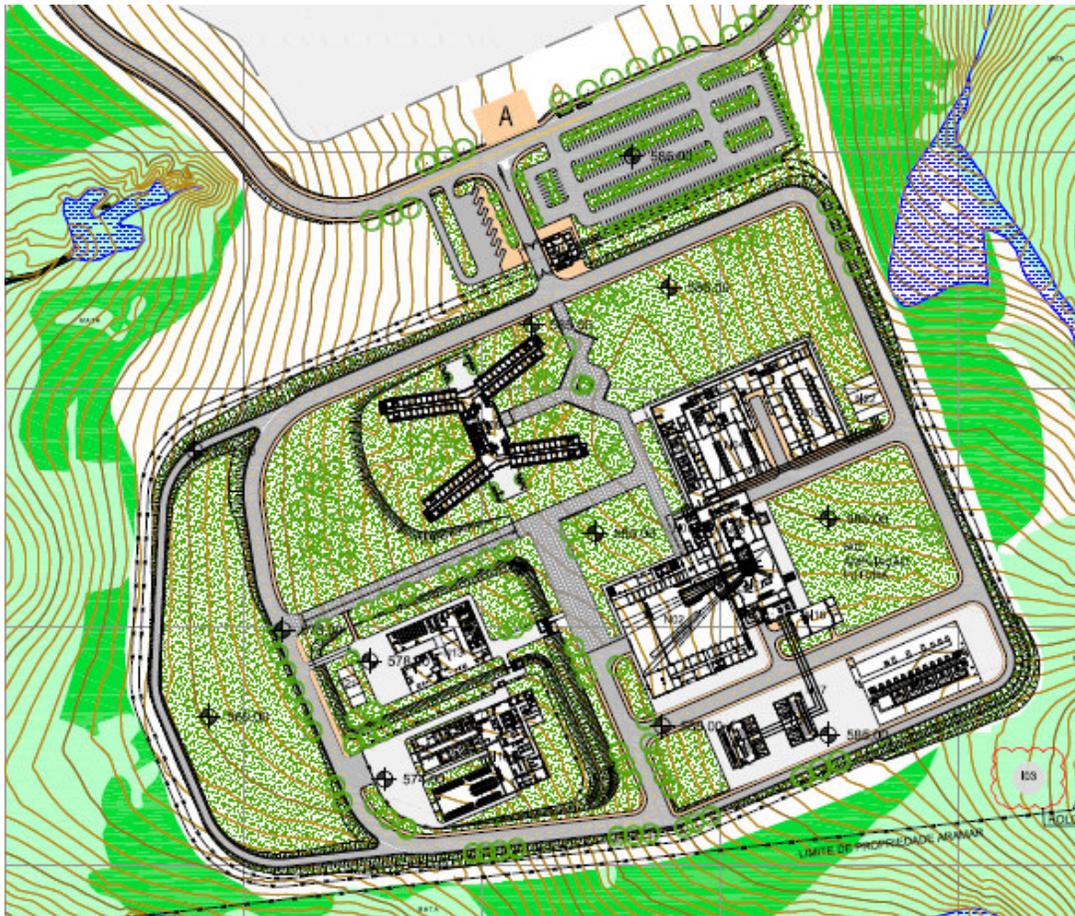
##### 4.4.1.1.1 Núcleo de Produção e Pesquisa

O núcleo de produção e pesquisa possui as principais instalações do empreendimento, compreendendo as instalações nucleares e radioativas. Esta área é denominada de área controlada, cercada, e o ingresso se dá por uma portaria de controle de acesso, onde somente pessoas autorizadas e/ou credenciadas poderão entrar. Não é permitido o acesso de veículos particulares. A distribuição de prédios e áreas permite a expansão futura dos laboratórios associados ao reator. A Figura 17 apresenta esta área, e a Figura 18 mostra uma perspectiva de arquitetura para este núcleo. O reator está num ponto coordenado que garante o raio de 800 metros de ZPE dentro do sítio do empreendimento e do CTMSP. As seguintes instalações fazem parte deste núcleo (Quadro 15):

**Quadro 15 – Instalações do Núcleo de Produção e Pesquisa**

| Código | Descrição   |
|--------|---|
| N00    | Infraestrutura geral Área Nuclear Controlada e Informações Gerais |
| N01    | Prédio do Reator  |
| N02    | Prédio das Guias de Nêutrons                                      |
| N03    | Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens |
| N04    | Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes     |
| N05    | Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados - LAMI  |

| Código | Descrição   |
|--------|---|
| N06    | Prédio do Laboratório de Radioquímica - LARA  |
| N07    | Prédio de Suporte à Operação  |
| N08    | Prédio dos Pesquisadores  |
| N09    | Torre de Refrigeração   |
| N10    | Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos  |
| N11    | Prédio da Cabine Primária CP-01   |
| N12    | Prédio da Cabine Primária CP-02   |
| N13    | Prédio da Oficina de apoio ao Reator  |
| N14    | Prédio de Controle de Acesso à Área Nuclear Controlada  |
| N15    | Chaminé   |
| N16    | Prédio dos Sistemas Auxiliares  |
| N17    | Galeria (sistema elétrico)  |
| N18    | Reservatório de Água de Reposição das Unidades de Resfriamento de Longo Prazo (160 m <sup>3</sup> ) |
| N19    | Reservatório de Água de Reposição das Torres de Resfriamento (3 000 m <sup>3</sup> )                |
| N20    | Lavanderia (pendente de definição)  |
| N21    | ETR 21 – Estação Transformadora Elétrica para Prédios N10, N13 e N08                                |
| N22    | ETR 22 – Estação Transformadora Elétrica para o complexo de Laboratórios N04, N05 e N06             |
| N23    | Anel de alimentação principal do núcleo de produção e pesquisa (circuito elétrico 1)                |
| N24    | Anel de alimentação secundário do núcleo de produção e pesquisa (circuito elétrico2)                |



**Figura 17 – Núcleo de Produção e Pesquisa**



**Figura 18 - Perspectiva de Arquitetura do Núcleo de Produção e Pesquisa**

O Prédio do Reator, o Prédio das Guias de Nêutrons, o Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens, o Laboratório de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes, o Laboratório de Análise de Materiais Irradiados, o Laboratório de Radioquímica, e o Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos, que são as instalações nucleares e radioativas do empreendimento, serão descritas em maiores detalhes mais adiante.

#### 4.4.1.1.2 Núcleo de Apoio Administrativo

Nesse núcleo estão as instalações que servirão à administração para o funcionamento rotineiro do empreendimento e de apoio aos pesquisadores, trabalhadores e visitantes. A Figura 19 apresenta esse núcleo que está fora do raio de 800 metros da ZPE. As seguintes instalações fazem parte desse núcleo:

**Quadro 16 – Instalações do núcleo de apoio administrativo**

| Código | Descrição  |
|--------|--|
| A00    | Infraestrutura dos prédios de apoio e informações gerais |
| A01    | Hotel  |
| A02    | Restaurante  |
| A03    | Administração  |
| A04    | Ambulatório Médico                                       |
| A05    | Centro de Treinamento e Exposição                        |
| A07    | Portaria Principal                                       |

Algumas características das instalações mencionadas acima são:

- O prédio da administração tem capacidade para aproximadamente 150 pessoas, e no qual serão realizadas todas as atividades administrativas do empreendimento, como compras, setor de pessoal, atividades de informática, dentre outros;
- Restaurante central com capacidade para fornecer 500 refeições diárias, podendo atender de forma simultânea até 200 pessoas;
- Um hotel com capacidade para até 24 pessoas em apartamentos duplos;
- Um ambulatório com 2 consultórios, 1 enfermaria, 1 sala de coleta de material para análise, 2 salas reservadas para eventual atendimento de radioacidentados e 2 salas de observação, além dos respectivos sanitários, observando-se os cuidados necessários ao sanitário para uso de eventuais radioacidentados;
- Centro de treinamento, com salas específicas para treinamento dos operadores das áreas de produção, principalmente operadores do reator e pessoas com responsabilidade de manusear as pinças das células quentes;
- A área de treinamento terá salas para 4 salas com capacidade entre 25 e 30 pessoas cada:

- O centro de treinamento terá uma área de exposição permanente para visitantes, um auditório para 200 pessoas, e um saguão onde serão realizadas atividades como *coffee-break* e credenciamento de participantes em eventos que sejam organizados no local;
- A portaria principal do empreendimento RMB terá recepção, sala de espera, sanitários, pequena sala para reuniões, e uma área para acesso controlado de pessoas que adentrarem ao empreendimento a pé;
- Nesta portaria haverá ainda uma área para estacionamento de veículos (carros, ônibus e veículos de carga);
  - Ao lado da portaria serão instalados portões para entrada de veículos de funcionários e veículos de carga;
  - Todas as pessoas que adentrarem ao sítio do empreendimento deverão portar crachás e serem devidamente identificadas por ocasião da entrada e saída, independentemente de serem funcionários ou não;
  - A emissão de crachás temporários para visitantes será realizada pela equipe responsável pela recepção;
- A área administrativa terá geradores dieleis de emergência dedicados, independente dos geradores instalados no núcleo de produção e pesquisa, e cujas cargas serão definidas ao longo do projeto.



Figura 19 - Núcleo de Apoio Administrativo (parcial)

#### 4.4.1.1.3 Núcleo de Apoio de Infraestrutura

Trata-se de área com a infraestrutura de apoio necessária ao bom funcionamento do empreendimento como um todo. A Figura 20 apresenta esse núcleo que está fora do raio de 800 metros da ZPE, contando com os seguintes itens:

**Quadro 17 – Instalações do núcleo de apoio de infraestrutura**

| Código | Descrição                                 |
|--------|---|
| A06    | Garagem                                   |
| A08    | Prédio de Apoio aos Terceirizados         |
| I00    | Infraestrutura geral e informações gerais |
| I07    | Tratamento de resíduos sólidos            |
| I08    | Central de Gases                          |
| I09    | Oficinas de manutenção geral do Sítio     |
| I13    | Almoxarifado Geral                        |
| I14    | Heliponto                                 |
| I15    | Área de Lazer                             |

Destacam-se nesse grupo as seguintes instalações:

- Garagem com capacidade para guarda de toda a frota a ser utilizada no empreendimento bem como para guarda de itens utilizados por empresas terceirizadas, como por exemplo, cortadores de grama e máquinas de limpeza e higienização de ambientes.
  - Nesta área será locada a oficina de manutenção dos veículos;
  - A área será dotada de drenagem dedicada com separador água e óleo.
- Centro de distribuição de gases e nitrogênio líquido tipo ar livre;
- Oficina para serviços gerais, dotada de drenagem dedicada e separador de água e óleo;
- Prédio para recebimento, seleção e tratamento de resíduos sólidos para envio externo;
- Heliponto;
- Prédio para apoio de empresas terceirizadas e seus funcionários;
- Almoxarifado, para recebimento de insumos, garrafas de gases industriais, dentre outros.
  - O almoxarifado será dotado de separadores, conforme a natureza dos materiais.



Figura 20 - Núcleo de Apoio de Infraestrutura (parcial)

#### 4.4.1.1.4 Infraestrutura

A infraestrutura prevista para o Empreendimento garante a operação do empreendimento, ao mesmo tempo em que mantém conceitos básicos de sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Os seguintes itens principais são previstos:

**Quadro 18 – Instalações de infraestrutura**

| Código | Descrição  |
|--------|--|
| S01    | Subestação Principal do Sítio RMB  |
| S02    | Linha de Transmissão Particular  |
| I00    | Infraestrutura geral e informações gerais  |
| I01    | Captação, adução e bombeamento de água   |
| I02    | Estação de tratamento de água (ETA) - Inclui o reservatório subterrâneo e o poço de recalque |
| I03    | Reservatório Elevado para Distribuição de Água Industrial (para o NPP)                       |
| I04    | Viveiro Florestal  |
| I05    | Ponte sobre o Córrego Ribeirão do Ferro  |
| I06    | Torre Meteorológica  |
| I10    | Drenagem   |
| I11    | Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)  |
| I12    | Estação de Tratamento de Efluente Industrial (ETI)   |
| I16    | Cabine Primária junto ao Prédio da Administração (A03)                                       |
| I17    | Cabine Primária junto ao Prédio do Restaurante (A02)   |
| I18    | Cabine Primária junto ao Prédio da Oficina de Manutenção Geral (I09)                         |
| I19    | Cabine Primária junto à Portaria Principal (A07)   |
| I20    | Reservatório Subterrâneo "de entrada" de água potável (junto à ETA)                          |
| I21    | Reservatório Distribuidor de água potável e água de reuso (junto à ETA)                      |
| I22    | Reservatório Elevado de água potável e água de reuso da área Administrativa                  |
| I23    | Reservatório Elevado de água potável e água de reuso do NPP                                  |

| Código | Descrição   |
|--------|---|
| I24    | Caixa coletora de água de reuso (junto à ETE)   |
| I25    | ETS 25 – Estação Transformadora de Superfície junto à ETI (I12)                         |
| I26    | ETS 26 – Estação Transformadora de Superfície junto à ETE (I11)                         |
| I27    | ETS 27 – Estação Transformadora de Superfície junto à Unidade de Resíduos Sólidos (I07) |
| I28    | ETS 28 – Estação Transformadora de Superfície junto à Torre Meteorológica (I06)         |
| I29    | ETS 29 – Estação Transformadora de Superfície junto à Área de Lazer (I15)               |
| I30    | Anel de alimentação do núcleo administrativo (circuito elétrico 1)                      |
| I31    | Anel de alimentação do núcleo de infraestrutura e apoio (circuito elétrico 2)           |
|        | Sistema Viário  |
|        | Sistema de Proteção Física  |

Os seguintes itens podem ser destacados:

- Torre meteorológica projetada e construída de acordo com as normas ambientais para atender as exigências de monitoração ambiental aplicáveis ao empreendimento;
- Poço artesiano atingindo o aquífero Tubarão e respectiva Estação de Tratamento de Água (ETA), para consumo humano. Captação de água no rio Sorocaba, Adução e Estação de Tratamento de Água (ETA) para uso industrial nas torres de refrigeração do reator;
- Estação de tratamento de esgoto doméstico/sanitário (ETE);
- Existirão duas estações de tratamento de efluentes químicos: a primeira para a água de descarte da torre de refrigeração que é de uso contínuo e de grande volume; a segunda para os efluentes químicos coletados dos laboratórios e instalações que venham a gerar tais efluentes, que é de uso intermitente e de baixo volume;
- Subestação elétrica que receberá a conexão com a linha de transmissão da concessionária e atenderá todo o complexo do Empreendimento RMB;
- Um sistema de proteção física composto por cercas e estações de monitoração visual, projetado e construído de acordo com as normas aplicáveis ao empreendimento;
- Sistema viário conforme apresentado no plano diretor (ver Figura 24).
- Os vários itens dos sistemas de água e de tratamento de efluentes serão mais bem detalhados nos itens 4.4.3.2 e 4.4.3.4 a seguir.

#### 4.4.1.1.5 Insumos

O empreendimento RMB está centrado na operação do reator nuclear de pesquisa. Portanto o insumo principal de sua operação é o combustível nuclear. É estimado um fluxo de troca de 5 a 6 elementos combustíveis por ciclo de operação (25 a 28 dias de operação contínua, 24 horas por dia), perfazendo um total de aproximadamente 60 elementos combustíveis por

ano. Os elementos combustíveis serão produzidos no Centro de Combustível Nuclear do IPEN em São Paulo. Esses combustíveis serão transportados, a princípio, mensalmente do IPEN ao RMB. Essas informações encontram-se detalhadas no item 4.4.3.1.8.

#### 4.4.1.1.6 Produtos e Serviços

O Empreendimento RMB tem como objetivo principal dotar o país de um reator nuclear de pesquisa e instalações associadas para as seguintes aplicações:

- Produzir radioisótopos para aplicação na saúde, indústria, agricultura e meio ambiente;
- Irradiar materiais e combustíveis nucleares, de forma a permitir sua análise de desempenho e comportamento sob os diversos campos de radiação de um reator nuclear;
- Realizar pesquisas científicas e tecnológicas com feixes de nêutrons.

No item 4.2 foram apresentados de forma extensa os objetivos e principais produtos e serviços do Empreendimento RMB.

Destaque como produtos são os radioisótopos que hoje são importados pelo Brasil e deixarão de sê-lo com a operação do RMB. O principal deles é o M0-99 produto essencial nos radiofármacos para a medicina nuclear.

Destaque para a autonomia nacional na realização de testes de materiais e combustíveis nucleares, gerando segurança, tecnologia e inovação ao segmento de reatores de potência do Programa Nuclear Brasileiro.

Destaque para a criação do laboratório de utilização de feixe de nêutrons que dotará o país com uma infraestrutura de ponta disponibilizada à comunidade científica nacional.

Finalmente é destaque também o papel que o empreendimento irá realizar na nucleação de um novo instituto nacional de alta tecnologia, a exemplo do que ocorreu no IPEN em São Paulo, isto é, um agente motivador de C&T&I e formação de recursos humanos de alta capacitação.

#### 4.4.1.1.7 Sistemas de Controle Ambiental

O Empreendimento RMB é composto de instalações nucleares, radioativas e instalações suporte que não contêm material nuclear ou radioativo, mas que podem eventualmente contribuir com algum tipo de impacto ao meio ambiente, ou que, inversamente, controlam esse impacto.

De uma forma geral podem ser listados os seguintes sistemas relacionados a controle ambiental:

- Sistema de controle de projeto;
- Sistema de controle de emissões e efluentes radioativos e químicos;

- Sistema de controle de efluentes e resíduos industriais e sanitários;
- Sistema de controle de resíduos sólidos;
- Sistema de gestão ambiental; e
- Sistema de gestão de rejeitos radioativos.

Um Programa de Monitoração Radiológica Ambiental (PMRA) será estabelecido para complementar os programas de controle da fonte e da descarga de efluentes radioativos. O PMRA deve ser conduzido durante os diversos estágios de implantação do empreendimento. As fases do PMRA são definidas em função de cada estágio, conforme aplicável, em pré-operacional, operacional, de descomissionamento e de pós-descomissionamento, e está de acordo com a Posição Regulatória 3.01/008:2011 – “Programa de Monitoração Radiológica Ambiental” da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Também foi instalada no sítio do empreendimento uma torre de monitoração meteorológica conforme requisito de norma CNEN- NE1.22: Programas de Meteorologia de Apoio de Usinas Nucleoelétricas.

Inicialmente, referente às instalações nucleares e radiativas, principal motivação do empreendimento, serão descritos alguns pontos relevantes do projeto que de certa forma se relacionam com os sistemas de controle ambientais.

#### 4.4.1.1.7.1 Instalações Nucleares e Radioativas

As diversas instalações do empreendimento serão concebidas, projetadas, construídas e operadas de forma a atender os critérios normativos de segurança nuclear e contra as radiações, em conformidade com a legislação pertinente.

O objetivo fundamental de segurança do empreendimento RMB é a proteção dos indivíduos, da sociedade e do meio ambiente, realizada através do estabelecimento e manutenção de uma proteção efetiva contra a liberação acidental de radiação ou material radioativo.

Deve-se garantir que, nas áreas do empreendimento, as taxas de exposição à radiação nos trabalhadores e indivíduos do público, durante todas as fases de operação, permanecem abaixo dos limites estabelecidos na norma CNEN NN 3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, e são mantidos tão baixos quanto razoavelmente possível, dentro do princípio ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*), levando-se em consideração fatores econômicos e sociais.

Para atender este objetivo, é necessário demonstrar que as pessoas que trabalham no empreendimento, o público em geral e o meio ambiente não serão afetados pela exposição à radiação devido à implantação e operação das suas diversas instalações, combinadas com outras que possam existir na região.

O objetivo fundamental de segurança do empreendimento é alcançado através da definição de diversos critérios de segurança estabelecidos no projeto, com ênfase no projeto do reator. De uma forma geral estes critérios consideram os seguintes aspectos:

- Especificações de limites de operação e de segurança;
- Identificação das funções de segurança necessárias;
- Utilização de normas adequadas;
- Garantia da qualidade;
- Realização do projeto considerando condições de acidente;
- Utilização da análise de segurança como base de projeto;
- Confiabilidade e disponibilidade dos sistemas relacionados com a segurança;
- Defesa em profundidade;
- Proteção radiológica;
- Proteção física;
- Desenvolvimento de um programa de comissionamento com foco no atendimento às especificações, em especial dos sistemas de segurança;
- Implantação de um planejamento de emergência;
- Estabelecimento, na fase de projeto, de condições para realização de testes periódicos, com a finalidade de detectar degradações de sistemas, estruturas e componentes, e em especial para garantir: 1) a integridade física do elemento combustível e da estrutura de sustentação do núcleo, mantendo a sua geometria sempre de acordo com a projetada; 2) a funcionalidade e efetividade dos sistemas ligados à segurança.

Todos os sistemas, estruturas e componentes do empreendimento são classificados com base em sua importância para a segurança, seus requisitos de projeto sísmico, sua importância para a disponibilidade do empreendimento, e seus respectivos requisitos de garantia da qualidade.

#### *Classificação quanto à segurança*

Todos os sistemas, estruturas e componentes do empreendimento são categorizados quanto à sua importância para a segurança, sendo classificados em uma das três classes de segurança definidas a seguir:

- Classe de Segurança 1: Qualquer estrutura, sistema ou componente, que seja diretamente responsável pela execução de qualquer função de segurança e cuja falha possa levar a exposições indevidas à radiação para o pessoal da instalação ou membros do público em geral.

- Classe de Segurança 2: Qualquer estrutura, sistema ou componente, que represente uma contribuição adicional para a execução de qualquer função de segurança ou que seja diretamente responsável pela execução de alguma função de segurança e cuja falha não leve a exposições indevidas à radiação para o pessoal da instalação ou membros do público em geral.
- Classe de Segurança 3: Qualquer estrutura, sistema ou componente, não classificado como classe 1 ou 2.

As funções de segurança são características essenciais associadas a sistemas, estruturas e componentes que garantem a segurança. No caso específico do reator nuclear, objetivam:

- 1) Manter o controle da reatividade do núcleo, de forma a manter sob controle a potência gerada no mesmo, e assegurar o seu desligamento de forma segura, mantendo-o nessa condição pelo tempo que for necessário;
- 2) Providenciar a remoção do calor gerado no núcleo do reator e do combustível irradiado;
- 3) Manter todo material radioativo confinado; servir como blindagem contra a radiação; e permitir o controle de liberação planejada de material radioativo, e prevenir ou mitigar uma eventual liberação, não planejada, para o meio ambiente.

#### *Classificação quanto requisitos sísmicos*

As instalações do empreendimento devem ser projetadas para suportar eventos externos típicos da região de Iperó, e mais especificamente da área onde o empreendimento será implantado. Critérios de projeto detalhados, em relação a eventos sísmicos, impacto de aeronaves e eventos de vento/tornado e inundações devem ser especificados com base em práticas reconhecidas e aceitas pelos órgãos licenciadores, de forma a assegurar a adequada disponibilidade e segurança do empreendimento.

Todos os sistemas, estruturas e componentes do empreendimento são classificados de acordo com requisitos sísmicos para projeto utilizando-se uma das 2 classes sísmicas identificadas a seguir:

- Classe sísmica 1: itens concebidos para suportar movimentações associadas com um terremoto de desligamento seguro, (*Terremoto nível SDS*), bem como a as movimentações associadas a um terremoto básico operacional, (*Terremoto nível SBO*).
- Classe sísmica 2: itens concebidos para suportar movimentações associadas a valores estabelecidos em códigos de construção civil e industrial (o que for mais restritivo).

Classe sísmica 1 inclui:

- Sistemas, estruturas e componentes classificados como classe de segurança 1, ou classe de segurança 2.

- Itens cuja falha possa causar condições de acidente, de forma direta ou indireta.
- Itens necessários para assegurar o desligamento do reator, monitoração de parâmetros críticos, manutenção do reator em condição de desligamento e remoção de calor residual.
- Itens necessários para evitar a liberação de radioatividade (material radioativo).
- Itens necessários para evitar a liberação de radioatividade em níveis acima dos limites estabelecidos para operação normal.
- Itens necessários para mitigar condições de acidentes que possam perdurar por períodos suficientemente longos, durante os quais existe uma razoável probabilidade de ocorrer um terremoto.
- Itens sem conotação nuclear, mas que por razões diversas, por exemplo: disponibilidade, é razoável assegurar para os mesmos, uma proteção contra terremotos superior à que é estabelecida em códigos de construção civil e industrial.

Sempre que o colapso, queda, deslocamento ou resposta espacial de um item a um terremoto puder comprometer o funcionamento de itens de uma classe sísmica superior:

- Tais itens são classificados na mesma classe sísmica que os itens passíveis de comprometimento;
- Deve ser demonstrado que não haverá colapso ou perda da função do item de menor classe, quando submetido à movimentação de referência.
- Os itens ameaçados devem ser devidamente protegidos, de modo que eles não fiquem comprometidos.

#### *Classificação quanto à qualidade*

A metodologia de atribuição do nível de qualidade é uma forma sistemática de identificar a classe de garantia da qualidade adequada para sistemas, estruturas e componentes. No caso do empreendimento RMB, foram definidos 3 níveis de qualidade para classificação quanto ao nível de qualidade, a saber A, B e C. A atribuição do nível de qualidade leva em consideração a categoria de segurança, classificação de disponibilidade, complexidade e experiência anterior de projeto associados a cada item.

Requisitos apropriados de garantia da qualidade são especificados para cada um dos 3 níveis de qualidade. O nível de qualidade serve para assegurar a aplicação de controles de qualidade adequados e devidamente avaliados, durante todas as fases do projeto, construção, montagem, comissionamento e operação de sistemas, estruturas e componentes.

Componentes com importância significativa para a segurança e que apresentem projeto inovador, bem como componentes com importância significativa para a segurança e que

foram desenvolvidos com base em projetos reconhecidamente seguros, mas com alguma modificação, serão qualificados através do teste de protótipos.

### *Classificação de áreas*

No projeto das instalações onde seja manuseado, manipulado ou processado material nuclear ou material radioativo, deve ser enfatizada a distribuição das áreas e rotas de circulação de pessoas de modo a limitar e minimizar a exposição dos trabalhadores e a propagação da contaminação.

Isso deve ser obtido empregando os seguintes mecanismos:

- a) Separação das áreas radiológicas por classificação;
- b) Disposições adequadas para permitir ventilação;
- c) Instalações especiais para manipulação de equipamentos;
- d) Instalações especiais para vestiários;
- e) Barreiras para controle de acesso;
- f) Técnicas de controle remoto;
- g) Instalações para descontaminação de utensílios e indumentária;
- h) Outros componentes e sistemas de projeto.

De modo a minimizar as doses de radiação, a distribuição das áreas de trabalho deverá ser tal que as pessoas não tenham que acessar áreas de radiação mais intensa para alcançar áreas com menor intensidade de radiação.

Da mesma forma a distribuição de áreas deve ser tal que as pessoas não tenham que acessar áreas com alto risco de contaminação para alcançar áreas com menores riscos de contaminação.

Para fins de gerenciamento da proteção radiológica, as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo devem ser classificadas em *áreas controladas*, *áreas supervisionadas* ou *áreas livres*, conforme apropriado.

Uma área deve ser classificada como *área controlada* quando for necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições potenciais.

Uma área deve ser classificada como *área supervisionada* quando, embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, com o objetivo de determinar se a classificação continua adequada.

Uma área deve ser classificada como *área livre* quando não apresentar requisitos para ser classificada como controlada ou supervisionada.

### Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação nos vários ambientes do RMB tem por objetivo renovar o ar, em especial nas instalações onde seja manuseado, manipulado ou processado material nuclear ou material radioativo, de forma a evitar o acúmulo de material radioativo em suspensão, e eliminando ou minimizando a presença de contaminantes radioativos no ar.

Nessas instalações o ar exaurido das áreas, passa pelos dutos de ventilação; e posteriormente é filtrado em pré-filtros, filtros HEPA e filtro de carvão ativado antes de ser descarregado na atmosfera por meio de uma chaminé. Um sistema de válvulas nos dutos deve permitir o ajuste automático da depressão nas áreas de serviço e células de processamento, de forma a evitar que o ar de uma região potencialmente contaminada flua para uma região com menor potencial de contaminação.

Ou seja, em cada instalação onde seja manuseado, manipulado ou processado material nuclear ou material radioativo, o sistema de ventilação deve ser projetado de forma a garantir um fluxo de ar no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação, conforme indicado na Figura 21, sendo a exaustão final feita sempre a partir de áreas com maior potencial de contaminação. As saídas de exaustão diretamente de áreas com menor potencial de contaminação têm como objetivo minimizar o dimensionamento dos sistemas de filtragem, devendo ser analisado, caso a caso, a vantagem de sua adoção.

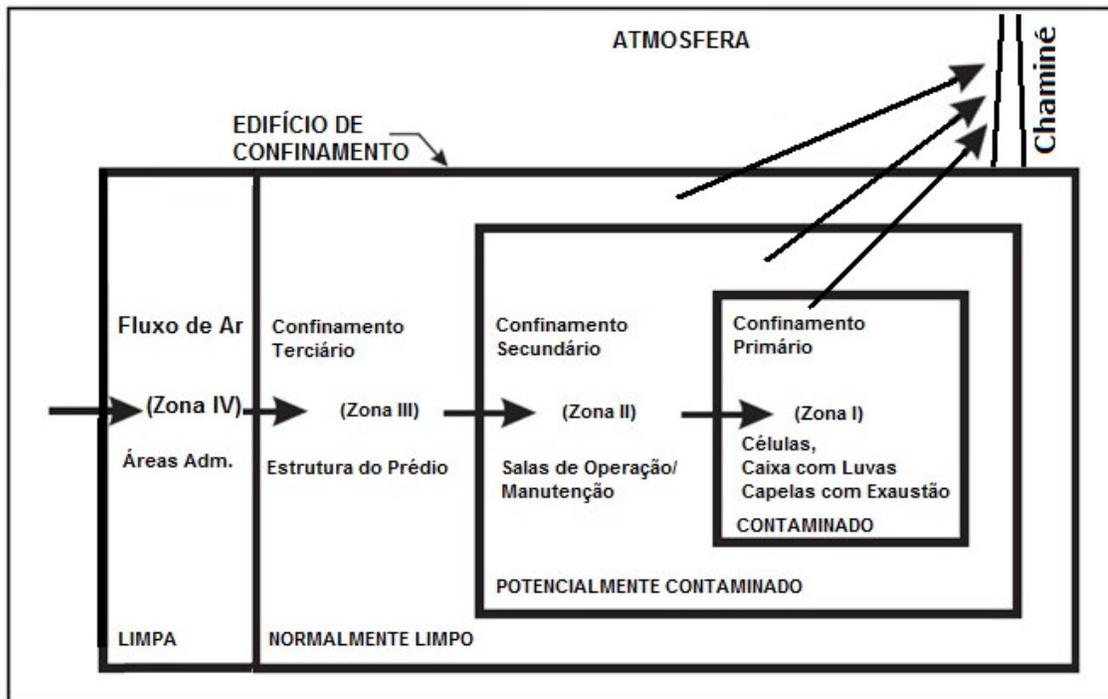


Figura 21 - Processo típico de zonas de confinamento

A eficácia de cada barreira de contenção, representada na Figura 21, deve ser verificada analiticamente em função das trocas de ar que são esperadas, sem perda da função de retenção de material pelos filtros utilizados.

O conceito de barreira de contenção aplica-se a qualquer material perigoso na forma de gás, líquido, ou sólido e seu meio portador, e tem como objetivo principal evitar a difusão (espalhamento) do material perigoso.

Onde for necessária a presença de áreas sob depressão, devem ser previstas antecâmaras para acesso de pessoas e cargas.

#### *Outros requisitos*

Os seguintes critérios e requisitos aplicam-se ao projeto de todas as edificações/instalações do empreendimento:

- Todas as edificações devem ser projetadas priorizando-se fatores de segurança e fatores humanos;
- Edificações rotineiramente habitadas devem ser projetadas tendo como objetivo a obtenção de ambientes com alto nível de conforto e habitabilidade, com mínimo consumo de energia;
- Todas as áreas passíveis de contaminação devem possuir piso e paredes contínuas, revestidos de material impermeável, que facilite a descontaminação em casos de contaminações radioativas.
- Nos prédios onde é manuseado material nuclear e/ou material radioativo, dois sistemas de drenagem independentes e separados fisicamente garantem o escoamento e armazenamento de qualquer líquido resultante de eventuais vazamentos. Um dos sistemas é destinado à drenagem de líquidos não contaminados, e o outro é destinado a líquidos que normalmente são contaminados com material radioativo. Para sistemas químicos existe também outro sistema isolado com retenção antes de envio para tratamento.
- Áreas que sejam habitadas de forma eventual, por exemplo, para atividades de manutenção, devem apresentar um mínimo de conforto, de forma a permitir que as atividades sejam realizadas sem dificuldade, e sem prejuízo da saúde das pessoas;
- No projeto das várias edificações deve-se evitar a utilização de materiais comburentes, e a necessidade de armazenar itens de fácil combustão dentro das instalações, ficando tais itens, quando necessários, armazenados em locais apropriados, com meios comprovadamente eficientes para detecção e combate a incêndio.
- Todas as edificações devem prever rotas de fuga devidamente sinalizadas, e com unidades de iluminação de emergência eficiente e de baixo consumo;
- O projeto do empreendimento deve prever a existência de um sistema de controle de acesso integrado, cuja central estará localizada num Centro de Proteção Física, em prédio a ser definido oportunamente.

- Da mesma forma o projeto do empreendimento deve prever a existência de sistema de detecção e proteção contra incêndio individualizado por instalação/prédio, e com repetição da informação no Centro de Proteção Física.
- O projeto do empreendimento e de cada instalação deve se basear no uso de práticas comprovadas de engenharia bem como a utilização de normas e códigos aceitos e comprovados;
- A metodologia de projeto de engenharia adotada deve garantir um elevado padrão de projeto de engenharia e o estabelecimento de margens de projeto conservadoras.

#### 4.4.1.1.7.2 Instalações não nucleares

Os prédios e instalações do empreendimento RMB serão projetados e construídos considerando-se o conceito de sustentabilidade, isto é priorizando-se opções que favoreçam, sem detrimento da segurança e do conforto ambiental necessários a cada unidade, a sustentabilidade do local, a eficiência no uso de águas, a minimização do consumo de energia, o aperfeiçoamento do desempenho de sistemas, o aproveitamento de recursos regionais, o uso sustentável de materiais e recursos naturais, e etc.

A filosofia do projeto busca, quando possível, fazer uso de preceitos do *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). O LEED consiste em uma certificação que pode ser obtida por prédios, casas ou comunidades projetados e construídos utilizando estratégias que objetivem, dentre outros: menores custos operacionais e aumento de valor de ativos; reduzir os resíduos enviados para aterros; economia de energia e água; aproveitamento de águas pluviais; seja mais saudável e seguro para os ocupantes; reduzir as emissões nocivas de gases de efeito estufa.

#### 4.4.1.1.8 Dispositivos de Armazenamento e Liberação de Efluentes e Rejeitos

Por critério de projeto do empreendimento, qualquer resíduo, efluente ou rejeito sólidos, líquidos ou gasosos, serão coletados, analisados, tratados, armazenados e somente liberados após verificação de conformidade com leis, normas ou regulamentos de todas as esferas de controle no país. Os sistemas de engenharia a serem projetados e os procedimentos operacionais a serem estabelecidos no empreendimento devem garantir este critério.

A seguinte política será adotada na gestão de rejeitos radioativos (GRR) no empreendimento do RMB:

- Em todas as etapas da GRR, devem ser obedecidas as leis e as normas nacionais pertinentes, e observadas as recomendações de órgãos internacionais relevantes à área nuclear;
- Elementos combustíveis queimados (ECQ) devem ser armazenados como rejeito radioativo de atividade alta (RAA), de forma resgatável para, a qualquer

tempo, poderem ser reciclados, ou transferidos para um repositório nacional, em conformidade com a política do país em relação ao processamento de rejeitos de alta atividade;

- Os ECQs devem ser armazenados em depósito tipo piscina, em prédio anexo ao prédio do reator, por um período mínimo de 10 anos, quando então poderão ser transferidos para containers (“cascos”) de armazenamento a seco. O prédio onde os ECQs serão armazenados (N03 - Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens) deverá ter uma capacidade para estocar o equivalente a 20 anos de operação em via úmida (piscina) e o equivalente a 50 anos de operação, em via seca, dentro de containers;
- RAAs produzidos nas células de processamento de Mo-99 e nas demais dependências do Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes Radioativas (Prédio N04) devem, a princípio, permanecer no prédio, em locais apropriados para estocagem até que sejam acondicionados convenientemente e transferidos para depósito no Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens Irradiados (Prédio N03), onde ficarão em blindagens apropriadas;
- A gestão dos rejeitos de atividade baixa (RAB) do sítio deve ser realizada em duas etapas. A primeira etapa é realizada na própria instalação geradora do rejeito, tratado adequadamente, acondicionando e armazenando temporariamente. Na segunda etapa o RAB é enviado a uma unidade central de tratamento, em edificação separada do prédio do reator e demais instalações de produção, e identificada como Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos Radioativos (prédio N10);
- Todos os sistemas e equipamentos de manuseio de rejeitos radioativos deverão ser apropriados para facilitar as operações de transferência e transporte; devendo ser considerada em projeto a padronização de equipamentos para todas as instalações;
- O Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos Radioativos, caracterizado como depósito inicial, em conformidade com a Lei Federal nº 10.308, de 20 de novembro de 2001, deve ser dimensionado para tratar, acondicionar e manter todo o RAB produzido no empreendimento durante a vida útil do mesmo, ou seja, 50 anos. Laboratório dedicado à caracterização físico-química e radiológica dos rejeitos está incluído nesta unidade central de tratamento.

O Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos Radioativos tem como objetivo permitir a coleta, tratamento e estocagem, de forma segura e de acordo com a legislação nacional, de todos os rejeitos radioativos de baixa e média atividade produzidos no empreendimento, independentemente do prédio onde os mesmos são produzidos. O prédio terá uma compartimentação e infraestrutura adequadas, com processos sempre que possíveis automatizados, de forma a minimizar a taxa de exposição dos trabalhadores.

A área de estocagem do prédio foi dimensionada para acomodar os rejeitos produzidos durante toda a vida útil do empreendimento, estipulada em 50 anos. Todos os sistemas de tratamento e estocagem de rejeitos serão integrados de modo a facilitar o manuseio dos rejeitos e minimizar a possibilidade de contaminações radioativas, devendo estar localizados em áreas contíguas.

Todas as áreas de processo da instalação contarão com um sistema de exaustão de modo que todo o ar seja direcionado para uma unidade de filtração, e posteriormente encaminhado para uma coluna de exaustão. Rejeitos líquidos de processos comprovadamente radioativos serão direcionados para tanques onde os mesmos possam ser coletados para processamento e posterior embalagem. Todos os outros efluentes líquidos serão direcionados para um reservatório (tanque) de contenção, onde os mesmos serão periodicamente inspecionados.

Cada prédio/instalação onde seja manuseado, manipulado ou processado material nuclear ou material radioativo, deverá contar com um sistema de exaustão e de filtração do ar, incluindo pré-filtros, filtros de carvão e filtros absolutos para manter as áreas, as células ou as capelas sob depressão adequada. Deverá contar também com um sistema de monitoração, necessário para total controle dos efluentes gasosos. Havendo necessidade, rejeitos gasosos devem ser coletados e mantidos confinados pelo tempo necessário ao decaimento a níveis que permitam sua liberação controlada na atmosfera.

Na área do núcleo de produção e pesquisa haverá uma única chaminé que atenderá o Prédio do Reator, o Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens, o Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes, o Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados, e o Prédio do Laboratório de Radioquímica. No entanto cada prédio, isoladamente, deve possuir o controle sobre a caracterização e retenção e/ou liberação dos gases para a atmosfera.

Todas as instalações do empreendimento RMB terão sistemas independentes, e fisicamente separados, para coleta de efluentes químicos/industriais, esgoto sanitário, águas pluviais e, quando pertinente, efluentes líquidos radioativos de processos de descontaminação. Todo efluente químico/industrial, e o efluente radioativo deverão ser coletados, individualmente, e armazenados em tanques na própria instalação. Após análise serão encaminhados para processamento adequado. Efluentes radioativos serão encaminhados para o Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos Radioativos.

O efluente químico/industrial será encaminhado para uma estação de tratamento de efluente industrial (ETI). O esgoto sanitário de cada edificação será encaminhado para a respectiva rede de coleta, através da qual será direcionado para uma estação de tratamento de esgoto (ETE). As águas pluviais também serão coletadas através de uma rede apropriada, e encaminhadas diretamente para pontos de descarga a serem selecionados de forma a evitar a ação erosiva no terreno ou dano ao meio ambiente.

Como mencionado anteriormente, a maior quantidade de água utilizada no empreendimento é a água de reposição das torres de refrigeração do reator. A água é aduzida do rio

Sorocaba, e tratada numa ETA. A torre de refrigeração evapora parte da água de resfriamento (80% da vazão) e o restante (20% da vazão) é uma água de purga que vai ser tratada numa ETI (estação de tratamento de efluente industrial). Parte da água tratada na ETI será utilizada como água de reuso do empreendimento, e o excedente retornará ao rio Sorocaba por um duto paralelo ao duto de adução.

#### 4.4.1.2 Fatores Ambientais da Área de Estudo

A área selecionada para a instalação do empreendimento, conforme informado no item 4.3.2 esta localizada, em uma área rural no município de Iperó, estado de São Paulo, nas coordenadas 23° 23' 33,5" Sul, e 47° 37' 12,4" Oeste (Mapa 1), distando 121 quilômetros da capital do estado. O município de Iperó faz fronteira, iniciando ao norte e seguindo no sentido horário, com os seguintes municípios: Boituva, Porto Feliz, Sorocaba, Araçoiaba da Serra, Capela do Alto e Tatuí (Figura 22).



**Figura 22 – Imagem do Google Earth com a delimitação de Iperó e demais municípios próximos**

No sentido São Paulo – Iperó, as principais rodovias que fazem ligação são a Raposo Tavares (SP 270) e a Castelo Branco (BR 374). Já no sentido Iperó – Campinas pode-se citar como a principal rodovia de ligação a BR 374 e a SP 079. A principal via de acesso ao empreendimento consiste na Estrada Municipal Bacaetava-Sorocaba, conforme apresentado no Mapa 1.

A área do empreendimento insere-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba (UGRHI – 10), especificamente na Sub-bacia do Médio Sorocaba. O

principal curso d'água da região é o rio Sorocaba, sendo que seus afluentes ribeirão do Ferro e rio Ipanema, os mais próximos ao empreendimento.

O local proposto encontra-se em platô, a cerca 580 metros acima do nível do mar, em área rural. A ocupação urbana mais próxima consiste no centro urbano de Iperó, localizada a noroeste do RMB, a uma distância de aproximadamente a 7 km, em linha reta, do empreendimento.

- No de entorno do empreendimento são encontradas ocupações humanas espaçadas, destacando-se o assentamento Ipanema, localizado no interior da Floresta Nacional de Ipanema.

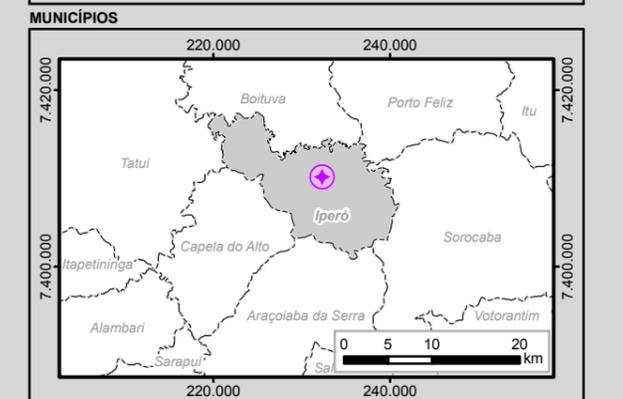
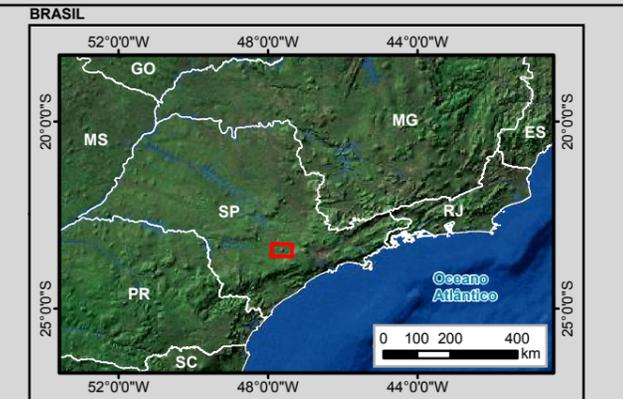
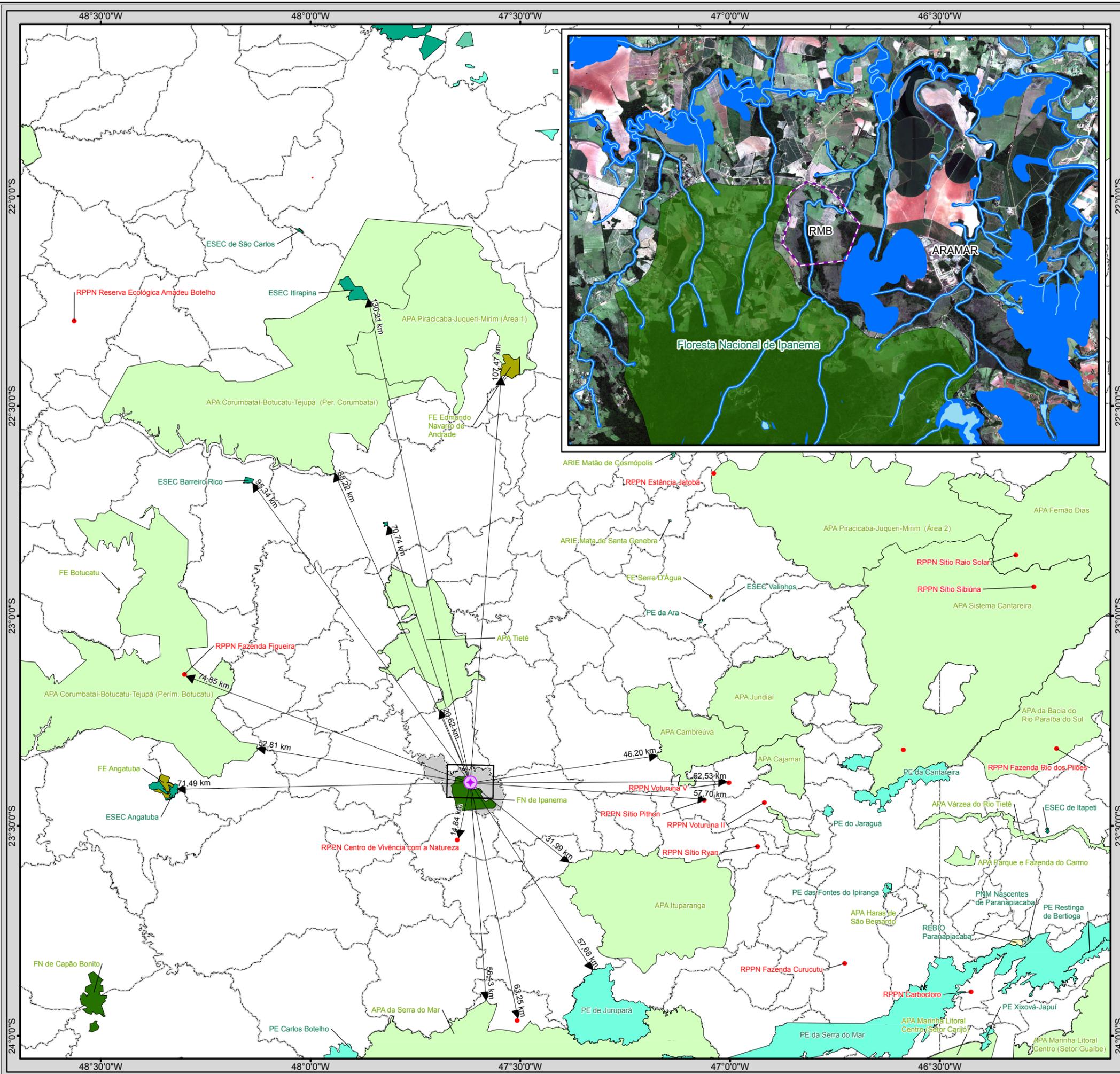
No contexto regional, as áreas ocupadas por cobertura vegetal antrópica predominam de forma significativa sobre as naturais. Não obstante, no entorno do empreendimento ainda há a presença de fragmentos florestais de Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Cerrado.

No que se refere à presença de Unidades de Conservação, a sul-sudoeste encontra-se a Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema, distando em aproximadamente 800 metros a partir do limite da propriedade do RMB.

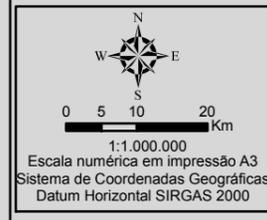
- Depois da FLONA acima citada, a Unidade de Conservação mais próxima do empreendimento é a Área de proteção Ambiental do Tietê, que dista mais de 20 quilômetros do empreendimento, conforme pode ser observado no Mapa 2;
- Assim, pode-se dizer que a Única Unidade de Conservação na região do empreendimento é FLONA de Ipanema.

Não há registro de Quilombolas e Terra Indígena na região.

No que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP), foi verificada na área do empreendimento 01 trecho de APP, associada à curso d'água, conforme observado no Mapa 2. Este assunto será aprofundado no capítulo referente ao Diagnóstico do Meio Biótico.



- Legenda**
- Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)
  - Reator Multipropósito Brasileiro (RMB)
  - Curso d'água
  - Massa d'água
  - Limite Municipal
  - Município de Iperó
  - APP - Área de Preservação Permanente
  - Unidades de Conservação**
  - Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN
  - Unidades de Conservação Proteção Integral**
  - Estação Ecológica / Estadual
  - Parque Estadual / Estadual
  - Parque Natural Municipal / Municipal
  - Reserva Biológica / Estadual
  - Unidades de Conservação Uso Sustentável**
  - Categoria / Jurisdição**
  - Área de Proteção Ambiental / Estadual
  - Área de Relevante Interesse Ecológico / Federal
  - Floresta Estadual / Estadual
  - Floresta Nacional / Federal



|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
| <b>Identificação do Projeto</b>                    |  |  |  |
| EIA/RIMA do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) |  |  |  |
| <b>Título do Mapa</b>                              |  |  |  |
| Mapa 2 - Fatores Ambientais da Área de Estudo      |  |  |  |
| <b>Empreendedor</b>                                |  |  |  |
| CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear        |  |  |  |
| <b>Responsável Técnico</b>                         | <b>Data:</b> Maio/2013   |  |  |
| MRS  | <b>Fonte:</b><br>Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo (IBGE, 2010)<br>Mapeamento Sistemático Base Vetorial Contínua, 1:250.000, Área 3/2009<br>Lote 2 (IBGE, 2009); Imagem Orbital Worldview2, Composição das Bandas<br>R3, G2, B1, Resolução Espacial 0,5 m, Data da Passagem: 21/12/2011;<br>Unidades de Conservação: ICMBio (Agosto, 2011), IBAMA (Junho, 2011) |  |  |
| Estudos Ambientais                                 |  |  |  |

#### 4.4.2 PLANTA GERAL E ASPECTOS EXTERNOS

A Figura 24 apresenta o plano diretor do Empreendimento RMB com os prédios previstos e as áreas de conservação e as áreas de expansões futuras.

O sítio do empreendimento é composto de dois terrenos. O primeiro terreno é uma fração do terreno do CEA que foi cedido pela Marinha à CNEN contendo 1,214 milhões de metros quadrados. Nesta fração a mata nativa é preservada e não existe qualquer plantação. O segundo terreno é composto de pequenas propriedades particulares, onde em algumas delas se desenvolvem atividades de cultivo, principalmente milho e cana, e pequena criação de animais como gado, aves, e suínos. Este segundo terreno foi declarado como área de interesse público para desapropriação e será cedido pelo Estado de São Paulo à CNEN. Contem 840 mil metros quadrados. O terreno total do RMB somará 2,054 milhões de metros quadrados. A Figura 23 apresenta estes terrenos no sítio do RMB.

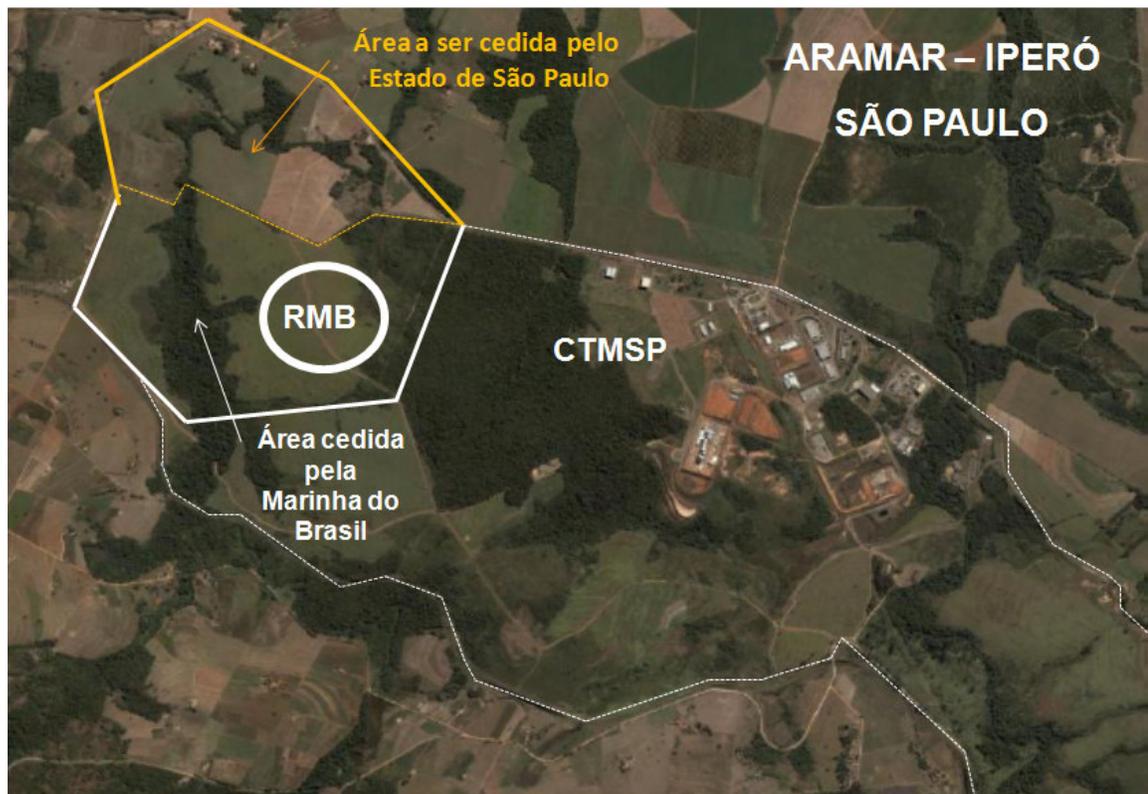
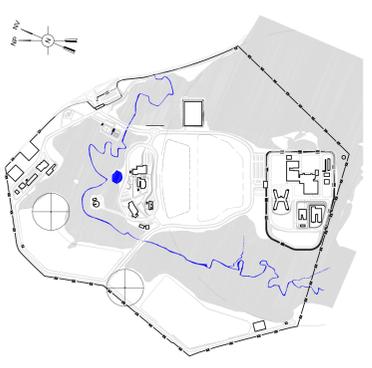
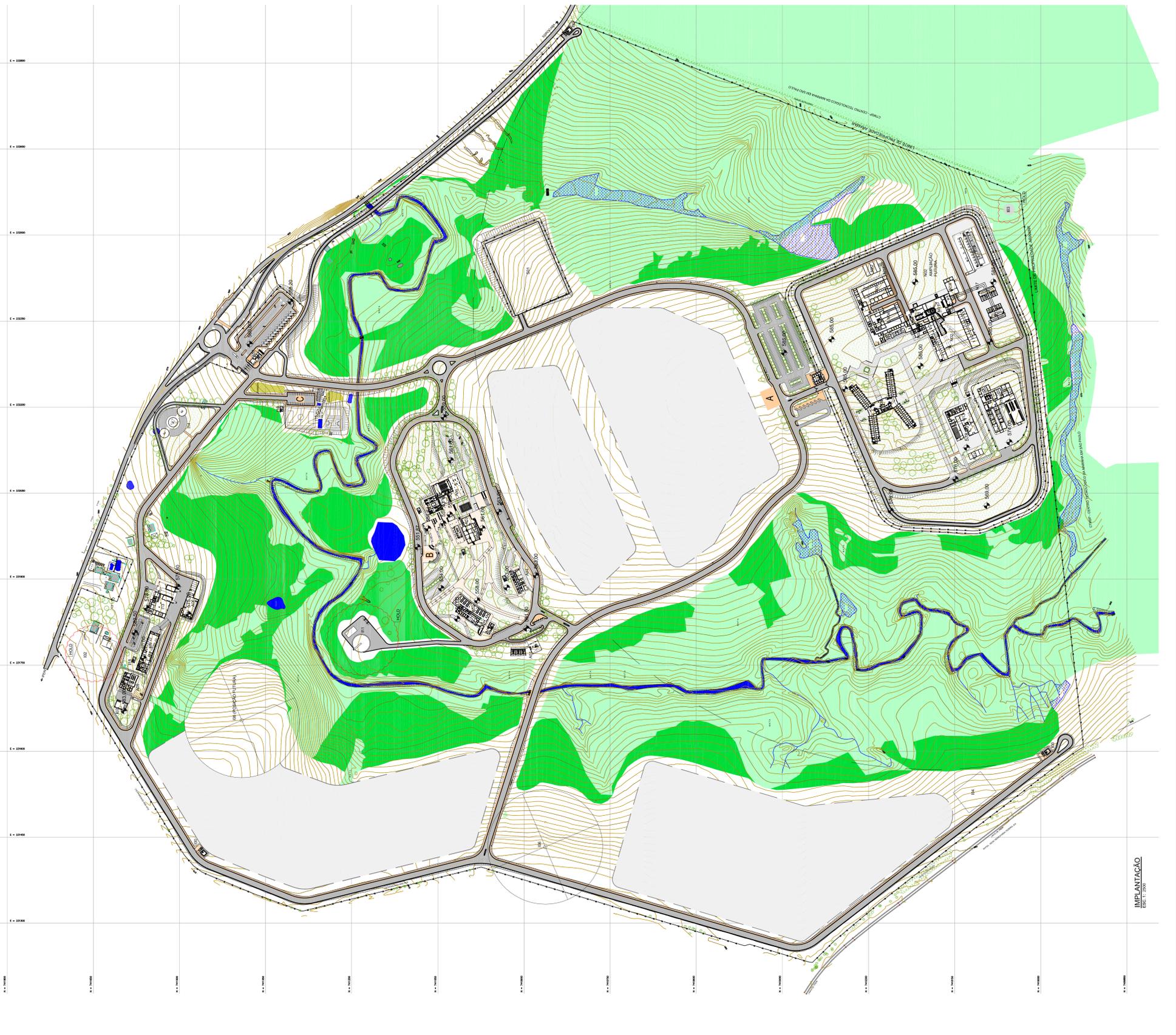


Figura 23 - Terrenos do sítio do RMB em ARAMAR - Iperó.



PLANTA CHAVE

LEGENDA:

- ÁREA DE EXPANSÃO
- ÁREA CLIMA EXISTENTE
- REFORMA DE EXPANSÃO PROPOSTA
- PONTOS DE ENCONTRO PARA ROTA DE FUGA
- VIA DE TRÁFICO CALM
- VIA DE EXPANSÃO FUTURA

| PRECISO | DESCRIÇÃO  |
|---------|--|
| N01     | PRECISO DO REATOR  |
| N02     | PRECISO DAS ÁGUAS DE NEUTRONS  |
| N03     | PRECISO DA ESTOCAGEM DE COMBUSTÍVEL QUEIMADO E MANUSEIO DE ITENS     |
| N04     | PRECISO DE PROCESSAMENTO DE RADIONUCLÍDEOS E PRODUÇÃO DE FONTES      |
| N05     | PRECISO DO LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MATERIAS PRIMARIAS - LAM        |
| N06     | PRECISO DE LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MATERIAS PRIMARIAS - LAM        |
| N07     | PRECISO DE SUPORTE À OPERAÇÃO  |
| N08     | PRECISO DOS PESSOALSOBRES  |
| N09     | TORRES DE REFRIGERAÇÃO   |
| N10     | PRECISO DE TRATAMENTO DE E ESTOCAGEM DE REJETOS                      |
| N11     | PRECISO DA CABINE PRIMARIA CP-01                                     |
| N12     | PRECISO DA CABINE PRIMARIA CP-02                                     |
| N13     | PRECISO DA OPERAL DE APOIO AO REATOR                                 |
| N14     | PRECISO DE CONTROLE DE ACESSO À ÁREA NUCLEAR CONTIGUA                |
| N15     | PRECISO DOS SISTEMAS AUXILIARES                                      |
| N16     | GALEIA   |
| N18     | RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS UNIDADES DE RESERVAÇÃO DE        |
| N19     | RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS TORRES DE RESERVAÇÃO             |
| N21     | ETS-1  |
| N22     | ETS-2  |
| S01     | SUBESTAÇÃO PRINCIPAL DO SITE INB                                     |
| S02     | TORRES DE VIGIÂNCIA  |
| S03     | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  |
| S04     | RESERVAÇÃO LLEVADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL              |
| S05     | VIA RODOVIARIA   |
| S06     | PONTE SOBRE O CORREGO ENREDO DO FERRO                                |
| S07     | TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS                                       |
| S08     | CENTRAIS DE GASES  |
| S09     | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO GERAL DO SITE                                  |
| S10     | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO GERAL DO SITE                                  |
| S11     | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)                                |
| S12     | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL                         |
| S13     | ALMOXARIFADO GERAL   |
| S14     | HELIPORTO  |
| S15     | ÁREA DE LAZER  |
| S16     | CABINE PRIMARIA JUNTO AO PRECISO DA ADMINISTRAÇÃO (AO)               |
| S17     | CABINE PRIMARIA JUNTO AO PRECISO DA ADMINISTRAÇÃO (AO)               |
| S18     | CABINE PRIMARIA JUNTO AO PRECISO DA ADMINISTRAÇÃO GERAL DO SITE (PG) |
| S19     | CABINE PRIMARIA JUNTO AO PRECISO DA ADMINISTRAÇÃO GERAL DO SITE (PG) |
| A01     | HOTEL  |
| A02     | RESTAURANTE  |
| A03     | ADMINISTRAÇÃO E BIBLIOTECA   |
| A04     | AMBIATÓRIO MÉDICO  |
| A05     | CENTRO DE TRATAMENTO E EXPOSIÇÃO                                     |
| A06     | CANTINA  |
| A07     | CONDOMÍNIO PRINCIPAL   |
| A08     | PRECISO DE APOIO AOS TERCEIROS                                       |

NOTA: H2O - AQUECIMENTO COMBUSTÍVEL DEFENITA

| Rev. | Descrição  | Elab. | Verif. | Aprov. | Data     |
|------|--|-------|--------|--------|----------|
| A    | PRECISO DE APOIO AOS TERCEIROS                           | DSB   | AMF    | EOO    | 02/09/12 |
| B    | CONDOMÍNIO PRINCIPAL                                     | DSB   | AMF    | EOO    | 01/09/12 |
| C    | CONDOMÍNIO PRINCIPAL                                     | DSB   | AMF    | EOO    | 01/09/12 |
| D    | RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS TORRES DE RESERVAÇÃO | DSB   | AMF    | EOO    | 01/09/12 |
| E    | RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS TORRES DE RESERVAÇÃO | DSB   | AMF    | EOO    | 01/09/12 |
| F    | RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS TORRES DE RESERVAÇÃO | DSB   | AMF    | EOO    | 01/09/12 |
| G    | ATUALIZAÇÃO DOS PRECISOS DO INP                          | DSB   | AMF    | EOO    | 02/09/12 |

**intechne CONSULTORES S.A.**

Projeto: 1201-RM-3-GE-000-C-70-DE-0001  
 Cliente: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
 Diretoria: DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
 Local: REATOR MULTIRREATOR BRASILEIRO

Arquiteto: J. J. Bobb  
 Engenheiro: L. J. Bobb  
 Data: 02/09/12

Projeto: 1201-RM-3-GE-000-C-70-DE-0001  
 Cliente: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
 Diretoria: DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
 Local: REATOR MULTIRREATOR BRASILEIRO

Projeto: 1201-RM-3-GE-000-C-70-DE-0001  
 Cliente: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
 Diretoria: DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
 Local: REATOR MULTIRREATOR BRASILEIRO

O sítio do RMB será totalmente cercado em sua periferia por cercas de tela metálica e mourões de concreto. Deverá ser mantido o corredor de ligação de fauna e flora do ribeirão do Ferro e sua mata ciliar.

O sítio confronta ao sul e leste com o CTMSP. Ao nordeste e norte, o sítio confronta com a estrada municipal Bacaetava-Sorocaba, estrada existente asfaltada, que liga o município de Sorocaba ao município de Iperó. A noroeste e oeste o sítio é confrontado com uma via de terra local, de conexão a pequenas propriedades rurais. A sudoeste o sítio confronta com a estrada de ferro operada pela empresa America Latina Logística (ALL) para transporte de cargas. A existência do RMB não imporá mudanças nas vias externas existentes.

A portaria de acesso do empreendimento prevê um recuo no próprio terreno do empreendimento para estacionamento e modificação local da via de acesso conforme mostrado na Figura 25.

Os sistemas de tratamento de água e esgotos químico e sanitário serão internos ao empreendimento. A adução de água para o empreendimento será obtida no rio Sorocaba, a aproximadamente dois quilômetros ao norte do sítio do empreendimento, e virá por tubulação enterrada por estrada municipal com entrada no sítio do empreendimento atravessando a estrada municipal Bacaetava-Sorocaba.

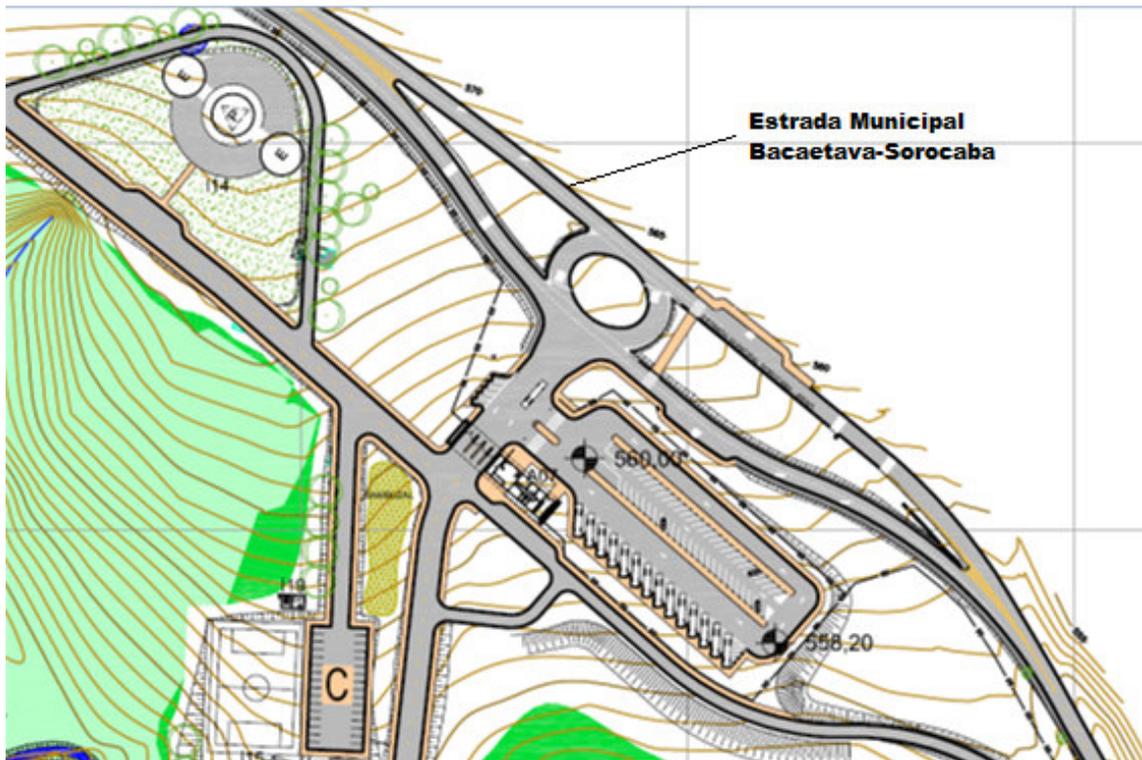


Figura 25 - Entrada Planejada para o Empreendimento RMB.

Na Figura 24, do plano diretor do empreendimento, estão anotados os prédios e áreas futuras de possibilidade de instalação futura de novos prédios (laboratórios) no sítio do RMB. O projeto do plano diretor procura preservar ao máximo a mata existente. Está anotada em verde claro a mata hoje existente no sítio do empreendimento. Esta área possui

aproximadamente 607 mil metros quadrados que representa em torno de 30% da área total do sítio. Está anotada em verde escuro uma área reservada para replantio futuro de espécies nativas da região, com uma estimativa máxima de 130 mil metros quadrados. O critério básico adotado para futuro replantio é de manter uma faixa em torno de 50 a 60 metros em cada lado da margem do ribeirão do Ferro e de 30 metros ao redor de nascentes, brejos e filetes de água. Toda a mata ciliar hoje existente, que excede os valores mencionados, será preservada.

A Tabela 6 apresenta as dimensões estimadas hoje para os prédios do núcleo de produção e pesquisa que se situam nas imediações da chaminé de liberação de gases (exaustão dos prédios), que poderão ter alguma influência de depressão na pluma de emissão atmosférica.

**Tabela 6 - Principais dimensões dos prédios do Núcleo de Produção e Pesquisa.**

| Prédio  | Dimensões(m)               |                              |        |
|---|----------------------------|------------------------------|--------|
|   | Largura<br>(leste - oeste) | Comprimento<br>(norte – sul) | Altura |
| N01 - Prédio do Reator  |                            |                              |        |
| N03 - Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens | 34,7                       | 73,7                         | 24,5   |
| N02 - Prédio das Guias de Nêutrons                                      | 70                         | 70                           | 15     |
| N04 - Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes     | 39,05                      | 76,9                         | 15     |
| N05 - Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados - LAMI  | 35,9                       | 63,25                        | 15     |
| N06 - Prédio do Laboratório de Radioquímica                             | 18,15                      | 76,9                         | 4      |
| N07 - Prédio de Suporte à Operação                                      | 13,5                       | 22                           | 17     |
| N10 - Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos                      | 42,5                       | 21,7                         | 7      |
|   | 42,5                       | 21,7                         | 7      |
|   | 30,9                       | 19,65                        | 4      |
|   | 0,9                        | 19,65                        | 6      |
| N08 - Prédio dos Pesquisadores  | -                          | -                            | 12     |
| N13 - Prédio da Oficina de apoio ao Reator -                            | 53,95                      | 39,2                         | 6      |
| N15 - Chaminé   | -                          | -                            | 40     |

Está instalada na posição noroeste do sítio do empreendimento uma torre meteorológica. O equipamento é composto por sensores, *data-logger*, estrutura metálica, cabos, coletores solares e aterramento contra descargas elétricas. O sistema foi especificado para atender à CNEN-NE 1.22, e possui uma estrutura metálica estaiada com 102 m de altura, e 5 níveis instrumentados nos níveis de 2 m, 10 m, 40 m, 70 m e 100 m, além da instrumentação para precipitação pluviométrica a 1 m da superfície.

A aquisição dos dados é realizada a cada intervalo de 5 segundos e posteriormente sumarizada em médias ou totais a cada intervalo de 15 minutos e 60 minutos. Os dados ficam armazenados na memória do *data-logger* e periodicamente enviados por telefonia celular (até que exista infraestrutura de tecnologia da informação na área) para o provedor do fornecedor da torre e, posteriormente, retransmitidos para o servidor Intranet do IPEN/CNEN em São Paulo. Os dados são armazenados gerando a base de dados com

médias de 15 minutos e a base de dados com médias horárias. Os parâmetros meteorológicos monitorados na torre são:

- Temperatura (em abrigo aspirado) - níveis de 2 m, 10 m, 40 m, 70 m e 100 m
- Umidade relativa - níveis de 10 m e 100 m
- Velocidade e direção do vento - níveis de 2 m, 10 m, 40, 70 m e 100 m
- Pressão atmosférica - nível de 2 m.
- Precipitação pluviométrica - nível de 1 m.

O sistema controlado por *data-logger* programável por sensor permite expandir o sistema no futuro se for necessário. A velocidade e direção do vento são monitoradas por anemometria sônica. Para estudos de intercomparação foi instalado, adicionalmente, no nível de 10 m, um sensor convencional para velocidade e direção do vento.

Com os parâmetros meteorológicos monitorados na torre do empreendimento RMB, será possível obter indicações sobre a estabilidade atmosférica nas primeiras camadas da superfície através do gradiente vertical de temperatura e da flutuação horizontal da direção do vento, como também, informações de rajadas do vento.

Todos os parâmetros coletados são verificados a partir de programas de análise de dados, e mantidos em uma base de dados para utilização operacional pelos operadores das plantas nucleares, usuários diversos, incluindo a disseminação para usuários externos quando for necessário e de interesse recíproco.

#### 4.4.3 REATOR E SISTEMAS ASSOCIADOS

##### 4.4.3.1 Informações Gerais

O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) será um reator do tipo piscina aberta, com uma potência térmica de até 30 MW. Ele tem como projeto de referência o reator OPAL da Austrália (20 MW). Os reatores OSIRIS (70 MW) e Jules Horowitz (100 MW) da França, e ETRR-2 (22 MW) do Egito serão observados como modelos para referências complementares.

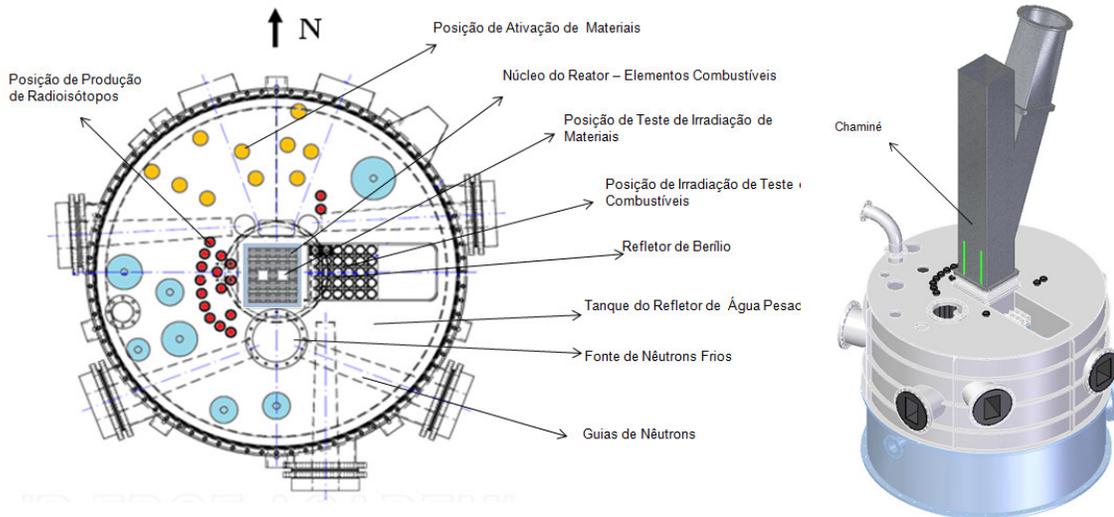
O projeto básico do reator será desenvolvido em conjunto entre a CNEN brasileira e a INVAP da Argentina, sendo os projetos de concepção e básico das edificações e estruturas físicas do Empreendimento RMB desenvolvidos pela CNEN com a empresa brasileira contratada INTERTECHNE Consultores S.A.

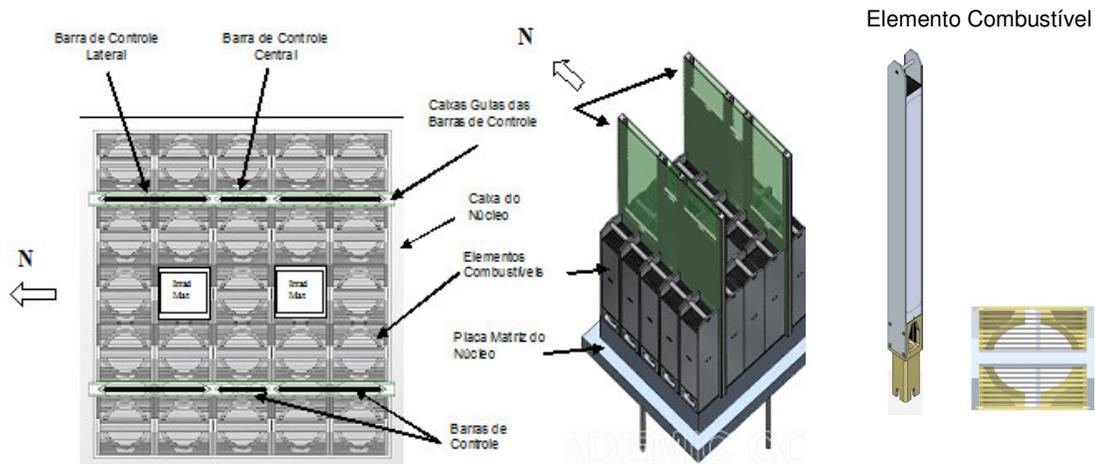
O núcleo do reator RMB terá uma configuração 5 x 5, sendo composto de 23 elementos combustíveis (EC) do tipo dispersão de  $U_3Si_2-Al$  com uma densidade de até  $4,8 \text{ gUcm}^{-3}$  e enriquecimento de 19,75% em peso de U-235. Duas posições no núcleo serão disponibilizadas para dispositivos de irradiação de materiais.

O fluxo de nêutrons térmicos no núcleo deverá ser superior a  $1 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s e o fluxo de nêutrons rápidos superior a  $2 \times 10^{14}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>.s. O núcleo do reator será refrigerado e moderado a água leve, tendo como refletores a água (H<sub>2</sub>O), a água pesada (D<sub>2</sub>O) e blocos de berílio (Be), cada um em posições determinadas.

Toda a estrutura do núcleo do reator estará contida dentro de uma seção transversal retangular denominada “chaminé”, que formará parte do Sistema de Resfriamento Primário (SRP). O resfriamento do núcleo será promovido pela circulação forçada de água desmineralizada, no sentido ascendente. Em operação normal, o refrigerante será bombeado através do núcleo do reator e, então, via tubulações, para o trocador de calor antes de retornar novamente para a entrada do núcleo.

A chaminé será envolvida por refletores de nêutrons: água pesada e, numa das faces, blocos de berílio. O refletor de água pesada será contido no Tanque do Refletor (TQ1). Em posições determinadas do TQ1 serão produzidos radioisótopos. Os testes de combustíveis nucleares serão conduzidos unicamente em posições contíguas aos blocos de berílio. A região do refletor incluirá ainda uma instalação para acomodar uma Fonte de Nêutrons Frios (FNF) e dispositivos para fornecer feixes de nêutrons para experimentos localizados no saguão do prédio do reator e no prédio das guias de nêutrons (Prédio N2). Testes de irradiação de materiais serão conduzidos, em posições centrais do núcleo do reator. A Figura 26 esquematiza esse arranjo do núcleo do reator.





**Figura 26 – Esquema do núcleo do reator RMB.**

A chaminé e o refletor estarão localizados dentro da Piscina do Reator (PIR), contendo água leve desmineralizada, que serve como blindagem radiológica em condições de operação do reator. A água possibilita, também, a refrigeração do núcleo do reator durante a operação normal e após o desligamento do reator, retirando neste caso o calor residual dos combustíveis.

O projeto do núcleo do reator e de seus refletores será otimizado e levará em conta, os seguintes aspectos:

- A possibilidade de acomodar dispositivos de irradiação inseridos no núcleo do reator com fluxos de nêutrons rápidos compatíveis para teste de materiais;
- A possibilidade de acomodar dispositivos de irradiação nos blocos de berílio para testes de materiais e irradiação de combustíveis nucleares, permitindo ajuste do fluxo de nêutrons e do calor dissipado. Os dispositivos de irradiação deverão ter refrigeração independente;
- A possibilidade de acomodar alvos em dispositivos de irradiação a serem irradiados no TQ1 e nas posições dos blocos de berílio para produção de radioisótopos;
- O posicionamento adequado dos *beam-holes* (tubos de extração de feixe de nêutrons), com intensidades de fluxo de nêutrons adequadas aos experimentos previstos.

O reator será desligado pela queda de barras de controle/segurança no núcleo. Estas barras são barras absorvedoras de nêutrons e se movimentam por um mecanismo de acionamento localizado numa sala abaixo da PIR, denominada Sala dos Mecanismos de Acionamento de Barras de Controle (MAB). As Barras de Controle (BC) são utilizadas para o controle da potência do reator. O desligamento do reator é garantido pela inserção simultânea (pela ação da gravidade) de todas as barras de controle quase que instantaneamente (menos de um segundo).

Todos os componentes estruturais do reator são projetados para atender requisitos funcionais e garantir o desligamento seguro do reator. O projeto deverá garantir que o núcleo do reator e os dispositivos de irradiação possam ser adequadamente resfriados em todas as condições normais de operação, ocorrências operacionais previstas, acidentes da base de projeto e acidentes postulados que excedam as bases de projeto.

As estruturas do reator estarão sujeitas a requisitos de segurança estabelecidos por normas regulatórias e serão projetadas e construídas para garantir uma probabilidade de falha muito baixa. Além disso, as estruturas serão projetadas para facilitar a montagem, a desmontagem, a manutenção e o futuro descomissionamento do reator. Os materiais estruturais serão selecionados de acordo com suas propriedades mecânicas, resistência à corrosão, absorção de nêutrons, ativação pela irradiação, entre outras.

O processo/tecnologia de fabricação dos elementos combustíveis (EC) do núcleo do RMB é de domínio nacional. Estima-se um consumo de cerca de 60 ECs por ano, com o reator operando na sua potência máxima de 30 MW, num ciclo de operação contínua (24 horas por dia) de aproximadamente 28 dias, e onze ciclos de operação por ano.

Após serem removidos do núcleo do reator, os ECs utilizados serão colocados em cestos (racks) localizados na PIR, por um tempo aproximado de um a dois meses, sendo depois transferidos para a Piscina de Serviço (PIS), dentro do Prédio do Reator (PR – N01), onde ficarão por um tempo mínimo de um ano. Após esse período, os EC queimados serão transferidos da PIS para a Piscina de Estocagem dos Combustíveis Queimados (PECQ), localizada no Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (PECQMI – N03). Após decaírem a um nível de atividade que permita a sua remoção e alojamento em cascos de estocagem, os EC queimados serão transferidos para cascos de estocagem a serem armazenados na Área de Estocagem de Cascos e Tambores (AECT) do PECQMI.

As seções seguintes apresentam os vários prédios e sistemas que constituem o núcleo de produção e pesquisa do Empreendimento RMB.

#### 4.4.3.1.1 Prédio do Reator (N01)

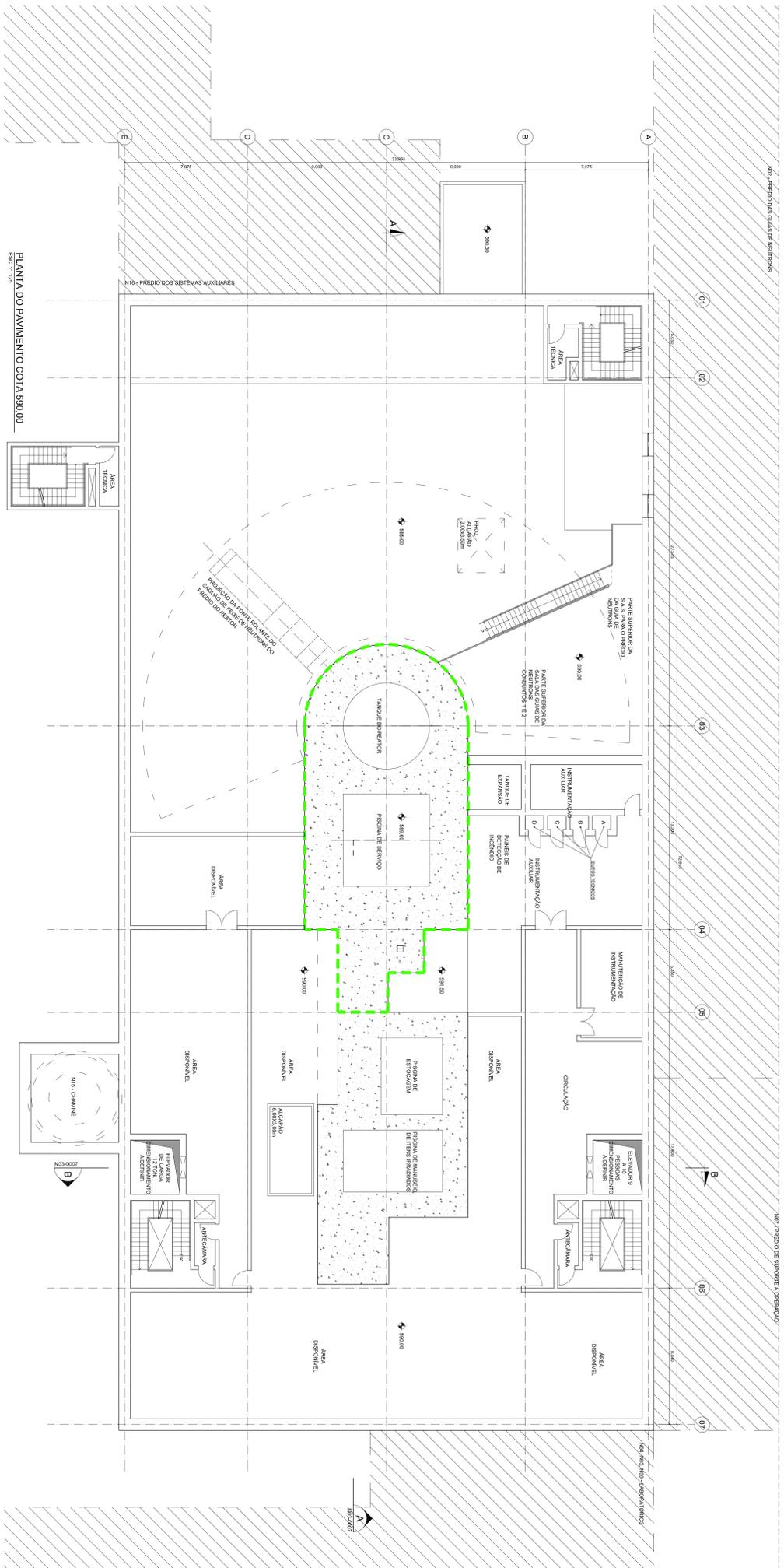
O Prédio do Reator (PR) constitui-se de uma série de barreiras físicas para proteger o meio ambiente, o público, os trabalhadores e os outros prédios do empreendimento RMB da liberação da radiação de acordo com normas e critérios nacionais e internacionais.

Dentro da arquitetura do projeto do RMB, o PR é contíguo, ao norte, ao Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (PECQMI – N03) e, mais além, pelo Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (PPRPF – N04), pelo Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados (LAMI – N05) e pelo Prédio do Laboratório de Radioquímica (PLR – N06). A oeste, o PR é contíguo aos Prédios de Suporte à Operação (PSO – N07) e ao Prédio das Guias de Nêutrons (PGN - N02). Ao sul é contíguo ao Prédio dos Sistemas Auxiliares (PSA) (ver Figura 24 do item 4.4.2). A

Figura 27 a Figura 29 apresentam o leiaute do prédio do reator e o prédio de estocagem de combustíveis queimados e manuseio de itens.



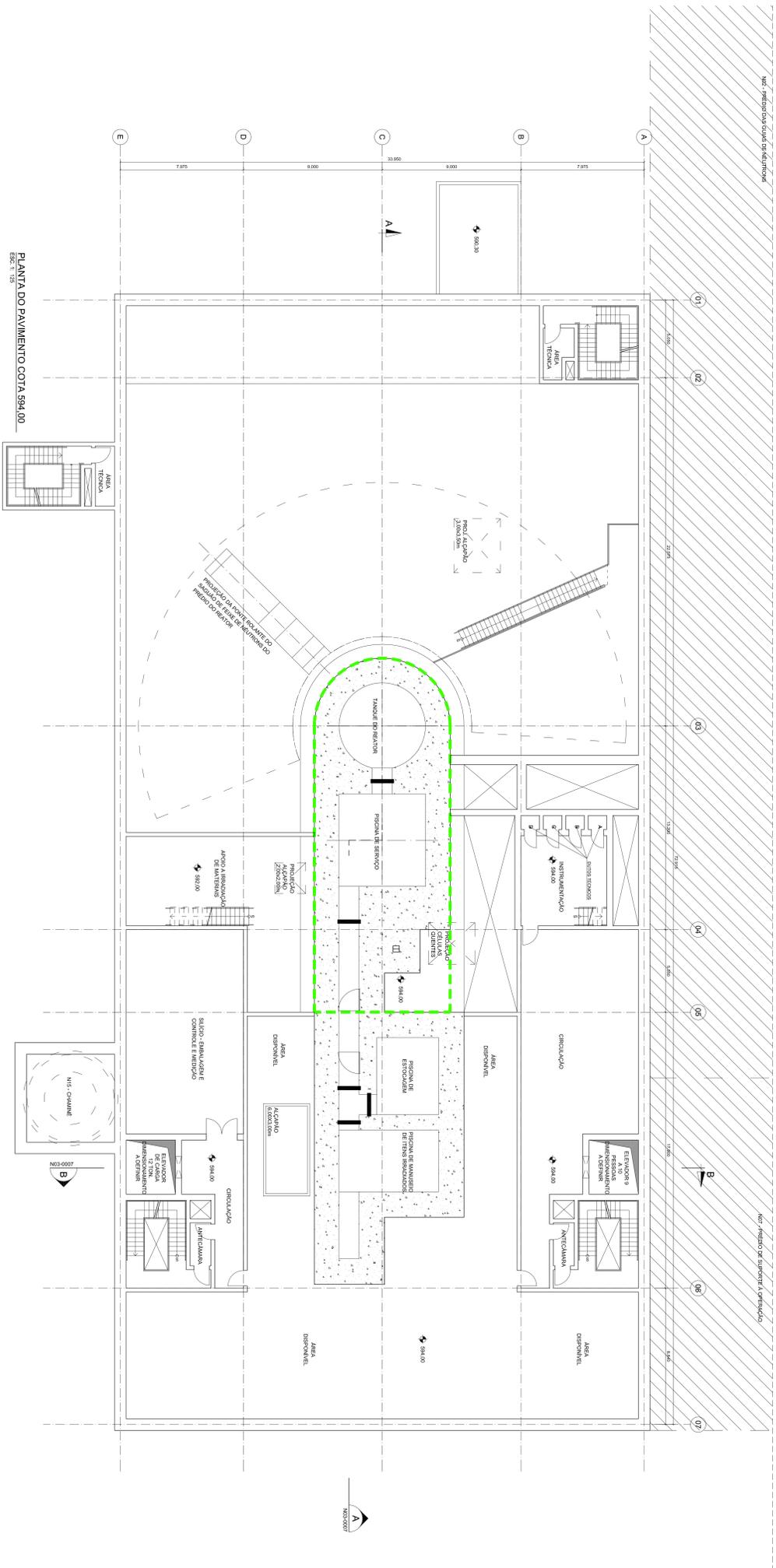
NOTA: Referir-se aos eixos de referência



PLANTA DO PAVIMENTO COTA 590,00

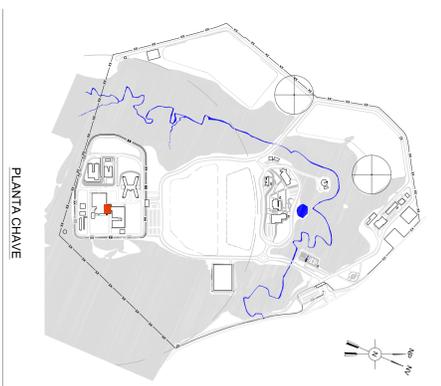
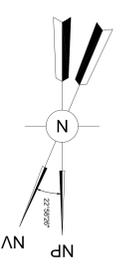
Esc: 1:25

NOTA: Referir-se aos eixos de referência



PLANTA DO PAVIMENTO COTA 594,00

Esc: 1:25



- LEGENDA:**
- Vazio
  - Produção Brutos
  - Produção Superior Inferior
  - Área de Contorno

| Rev. | Data | Descrição                                | Elab. | Ver. | Aut. | Ass.     | Rev. |
|------|------|--|-------|------|------|----------|------|
| 0    |      | APROVADO: CONTRATE DOCUMENTO Nº 138/2012 | DBS   | AVF  | EVJ  | 18/07/13 |      |
|      |      | Desenvolvido                             | DBS   | AVF  | AVM  |          |      |
|      |      | REVISÃO                                  |       |      |      |          |      |

**hitechne CONSULTORES S.A.**

ARQUITETURA - PROJETO

PRÉDIO DE ESTOQUE DE COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS

PLANTA DOS PAVIMENTOS NÍVEIS 590,00 E 594,00

1201-RM-3-AN-NO3-00-C-70-DE-0004

11/25

18/07/2013

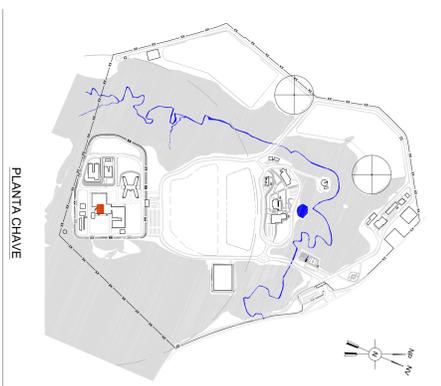
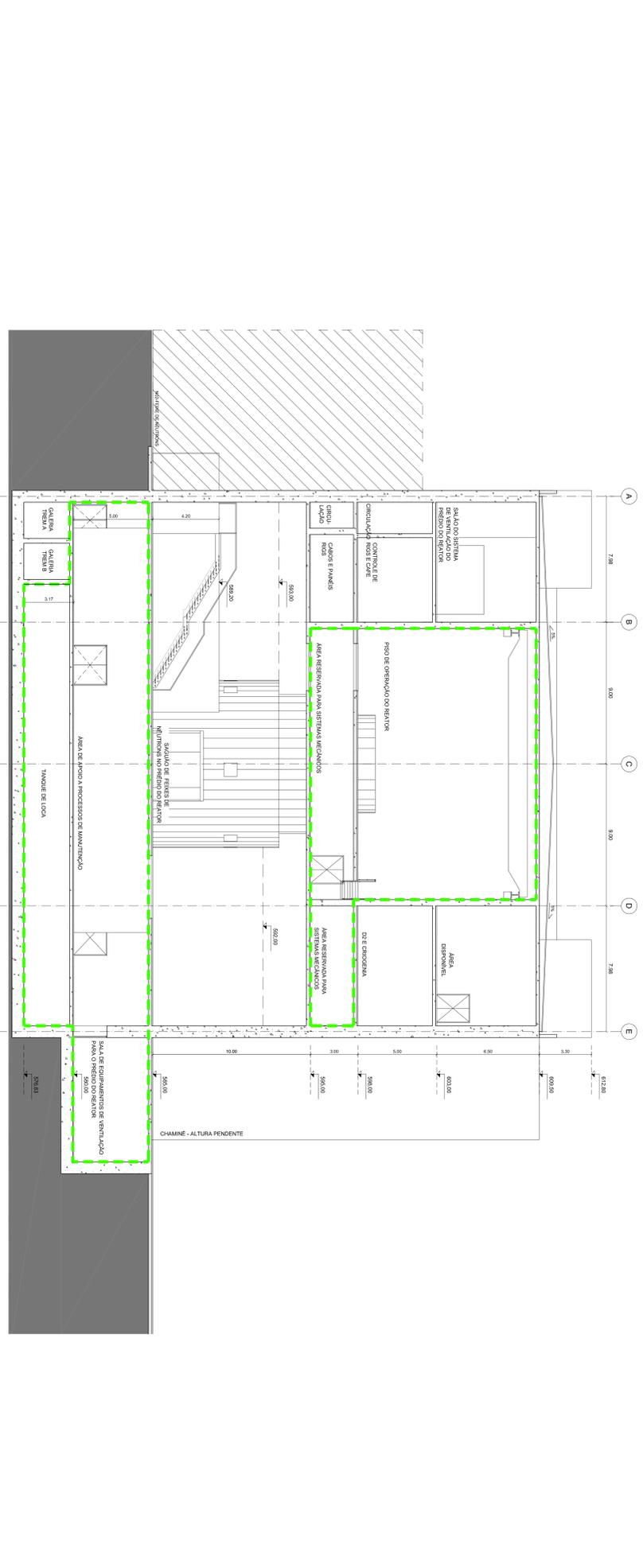
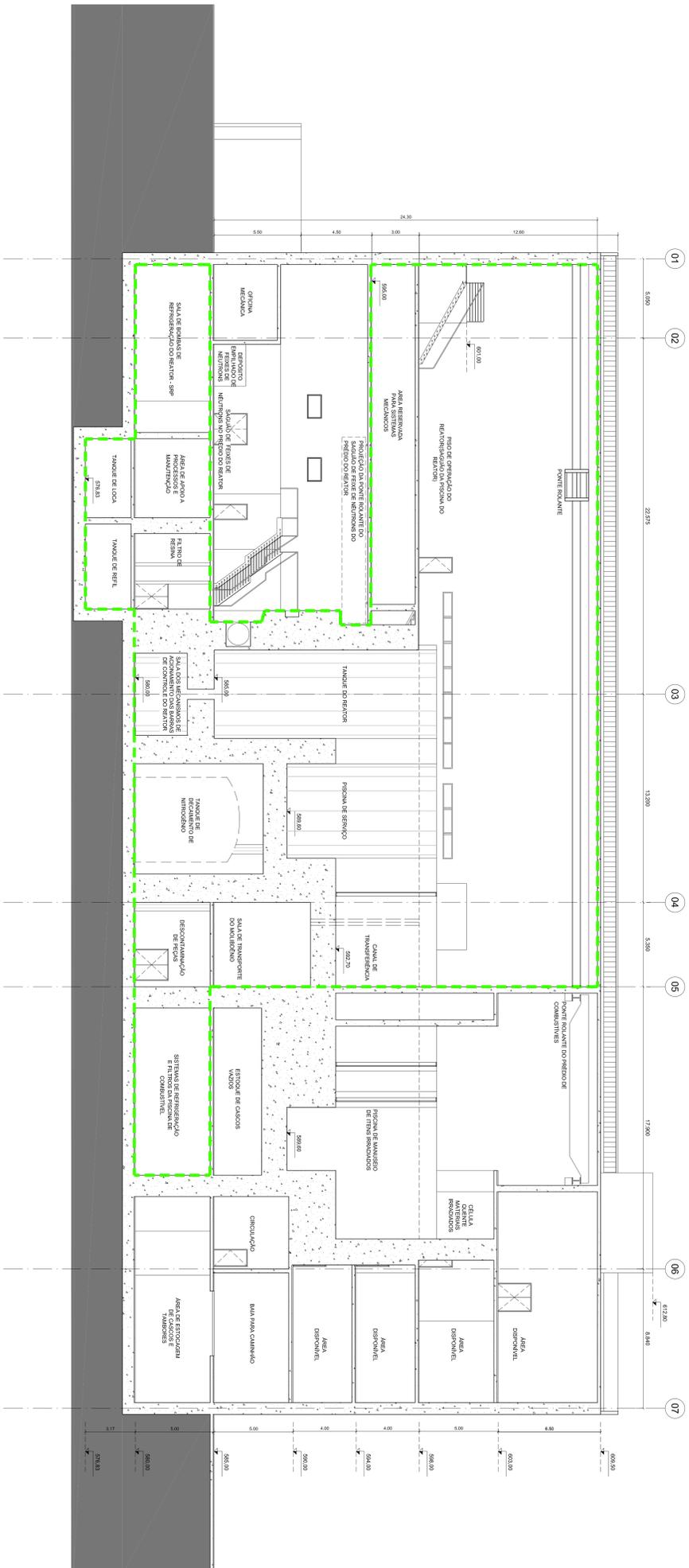
1:25

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO

RMB-NO3-II-PC-18110-CP-004

É PROIBIDA A REPRODUÇÃO OU IMPRESSÃO TOTAL OU PARCIAL, SEMPRE DEBENDO SER MENCIONADO O NOME DA EMPRESA DO QUAL



**LEGENDA:**  
 --- PROJEÇÃO EXTERIOR  
 --- PROJEÇÃO INTERIOR  
 --- ÁREA DE CONTÍNGIO

| Rev. | Descrição                                      | Elab.   | Verif. | Assin. | Data     |
|------|--|---------|--------|--------|----------|
| 0    | APROVAÇÃO CONCESSIONÁRIA DOCUMENTO Nº 128/2012 | CSB     | APF    | EVJ    | 18/07/13 |
| 1    | REVISÃO  | REVISÃO |        |        |          |

**Intertechne CONSULTORES S.A.**

**ARQUITETURA - PROJETO**  
**PRÉDIO DO REATOR**  
**CORTES**

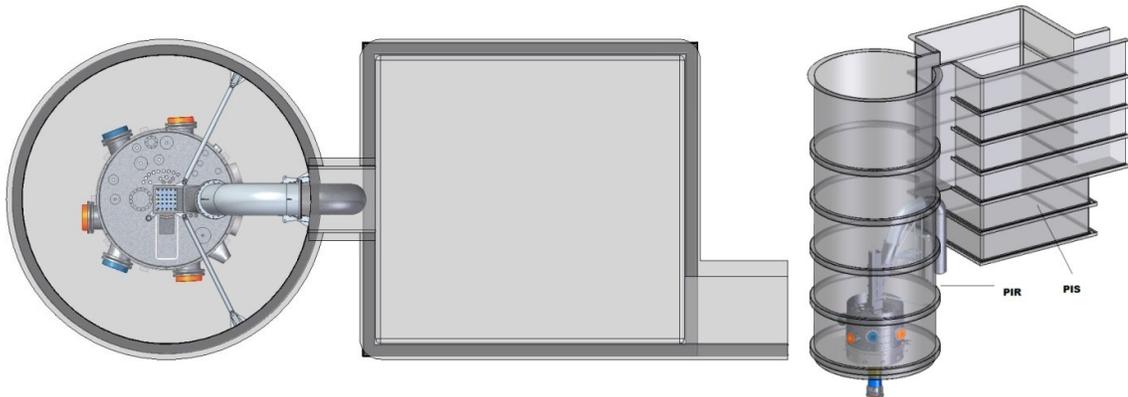
Comissão de Energia Nuclear do Brasil  
**CEN**  
 REATOR MULTIPROPOÓSITO BRASILEIRO  
 RMB-N01-IT-PC-18110-CP-007

Projeto de Engenharia de Arquitetura e Urbanismo  
 Rua...  
 São Paulo, SP

O PR incorpora uma estrutura de concreto, denominada Bloco do Reator (BR), que atua como uma blindagem para as fontes de radiação dentro da instalação, sendo classificado como uma instalação nuclear. O BR é uma estrutura maciça construída de concreto de alta densidade e envolve a Piscina do Reator (PIR), a Piscina de Serviço (PIS), o Tanque de Decaimento de Nitrogênio (TDN) e a Sala dos Mecanismos de Acionamento de Barras de Controle (MAB). A PIR é de aço inox, com diâmetro interno de 5,6 m e altura de 13,0 m e contém todos os suportes para instalação dos instrumentos considerados necessários para monitorar as condições do reator, de forma a permitir uma operação segura.

No PR, o saguão principal, ou seja, o piso da Sala de Operação do Reator encontra-se imediatamente acima do BR. A PIR e a PIS são as principais estruturas internas do PR, que é guarnecido com um confinamento em concreto. O confinamento é a barreira final (terceira barreira) projetada para evitar a liberação não controlada de material radioativo para o meio ambiente. A taxa de vazamento de ar é mantida no menor nível possível através da utilização de antecâmaras de comunicação entre áreas, através do sistema de ventilação.

A PIR e a PIS são tanques abertos, conectados entre si em equilíbrio termodinâmico pelo canal de transferência de EC queimados e itens irradiados. A Figura 30 mostra esquematicamente o PIR e o PIS.



**Figura 30 - Leiaute da Piscina do Reator (PIR) e Piscina de Serviço (PIS).**

A PIR contém o núcleo do reator e as estruturas associadas, a chaminé, o tanque do refletor (TQ1), as estruturas dos dispositivos de irradiação, as estruturas dos feixes de nêutrons, a fonte de nêutrons frios (FNF), parte do sistema de resfriamento primário (SRP) e do inventário de água do primário. Ela também fornece apoio mecânico a essas estruturas e sistemas.

As principais funções da PIR são conter o inventário de água necessário para fornecer a refrigeração do núcleo durante as condições operacionais do reator e na hipótese dos acidentes básicos de projeto (ABP) e fornecer blindagem contra a radiação no topo da piscina. Para diminuir a dose de radiação no saguão de operação do reator, também existe um sistema de camada de água quente e purificação (SCAQP) que impede que uma concentração maior de íons radioativos na superfície da água da PIR. O TR também contém

um espaço para armazenar em cestos (*racks*) a quantidade de ECs equivalente a um núcleo completo do reator.

As funções do SCAQP tanto para a PIR quanto para a PIS são: a) Proteger os operadores contra a radiação na superfície das piscinas; b) Prover um meio para a limpeza contínua da superfície da água; c) Manter a qualidade visual na superfície; d) Manter o nível de água desmineralizada durante a operação normal do reator. O sistema cumpre estas funções estabelecendo uma camada estável de água não ativada na região superior da PIR e da PIS.

A água desmineralizada será fornecida pelo Sistema de Produção de Água Desmineralizada (SPAD). Em condições normais de operação do reator, a água desmineralizada tem como funções: a) a blindagem biológica, b) a refrigeração do núcleo do reator; c) a remoção do calor residual após o desligamento do reator.

Na produção da água desmineralizada serão utilizadas resinas de troca iônica. A água bruta passa inicialmente através do filtro de areia, para reter matéria em suspensão. A seguir, a água passa pelo filtro de carvão ativado para reter cloro residual e matéria orgânica. Este tratamento primário garante a integridade dos leitos de resina, aumentando a vida útil das mesmas, cuja função é remover os íons dissolvidos na água.

Após o tratamento primário, a água passa através do leito de resina catiônico (onde os cátions dissolvidos na água são retidos), através do leito de resina aniônico (onde os ânions dissolvidos na água são retidos), e no final passa através do leito misto, que contém uma mistura de resina catiônica e aniônica. A função do leito misto é garantir a condutividade e o PH especificado para a água desmineralizada da PIR do RMB.

A condutividade da água desmineralizada não deve ser maior do que  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$  e o pH deve estar entre 5,0 e 6,5. A produção de água desmineralizada, pelo sistema alocado no prédio auxiliar do reator, é realizada em quantidades para apenas repor as perdas do inventário de água das piscinas do reator. O carregamento inicial de todo inventário de água desmineralizada deverá ser realizado por produção externa à instalação.

A água da PIR e da PIS deve ser de elevada pureza para evitar: a) a degradação dos EC e dos materiais estruturais do reator, devido principalmente a corrosão dos materiais metálicos; b) o aumento da dose de radiação pela ativação de íons dissolvidos ou em suspensão que eventualmente encontram-se presentes na água.

A água da PIR e da PIS é purificada pelo Sistema de Purificação do Refrigerante Primário (SPRP). As funções deste sistema são: a) remover as impurezas dissolvidas e em suspensão da água desmineralizada antes da partida e durante a operação normal do reator; b) minimizar a concentração de produtos de corrosão, de produtos de fissão e de impurezas radioativas na água das piscinas; c) manter a qualidade visual da água desmineralizada das piscinas; d) manter a condutividade e o pH da água desmineralizada das piscinas dentro dos valores especificados.

No SPRP, durante operação normal, uma pequena fração da água desmineralizada da PIR e da PIS é desviada continuamente. O sistema é constituído por duas unidades e, enquanto uma opera continuamente, a outra é mantida em reserva (*stand-by*). Cada unidade de purificação promove em primeiro lugar a remoção de impurezas em suspensão na água pela passagem através dos filtros e, em seguida, através das resinas. As resinas são de grau nuclear e não são regeneradas. Quando as resinas saturarem (exauridas), elas devem ser substituídas por resinas novas. As resinas saturadas serão tratadas como rejeitos sólidos radioativos.

Toda a estrutura do núcleo do reator está localizada no interior da estrutura em forma de duto retangular denominada “chaminé”, que forma parte do SRP. A “chaminé” é envolvida de um lado por refletores de blocos de berílio e dos outros três lados pelo TQ1 com água pesada. A chaminé fornece isolamento físico entre o núcleo e a PIR e coleta a água de refrigeração antes de bombeá-la para o SRP. As partes superior e inferior da chaminé limitam a água do SRP que circula através do núcleo e é extraída pelas tubulações de saída do SRP.

O SRP é um circuito hidráulico aberto ao ambiente do saguão das piscinas, totalmente instalado dentro do PR. Ele é formado pela PIR, pela PIS, pelas tubulações do circuito, pelo Tanque de Decaimento do Nitrogênio (TDN), pelas Bombas de Resfriamento do Primário (BRP), pelos Trocadores de Calor do Primário (TCP); pelas válvulas e conexões, pela chaminé, pelas válvulas de circulação natural e pelas válvulas de quebra sifão.

A PIR e a PIS são consideradas como parte do SRP, pois são hidráulicamente conectadas. Elas fornecem um grande reservatório de água para as operações do SRP. As tubulações associadas têm a função de conduzir o fluido refrigerante (água) entre os componentes do sistema. O TDN tem a função de promover um atraso no tempo de retorno do refrigerante para a PIR para assegurar o decaimento do radionuclídeo  $^{16}\text{N}$  formado pela passagem do fluido refrigerante pelo núcleo do reator.

O SRP tem a função de remover o calor gerado pelas reações de fissão no núcleo do reator em condições de operação normal, para toda a faixa de operação do reator, de forma que as temperaturas nos EC fiquem abaixo dos limites estabelecidos pelo projeto termo-hidráulico, garantindo assim a segurança do reator. O SRP também deve garantir a manutenção do resfriamento do núcleo nas condições dos acidentes postulados na base de projeto.

Em operação normal, o calor é removido através da circulação forçada ascendente de água desmineralizada pelo núcleo do reator, por meio de duas das três BRP instaladas no PR. A temperatura de entrada do refrigerante no reator é de 38 °C e a de saída de 47 °C, com uma velocidade de escoamento entre 8 e 9 m/s.

A remoção de calor do núcleo deve ocorrer por circulação natural em caso de parada das BRPs, nos testes de física de reatores, no desligamento e no recarregamento de EC. Nesses casos, o calor extraído pelo SRP é transferido para o Sistema de Resfriamento Secundário (SRS) através dos trocadores de calor do SRP ou pelo trocador de calor do

Sistema de Resfriamento das Piscinas (SRPI). Em caso de indisponibilidade do SRPI, o calor será transferido diretamente para a água da PIR e da PIS.

O Sistema de Água Pesada (SAP), do qual faz parte o TQ1, tem como função principal moderar e refletir os nêutrons produzidos no núcleo do reator. Como nos processos de moderação e reflexão os nêutrons transmitem parte de sua energia para a água pesada (D<sub>2</sub>O), torna-se necessário remover o calor produzido no interior do TQ1, mantendo a temperatura da água pesada dentro dos limites de projeto, além de manter a sua pureza e as concentrações de deutério e oxigênio dentro dos limites normais de operação.

Além das funções de moderação e reflexão, o SAP possui duas outras funções adicionais. A primeira é manter a refrigeração do RRFNF. A segunda é servir como sistema secundário de desligamento do reator (SSDR). Esta é uma função de segurança, na qual, havendo necessidade de desligamento do reator, aproximadamente 50% do volume de água pesada é removida do TQ1, ocasionando uma inserção de reatividade negativa suficiente para desligar o reator.

O SAP possui dois componentes principais dentro do PR: o Tanque Refletor (TQ1) e o Tanque de Armazenagem de Água Pesada (TQ2). O TQ1 é parte da estrutura associada ao núcleo do reator descrita acima e o TQ2 é parte do SSDR. Ele coleta e armazena a água pesada após o acionamento do SSDR. O TQ1 opera com uma camada de gás hélio em equilíbrio com a água pesada numa pressão de 20 kPa acima da pressão atmosférica. Isto impede a entrada de ar no sistema evitando a degradação da água pesada. Também assegura que a pressão, em qualquer ponto dentro do TQ1 seja menor do que a da água leve no TR garantindo que não ocorrerá a transferência de trítio para o Sistema de Resfriamento Primário (SRP), caso haja um vazamento no SAP.

O SAP possui vários circuitos associados:

- a) Circuito Primário de Resfriamento da Água Pesada (CPRAP), que circula a água pesada por um trocador de calor, no qual ocorre a transferência do calor de moderação recebido no TQ1 para o Circuito Intermediário de Resfriamento da Água Pesada (CIRAP);
- b) Circuito Intermediário de Resfriamento da Água Pesada (CIRAP), no qual circula água desmineralizada que é utilizada para transferir o calor removido do CPRAP para o SRS. Este circuito é uma barreira adicional contra a migração de trítio para o SRS;
- c) Circuito de Purificação do Refletor (CPR), que mantém a qualidade da água pesada dentro de limites desejados;
- d) Circuito de Recombinação de Deutério (SRD), que mantém as concentrações de deutério e oxigênio bem abaixo dos níveis de explosão e promove a recombinação dos gases deutério e oxigênio, que são produzidos pela decomposição por radiólise da água pesada;

- e) Circuito Adicional de Resfriamento (CAR), que circula água pesada para resfriar o RRFNF e o dispositivo de vácuo da FNF, quando o SDDR for acionado;
- f) Sistema Secundário de Desligamento do Reator (SDDR).

O reator pode ser desligado por dois sistemas independentes, ou seja, pela inserção das barras de controle (BC) ou, como visto acima, pela drenagem parcial da água pesada do TQ1. O Sistema de Proteção do Reator (SPR) incluirá o Sistema Primário de Desligamento do Reator (SPDR) e o Sistema Secundário de Desligamento do Reator (SDDR).

O SPDR tem a capacidade de desligar rapidamente o reator através da inserção das BC. As BC também são usadas para ajuste e controle da potência de operação. O Sistema de Supervisão e Controle do Reator (SSC), que é separado do SPDR, comanda esta função. Nessa condição, o SSC fornece informações da planta e de suporte para os operadores. O SSC também verifica se as condições do reator estão adequadas antes do recarregamento de combustíveis.

A PIR cilíndrica é atravessada na direção axial por tubos de irradiação de diferentes diâmetros que envolvem os alvos e dispositivos de irradiação. A região do refletor inclui também uma FNF e dispositivos para fornecer feixes de nêutrons para experimentos a serem localizados dentro do saguão do reator. Todos os feixes de nêutrons são tangenciais ao núcleo.

A PIS fornece blindagem, água de resfriamento e área de trabalho conectada com a PIR por meio de um canal de transferência. A PIS contém espaço, para armazenamento dos EC irradiados, equivalente a dez anos de operação do reator a plena potência. Ela também possui uma área para manipular os dispositivos de irradiação. A PIS atua como um sorvedouro de calor gerado pelos ECs e fornece um meio, junto com a PIR, para blindagem do material radioativo.

O elemento combustível (EC) é projetado com uma margem de segurança para resistir a falhas durante operação normal e nas condições de armazenamento e se constitui na primeira barreira contra a liberação de materiais radioativos para o meio ambiente. Em caso de falha, os ECs falhados são mantidos armazenados dentro d'água, minimizando as consequências da falha. Tanto um monitor de elemento combustível falhado como um monitor de líquido ativo estão disponíveis no PR para detectar EC falhados.

Os radioisótopos serão produzidos no PR através da irradiação de alvos em posições de irradiação no TQ1. Além disso, o PR do RMB conterà instalações para ativação de materiais.

As seguintes instalações de irradiação para produção de radioisótopos e ativação de materiais estão previstas no PR:

- a) Instalação de Irradiação de Itens de alta atividade;
- b) Instalações de Irradiação com Longo Tempo de Residência;
- c) Instalações de Irradiação com Baixo Tempo de Residência;

d) Instalações de Irradiação de Volume Elevado.

A Instalação de Irradiação de Itens de Alta Atividade permite a irradiação de alvos contidos em cápsulas seladas em dispositivos removíveis localizados dentro dos tubos de irradiação no TQ1 e nos blocos de berílio. Devido à alta atividade essas cápsulas, ou itens irradiados, são refrigerados pela passagem de água no tubo de irradiação.

Os dispositivos de irradiação são manipulados (inserção e retirada) pelos operadores posicionados na Ponte de Operação (PO) posicionada acima da PIR e da PIS. Uma vez irradiados, os dispositivos de irradiação serão transferidos para a PIS para decaimento por pelo menos 12 horas e, então, para a célula quente (célula com blindagem para a radiação e proteção ao operador) de manuseio.

Na célula quente, os alvos irradiados serão removidos dos dispositivos de irradiação e a seguir despachados para processamento no Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (PPRPF – N04) por meio de cascos de transferência blindados. Para a produção de Mo-99, os alvos serão miniplacas, de dispersão de liga de urânio alumínio em alumínio, colocadas em dispositivos de irradiação e irradiadas nos tubos de irradiação no TQ1. Após decaimento na PIS, as miniplacas serão removidas do dispositivo de irradiação na célula quente e transferidas através de duto para a Sala de Transporte do Molibdênio (STM). Desta sala, elas serão colocadas em casco de transferência blindado e transportadas para processamento no PPRPF.

As Instalações de Irradiação de Longo Tempo de Residência permitem a irradiação de alvos contidos em cápsulas de irradiação seladas. Essas cápsulas são transferidas para dispositivos de irradiação no TQ1 por meio de um sistema de transporte pneumático. O carregamento e o descarregamento nos transportadores pneumáticos são conduzidos em célula quente. Após irradiação e descarregamento na célula quente, as cápsulas podem ser despachadas para processamento ou por linhas que pertencem ao Sistema de Transferência Pneumática entre Prédios (STPP), que conectará o PR e o PPRPF, ou por meio de cascos de transferência blindados.

As Instalações de Irradiação de Baixo Tempo de Residência são projetadas para Análise por Ativação com Nêutrons (AAN) e Análise por Ativação com Nêutrons Atrasados (AANA). O sistema consiste de instalações de irradiação para as quais o transporte dos alvos é feito por meios pneumáticos. Os alvos podem ser irradiados por curtos períodos (de 3 segundos a vários minutos). As estações terminais para AAN e AANA estão localizadas dentro do Prédio do Laboratório de Radioquímica (PLR – N06) e a transferência entre a posição de irradiação e as estações terminais é feita usando um sistema pneumático. O tempo de trânsito da posição de irradiação nos tubos de irradiação para a estação terminal é de aproximadamente 3 segundos.

Instalações de Irradiação de Grandes Volumes são dedicadas à dopagem por transmutação de nêutrons (NDT) de lingotes de silício mono cristal. Os lingotes de silício são colocados dentro de dispositivos de irradiação rotativos instalados nos tubos de irradiação contidos no TQ1. As cápsulas contendo os lingotes de silício são carregadas e descarregadas pelos

operadores do reator posicionados na PO sobre a PIR. Durante a irradiação, as cápsulas contendo os lingotes de silício são giradas automaticamente para garantir a homogeneidade da irradiação. Uma vez irradiados, os lingotes de silício são manipulados em uma área exclusiva dentro da PIS. Após decaimento, eles são transferidos para uma área destinada à embalagem, controle e medição dos lingotes no PECQMI.

As instalações de irradiação de combustíveis e de materiais estruturais no PR incluem os Sistemas de Testes de Irradiação de Combustíveis (STIC) e os Sistemas de Teste de Irradiação de Materiais (STIM). O STIC inclui *loops* pressurizados com dispositivo/equipamento de irradiação instrumentado, usado como recipiente suporte para varetas combustíveis nos testes de irradiação. O STIM inclui dispositivo/equipamento de irradiação instrumentado, usado como recipiente suporte para teste de irradiação de materiais. Os dispositivos/equipamentos instrumentados/pressurizados poderão ser posicionados na periferia do reator, em posições junto aos blocos de berílio que circundam o reator, ou em posições de irradiação no núcleo do reator. Dentro do PR estão previstas áreas para manutenção e manipulação dos sistemas mecânicos dos dispositivos/equipamentos instrumentados.

Duas células quentes estão previstas no PR como mencionado anteriormente: 1) Célula quente molibdênio; e 2) Célula quente pneumática.

A célula quente molibdênio e sua área de apoio no PR permitem ao operador gerenciar o material irradiado, cumprindo as tarefas de carregar os alvos e as miniplacas irradiadas, manipular os alvos e as miniplacas após irradiação e despachá-los para as instalações de processamento fora do PR.

A célula quente pneumática contará com um Sistema de Transferência Pneumático (STP) usado para transferir pequenas cápsulas de irradiação entre esta célula no PR e a célula quente no PPRFR. Duas linhas de transferência estarão disponíveis. Cada uma das linhas de transferência será bidirecional, ou seja, enviará alvos irradiados do PR para o PPRFR e do PPRFR para o PR. Além disso, outro sistema pneumático nesta célula será usado para transferir amostras irradiadas com baixo tempo de residência entre os tubos de irradiação no PR e o PLR.

As células quentes possuem manipuladores, têm blindagem apropriada com o objetivo de proteção contra a radiação e um Sistema de Ventilação (SV) ativo.

Os internos da PIR e da PIS podem ser acessados pelo saguão do reator. Uma PO facilita o trabalho dentro da PIR.

A Sala de Controle Principal (SCP) no PR tem como função abrigar os operadores do reator, que são os responsáveis pelo monitoramento, supervisão, gerenciamento e controle das variáveis relacionadas com a evolução do processo nuclear em todas as condições operacionais, ou seja, operação normal, anormal e de emergência.

Em casos de emergências, procedimentos específicos instruem os operadores a abandonar a SCP apenas após as barras absorvedoras de nêutrons do reator ser acionadas para

desligamento do reator. Neste caso, toda a capacidade de controle e monitoração da planta pode ser transferida para a Sala de Controle de Emergência (SCE).

Todos os controles, alarmes, equipamentos, informações, interfaces e medidores necessários para manter a planta na condição de desligamento seguro estão disponíveis no console de controle e operação, localizado nesta sala. O projeto do console de controle e operação da SCE é similar e possui as mesmas capacidades que o console de controle e operação da SCP. São previstos mecanismos que acionam alarmes na SCP, quando ocorre a transferência do controle da planta para a SCE.

#### 4.4.3.1.2 Prédio da Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (N03)

O Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (PECQMI – N03) é um prédio de apoio ao Prédio do Reator (PR - N01), e também ao Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (PPRPF - N04), ao Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados (LAMI - N05), ao Prédio do Laboratório de Radioquímica (N06). O PECQMI será projetado e construído para uma vida útil de no mínimo 100 anos, pois após descomissionamento do reator manterá a estocagem dos elementos combustíveis (EC) queimados (rejeitos de alta atividade).

O PECQMI tem como objetivo o armazenamento dos EC queimados no núcleo do reator. Ele possui também a infraestrutura necessária para: desmonte de dispositivos de irradiação; manuseio dos combustíveis e materiais irradiados nos dispositivos de irradiação; e recebimento e desmonte de alvos irradiados para produção de radioisótopos e fontes radioativas. Além disso, ele tem as condições necessárias para transferir através de cascos de transferência combustíveis e materiais irradiados para o LAMI e radioisótopos e fontes radioativas para o PPRPF.

O PECQMI deverá ter uma capacidade instalada para armazenar em ambiente úmido, ou seja, em piscina, o equivalente de EC queimados gerados durante 20 anos de operação do reator e mais uma área para armazenagem a seco, em cascos de estocagem, dos EC utilizados em toda a vida útil do reator (50 anos).

A interligação entre o PECQMI e o PR é feita através de um canal de água, que serve de blindagem durante a transferência dos EC queimados e dos materiais irradiados no reator. Devido ao critério de isolamento (confinamento) adotado para o PR, um sistema de comportas na parte superior do canal d'água deve garantir a selagem úmida entre os dois prédios.

O PECQMI possui duas piscinas. Na primeira, Piscina de Estocagem do Combustível Queimado (PECQ), serão alojados os EC queimados transferidos da PIS do PR. A segunda, Piscina de Manuseio dos Itens Irradiados (PMII), será utilizada acoplada a uma célula quente de materiais irradiados para desmonte dos dispositivos de irradiação do STIC e do STIM e para manuseio dos combustíveis e materiais que foram irradiados dentro dos dispositivos de irradiação.

Estes materiais e combustíveis serão posteriormente encaminhados para o Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados (LAMI). Esta célula quente poderá também ser utilizada para recebimento e desmonte de alvos de alta atividade que foram utilizados para produção de radioisótopos e fontes radioativas e que, por sua vez, serão encaminhados através de cascos de transferência para o PPRFR.

A PMII será também utilizada para carregar e transferir em cascos de estocagem os EC queimados para a Área de Estocagem de Cascos e Tambores (AECT). Estes EC já decaíram a um nível de atividade que permite a sua remoção e alojamento em cascos de estocagem. Cada casco de estocagem é projetado para alojar até 21 EC queimados.

O AECT deve possuir dentro do PECQMI:

- a) A infraestrutura para movimentação e empilhamento dos cascos de estocagem, incluindo uma ponte rolante devidamente dimensionada para as cargas movimentadas;
- b) Uma área para acesso de veículos de carga utilizados para a transferência do material radioativo para outros prédios;
- c) A infraestrutura necessária para “secagem” dos EC colocados dentro dos cascos de estocagem;
- d) Um Sistema de Ventilação (SV) apropriado;
- e) Uma área adicional para estocagem de pelo menos mais 10 embalados, nos quais possam ser acondicionados outros materiais de alta atividade, incluindo ECs queimados fora do RMB (exemplo: reator IEA-R1);

O acesso de operadores para o PECQMI deve ser realizado pelo acesso do Prédio do Reator (PR), tendo, no entanto, um acesso para veículos de carga que farão a transferência dos combustíveis e materiais irradiados para o LAMI, dos radioisótopos e fontes radioativas para o PPRFR e de cascos de EC queimados para Repositório de Rejeitos.

Tendo em vista a categorização sísmica do PR e do PECQMI, as fundações e estruturas de ambos os prédios devem ser contínuas, formando um único bloco.

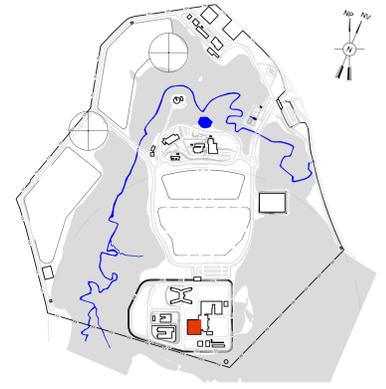
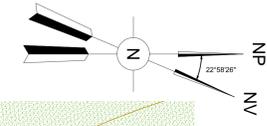
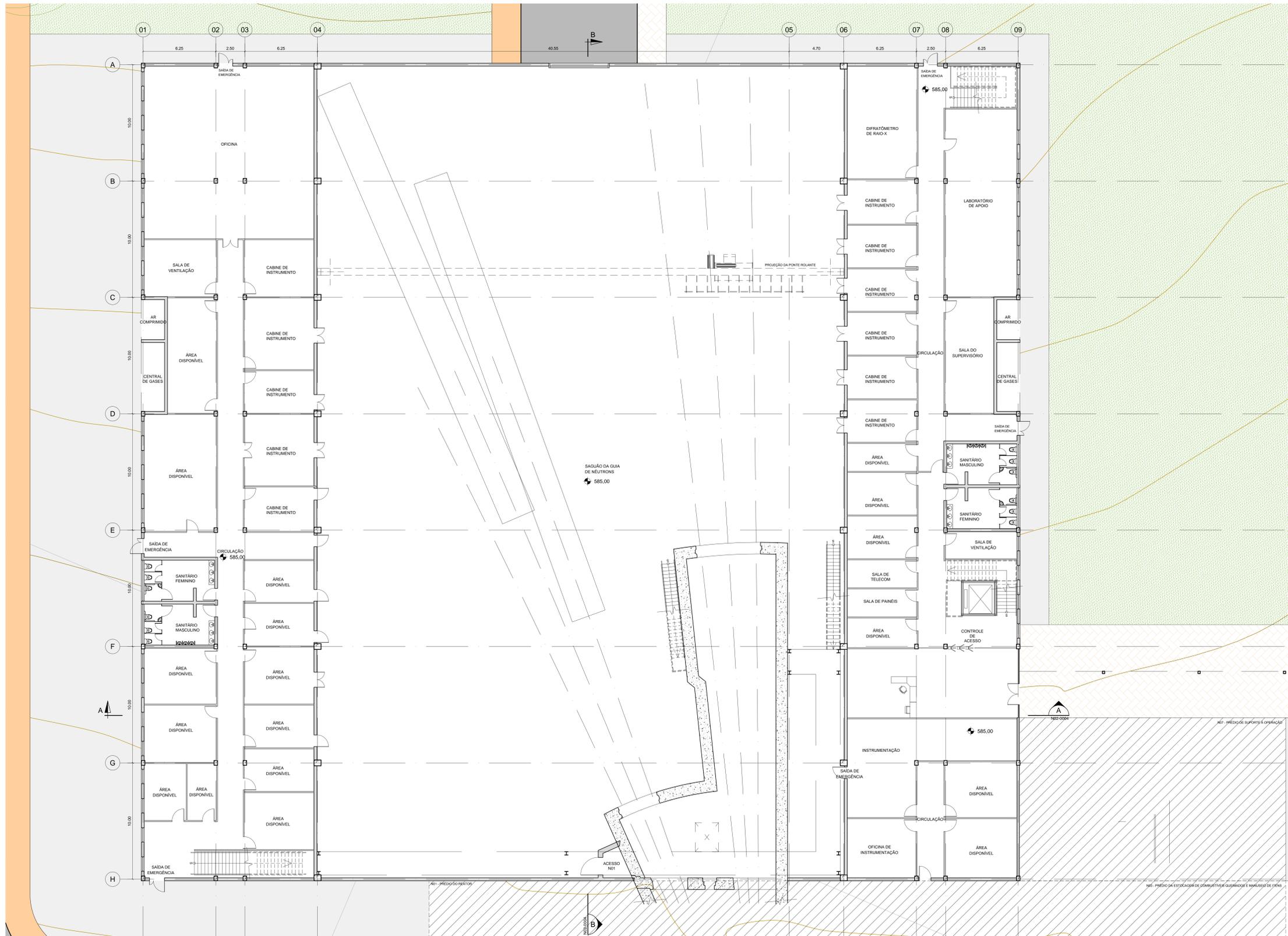
O PECQMI deverá ter, ainda, em sua parte inferior, uma área para manuseio e expedição de blocos de silício irradiados no reator e uma área para armazenamento de cascos de estocagem vazios.

#### 4.4.3.1.3 Prédio das Guias de Nêutrons (N02)

O Prédio das Guias de Nêutrons é um laboratório para o qual os nêutrons são transportados do vaso refletor do reator por meio de guias de nêutrons. Nesse local serão instalados instrumentos que utilizarão feixes de nêutrons térmicos (com energia de aproximadamente 25 meV, correspondente à temperatura ambiente) e feixes nêutrons frios (com energias mais baixas, da ordem de 2,5 meV) como uma poderosa ferramenta para aplicações industriais, e para a comunidade científica em geral.

O Prédio das Guias de Nêutrons está locado no núcleo de produção e pesquisa do empreendimento RMB. No projeto está localizado adjacente ao Prédio Reator e a oeste do mesmo. Prevendo uma futura expansão das atividades associadas a Feixes de Nêutrons, ou seja, construção de mais um Prédio das Guias Nêutrons, uma área está sendo reservada adjacente ao Prédio Reator e a leste.

A planta preliminar da instalação é apresentada na Figura 31.



PLANTA CHAVE

- LEGENDA:**
- VEGETAÇÃO RASTERA
  - PROJEÇÃO EDIFÍCIOS
  - PASEIO
  - VIAS DE TRAFFIC CALM
  - VAZIO
  - PROJEÇÃO SUPERIOR / INFERIOR

PLANTA DO PAVIMENTO DO NÍVEL 585,00  
ESC. 1:125

| Rev. | Descrição                                | Estab. | Verif. | Aprov. | Data     |
|------|--|--------|--------|--------|----------|
| 0    | APROVADO CONFORME DOCUMENTO RMB-127/2012 | DBS    | AHF    | EVO    | 17/01/13 |

REVISÃO

| Inter <b>techne</b> CONSULTORES S.A. |     |                     |                                    |      |               |
|--------------------------------------|-----|---------------------|------------------------------------|------|---------------|
| Elaboração                           | DBS | Aprovação           | Justina Pires dos Santos Carneiras | CREA | SP-40081/0541 |
| Verificação                          | AHF | Responsável Técnico | Lourenço N. J. Bala                | CREA | RL-36.094D    |
| Aprovação                            | EVO |                     |                                    |      |               |

Título  
**ARQUITETURA – PROJETO**  
PRÉDIO DAS GUIAS DE NÊUTRONS  
PLANTA DO PAVIMENTO DO NÍVEL 585,00

| Código Contrato                  | Forma    | Data     | Folha  | Rev. |
|----------------------------------|----------|----------|--------|------|
| 1201-RM-3-AN-N02-00-C-70-DE-0002 | Original | 17/01/13 | 1 de 1 | 0    |

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
REATOR MULTIPROPOSITO BRASILEIRO

Código RMB: **RMB-N02-IT-PC-18110-CP-002** Rev. 0

É PROIBIDA A DUPLICAÇÃO OU REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL, DESTA DOCUMENTAÇÃO SEM AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA CHEN.

O Prédio das Guias de Nêutrons é composto por um saguão das guias de nêutrons e duas áreas adicionais, lateralmente adjacentes ao saguão (ao norte e ao sul), as quais deverão ser destinadas à construção de laboratórios, oficinas, salas de serviços e escritórios.

A parte principal do Prédio das Guias de Nêutrons é o chamado saguão das guias de nêutrons, que se constitui num amplo espaço para os instrumentos que serão utilizados em estudos com feixes de nêutrons térmicos e frios, uma vez que no saguão experimental do reator localizado no entorno da blindagem do reator o espaço será limitado. Nesse saguão será possível a montagem e operação dos instrumentos nas guias (três guias para nêutrons térmicos e três guias para nêutrons frios), inclusive instrumentos de grande comprimento (aproximadamente 40 metros) como no caso dos utilizados para espalhamento de nêutrons a baixo ângulo (SANS).

O saguão das guias de nêutrons possui também a vantagem de ser ideal para experimentos sensíveis à radiação de fundo, sendo que esta pode ser minimizada com o uso de guias que transportam o feixe de nêutrons para áreas distantes do reator.

Está prevista a utilização de uma ponte rolante para manuseio de grandes cargas. Deve ser previsto, no saguão das guias, um acesso para veículos de carga pesada, com aproximadamente 5 m de largura e 6 m de altura, necessário para o transporte de equipamentos para o interior do saguão. A capacidade de carga do piso do saguão das guias de nêutrons foi inicialmente estimada em pelo menos 5 ton/m<sup>2</sup>, levando em consideração os instrumentos e paredes de blindagens. Entretanto, este valor deve ser reavaliado durante o projeto básico do prédio.

Nas áreas laterais ao norte e ao sul do saguão das guias de nêutrons, está prevista a instalação dos laboratórios auxiliares. Para experimentos com radiografia com nêutrons, é necessária uma câmara escura para troca e revelação de filmes radiográficos. Para o preparo, manipulação e acondicionamento de amostras a serem utilizadas nos difratômetros e espectrômetros é necessária a instalação de um laboratório de apoio, com pelo menos 100 m<sup>2</sup> de área construída, com bancadas, cubas de aço, capelas, estufas, caixa de luvas, fornos para tratamentos térmicos e sistemas de gases.

Outro laboratório a ser disponibilizado consiste num local de aproximadamente 60 m<sup>2</sup> para instalação de um difratômetro de raios X convencional. Este laboratório, considerado extremamente importante, será utilizado para complementar as análises de difração, seja pela orientação fina de algum monocristal, seja pela identificação rápida de fases e estruturas cristalinas. O prédio deve contar, ainda, com uma pequena oficina mecânica e eletrônica, para apoio às atividades de montagem e utilização dos diversos equipamentos instalados junto aos feixes de nêutrons.

O Prédio das Guias de Nêutrons deve ter uma linha de alimentação elétrica de emergência, suprida por um gerador diesel independente dos geradores diesel ligados ao prédio do reator. O gerador responsável pela alimentação do Prédio das Guias de Nêutrons poderá atender outras edificações próximas. O detalhamento da alimentação, bem como a posição física do gerador diesel será definido durante o projeto básico do Empreendimento.

Para melhor eficiência na utilização dos nêutrons produzidos no reator o Prédio das Guias de Nêutrons deve ficar o mais próximo possível do núcleo do reator, mantendo, no entanto, o máximo de independência, tanto física como operacional.

O Projeto do tanque refletor do reator deve considerar a posição dos tubos extratores de nêutrons de forma a maximizar o fluxo de nêutrons na saída dos mesmos, e minimizar eventuais feixes de radiação gama e nêutrons rápidos.

A operação no Prédio das Guias de Nêutrons deve ser totalmente independente da operação no prédio do reator, de forma que para que as atividades possam ser realizadas no Prédio das Guias de Nêutrons basta que o reator esteja em operação e os tubos extratores de nêutrons estejam abertos. Nenhum evento que ocorra no Prédio das Guias de Nêutrons deve interferir na operação do reator, e vice versa, com exceção do desligamento do reator, quando não haverá disponibilidade de nêutrons para as atividades que se façam necessárias.

Nenhuma atividade de rotina relativa à operação do reator deve interferir com as atividades no Prédio das Guias de Nêutrons. Em outras palavras, as operações de carga e descarga realizadas no núcleo do reator devem gerar um mínimo de perturbação no fluxo dos diversos feixes utilizados, dentro de faixas previamente estabelecidas.

Da mesma forma, com exceção dos eventuais sistemas de emergência que sejam necessários (por exemplo, o sistema elétrico de emergência), os sistemas e utilidades de cada instalação devem ser totalmente independentes, a menos que haja uma justificativa técnica que demonstre o contrário.

De acordo com a norma CNEN NE 6.02 - Licenciamento de Instalações Radioativas, a operação do Prédio das Guias de Nêutrons só poderá ser iniciada após a devida concessão da Autorização para Operação pela Autoridade Licenciadora.

O processo de comissionamento deve ser previamente aprovado pelo Órgão Licenciador, e deve considerar, numa primeira fase, o comissionamento do reator como fonte de nêutrons, incluindo o trecho compreendido entre os tubos extratores de nêutrons (instalado dentro da piscina do reator) e a extremidade externa dos obturadores secundários, ou dispositivo equivalente, que impeça toda e qualquer radiação proveniente do reator de ser propagada para o Prédio das Guias de Nêutrons.

Em uma segunda fase, cada instrumento será comissionado segundo procedimento específico a ser aprovado pelo Órgão Licenciador. O comissionamento de cada instrumento é individual, sendo que montagem e comissionamento de um novo instrumento não impede a operação daqueles já montados e comissionados anteriormente.

Do ponto de vista funcional, todos os equipamentos instalados no Prédio das Guias de Nêutrons podem ser operados de forma isolada e independente, bastando para tanto que o reator esteja ligado. Cada experimento pode operar de forma independente e pelo tempo que for necessário, sendo da responsabilidade do profissional responsável por cada equipamento instalado a correta utilização do mesmo.

A fim de não congestionar os espaços do saguão das guias de nêutrons, os equipamentos destinados à aquisição de dados podem ser controlados remotamente por dispositivos instalados nas salas de serviços do Prédio das Guias de Nêutrons. Isto significa que as salas de serviços devem ter dimensões e infraestrutura apropriadas, incluindo dutos de ligação com os equipamentos de aquisição de dados, sistema de alimentação elétrica, e outras facilidades, compatíveis com a aplicação de cada equipamento.

De acordo com a norma CNEN 6.02 - Licenciamento de Instalações Radiativas, o Prédio das Guias de Nêutrons classifica-se como Instalação Radiativa do Grupo III, devendo ser licenciada como tal. Seu projeto deverá ser elaborado de forma a atender aos requisitos dos regulamentos vigentes, em particular as normas CNEN-NN-3.01 – Diretrizes básicas de radioproteção, CNEN-NE-6.02 – Licenciamento de instalações radiativas e CNEN-NE-6.05 – Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas. O projeto deverá também estar de acordo com as políticas e planos de proteção radiológica do Empreendimento.

De acordo com a norma CNEN NN 3.01 – Princípios básicos de radioproteção, item 5.9 – o prédio deve possuir dispositivos apenas para monitoração de área (radiação gama e nêutrons) e avaliação da dose ocupacional nas diversas áreas do prédio. Locais passíveis de contaminação devem possuir piso e paredes com cantos arredondados, revestidos de material impermeável, para facilitar a descontaminação em casos de possíveis contaminações radioativas. Todas as blindagens devem ser dimensionadas de forma a se manter o nível de radiação no ambiente tão baixo quanto razoavelmente praticável (princípio ALARA), e de forma a causar um mínimo de interferência entre os vários equipamentos a serem instalados.

O projeto dos vários experimentos a serem realizados no Prédio dos Feixes de Nêutrons, deve minimizar a utilização de alvos (ou amostras) feitos com materiais que possam produzir rejeitos radioativos. Havendo necessidade do uso de tais materiais, o projeto deve prever as blindagens necessárias para minimizar as doses de exposição resultante, bem como a instalação de instrumentos para monitorar os níveis de radiação na área.

Os funcionários e pesquisadores com acesso ao Prédio das Guias de Nêutrons devem receber treinamento em proteção radiológica para saber como proceder sempre que houver suspeita de contaminação ou vazamento de radiação. Em princípio a ação a ser tomada é a de solicitar a imediata presença de um técnico/supervisor de proteção radiológica. Para tanto, devem ser previstos dispositivos que permitam a chamada do técnico/supervisor, com um mínimo de movimentação do interessado, de forma a se evitar a disseminação do material contaminado.

Todos os efluentes líquidos da instalação deverão ser direcionados para um tanque de coleta, para posterior envio à Estação de Tratamento de Efluente Químico/Industrial (ETI) do empreendimento.

O Prédio das Guias de Nêutrons deverá ser projetado e construído conforme norma ABNT NBR 15421 - Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos - Procedimento (2006). O piso do prédio deve ser projetado e construído em conformidade com sua aplicação, de forma a

suportar, sem qualquer deformação, as cargas nele previstas. Adicionalmente o piso deve possuir um isolamento adequado contra propagação de vibrações, e com um nivelamento compatível com o alinhamento necessário às diversas guias de nêutrons, que deve ser mantido durante o processo de cura e por toda a vida útil da instalação

O Prédio das Guias de Nêutrons deve ser dotado de um sistema de ar condicionado para controle de temperatura e umidade relativa do ar, de forma que as mesmas possam ser ajustadas dentro dos limites aceitáveis para os equipamentos instalados, bem como para os usuários do local. Os diferentes ambientes do prédio devem possuir controle independente de temperatura.

Tendo em vista a perspectiva futura da possibilidade de ampliação nas atividades com feixes de nêutrons, o projeto do Prédio das Guias de Nêutrons, e em particular o Projeto do Reator do Empreendimento RMB, leva em consideração a possibilidade de construção de um segundo Prédio das Guias de Nêutrons, a leste do reator.

#### 4.4.3.1.4 Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (N04)

O prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas tem como função o recebimento de amostras irradiadas no reator RMB que serão processadas ou simplesmente embaladas e despachadas para o IPEN. As várias atividades executadas no prédio são divididas em:

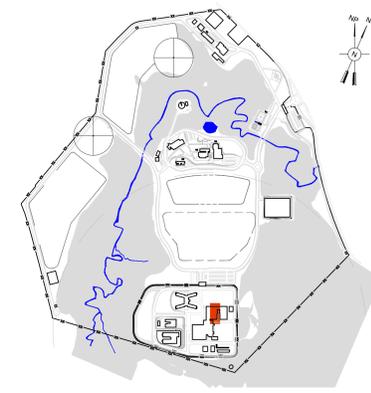
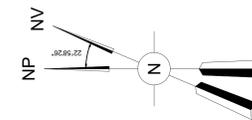
- Produção de Mo-99 e I-131 para uso em Medicina Nuclear, pelo processamento de alvos de U-235 de baixo enriquecimento (LEU) irradiados no reator;
- Manuseio de outros radioisótopos para uso em Medicina Nuclear: Lu-177, Y-90, Ho-166, Sm-153, W-188 entre outros;
- Enriquecimento isotópico por laser de Mo-99 produzido por irradiação de alvos contendo Mo;
- Manuseio de Ir-192 de alta taxa de dose para braquiterapia;
- Processamento de I-125 para preparo de sementes de I-125;
- Manuseio de Ir-192 para gamagrafia industrial;
- Substituição de fontes exauridas em aparelhos de gamagrafia industrial;
- Manuseio de traçadores radioativos: Br-82, Hg-203, As-75 entre outros;
- Embalagem dos radioisótopos e fontes produzidas para despacho;
- Controle de qualidade do processamento de Mo-99 e I-131.

A concepção do prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas envolve 3 pisos:

- Piso 1, ou porão, possui área de manuseio e armazenamento de rejeitos;

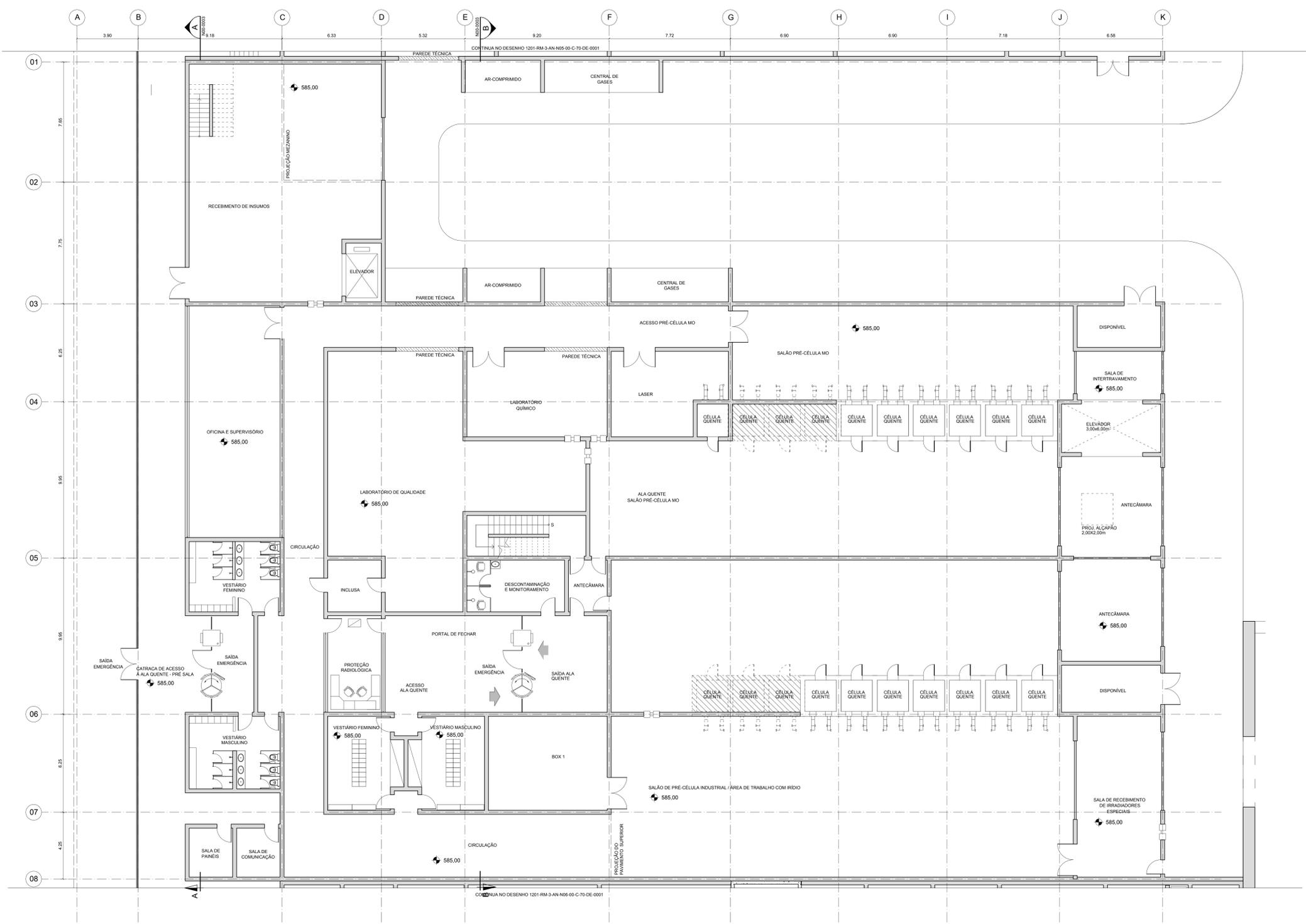
- Piso 2, térreo ou de processo, onde serão desenvolvidas as atividades de produção e manuseio, ao nível das ruas de circulação de veículos;
- Piso 3, superior ou utilidades, onde estarão instaladas as utilidades necessárias para as atividades diversas do prédio.

A Figura 32 mostra a proposta inicial para o leiaute do piso térreo do prédio indicando as principais áreas de processo.



PLANTA CHAVE

**LEGENDA:**  
 [Hatched Box] CÉLULAS QUENTES - FUTURA EXPANSÃO  
 [Dashed Box] PROJEÇÃO SUPERIOR / INFERIOR



PLANTA TÉRREO  
 ESC. 1: 100

| Rev. | Descrição                                | Estab. | Verif. | Aprov. | Data     |
|------|--|--------|--------|--------|----------|
| 0    | APROVADO CONFORME DOCUMENTO RMB-124/2012 | DBS    | AHF    | EVO    | 23/01/13 |

| REVISÃO |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|
|         |  |  |  |  |  |

**Inter**techne CONSULTORES S.A.  
 Laboração: DBS, Aprovação: Jussara Feres dos Santos Carneiros, CREA: SP-60081/9541  
 Verificação: AHF, Responsável Técnico: Lourenço N. J. Bobó, CREA: RJ-36.084/D  
 Aprovação: EVO

Título: **ARQUITETURA - PROJETO PRÉDIO DE PROCESSAMENTO DE RADIOISÓTOPOS PLANTA TÉRREO**

Código Contratado: 1201-RM-3-AN-N04-00-C-70-DE-0001, Rev: 0  
 Escala: 1:100, Formato Original: A0, Data: 23/01/2013, Folha: 1 de 1

Código: RMB-N04-IT-PC-18110-CP-001, Rev: 0  
 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
 DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
 REATOR MULTIPROPOSITO BRASILEIRO

É PROIBIDA A DUPLICAÇÃO OU REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA DOCUMENTAÇÃO SEM AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA CNEA

O prédio pode ser visto como duas grandes áreas de produção. À esquerda, olhando a partir da entrada do prédio, encontram-se as instalações para a produção de Mo-99 e I-131 (pela dissolução de alvos de U-irradiado). No total são dez células, sendo seis para produção de Mo-99 e I-131, uma para enriquecimento de Mo-99 por laser, e mais 3 reservadas para o desenvolvimento, no futuro, de novos processos. Do lado direito encontram-se as instalações de manuseio de radioisótopos e despacho, de preparo de fontes seladas, e de manuseio/preparo de fontes de Ir-192 e I-125 para braquiterapia. A concepção é a mesma da ala esquerda, ou seja, uma ala “quente” com 10 células, sendo 7 para processamento e mais 3 para desenvolvimento futuro e eventual expansão das atividades.

O prédio contará com 2 pares de vestiários (Masculino/Feminino), sendo o primeiro logo na entrada da instalação, para paramentação primária, que permite o acesso às áreas de operação das celas, laboratórios, oficinas, sala de supervisorio e outras atividades. O segundo vestiário será o de acesso às áreas controladas, ou “quentes”, ao porão e ao piso técnico, onde será feita uma troca de roupas para uma paramentação adequada para circulação na ala quente.

Todo rejeito radioativo gerado será transferido por elevador (localizado entre as 2 alas quentes) ou por gravidade para o porão, onde serão estocados de acordo com o tipo de rejeito gerado. No caso de uso do elevador, serão utilizados embalados apropriados, devidamente blindados. No caso de transporte por gravidade, deverão ser utilizados dutos devidamente blindados, nos quais os rejeitos serão encaminhados para recipientes apropriados, e devidamente blindados, para que possam posteriormente ser encaminhados ao prédio de tratamento e estocagem de rejeitos.

Portais para monitoração de eventual contaminação radioativa estão localizados na entrada do Prédio, na saída do primeiro vestiário e na saída do segundo vestiário (considerando o caminho de entrada para as alas quentes).

Serão utilizadas passagens tipo “pass trough” para a entrada de amostras da ala quente para o laboratório de controle de qualidade, de soluções e materiais em geral do laboratório químico para a ala quente e para o laboratório de controle de qualidade, e da área de recebimento de insumos para todo o prédio.

A área de recebimento de insumos terá entrada de pessoal e insumos por fora do prédio, contando com um elevador para transferência de insumos para o piso técnico.

O laboratório de controle de qualidade terá acesso de pessoal por meio de uma inclusa, onde será realizado um complemento da paramentação (sapatilha, touca e luva). Neste ponto deve ser disponibilizado um equipamento para monitoração radiológica.

Portas de manutenção estarão disponíveis para acesso de equipamentos na instalação, empilhadeiras, etc e poderão ser usadas como rota de fuga da instalação, assim como para comunicação entre as 2 alas quentes.

Dois grandes salões foram concebidos na área operacional (parte da frente) das células de processamento.

Haverá um diferencial de pressão crescente a partir do interior das celas de processamento (ponto de menor pressão), para as alas quentes e para o restante do prédio, de forma a garantir que o fluxo de ar seja sempre no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação.

Os dutos de exaustão das duas alas devem ser independentes, ambos direcionados para a chaminé do prédio do reator, e com instrumentação específica e apropriada para detectar eventuais liberações de radioisótopos nos respectivos processos.

Todas as áreas passíveis de contaminação devem possuir piso e paredes contínuas, revestidos de material impermeável, que facilite a descontaminação em casos de contaminações radioativas.

No piso 3 (de utilidades) serão instalados todos os itens relativos à exaustão, insuflação, ar condicionado, ar comprimido e outras utilidades necessárias para as atividades.

Uma central de cilindros de gás será concebida na parte externa do prédio, no nível térreo, e abastecerá todas as áreas do prédio.

Um gerador diesel, e pequenos sistemas do tipo “no break”, são considerados essenciais para alimentação elétrica dos vários equipamentos e instrumentos existentes no prédio.

O número estimado de servidores que trabalharão no prédio é de 40.

No piso térreo serão realizadas todas as atividades relacionadas com o processamento dos radioisótopos e produção de fontes, conforme descrito no projeto de concepção da instalação.

#### 4.4.3.1.4.1 Área de processamento de Mo-99 e I-131 a partir de alvos de fissão

Nesta área o objetivo é produzir 1000 Ci/semana de Mo-99 a partir da fissão de alvos LEU tipo placa de  $UAl_x$ , via processo de dissolução alcalina com NaOH/NaNO<sub>3</sub>. O processo permitirá, também a produção de I-131, como um subproduto, por meio de separação e purificação do material dissolvido.

A produção de Mo-99 será realizada utilizando-se 6 das células indicadas à esquerda da Figura 33, e cuja sequência é reproduzida na Figura 33. As células CQ2 e CQ3 são idênticas do ponto de vista do processo, assim como, as células CQ4 e CQ5.

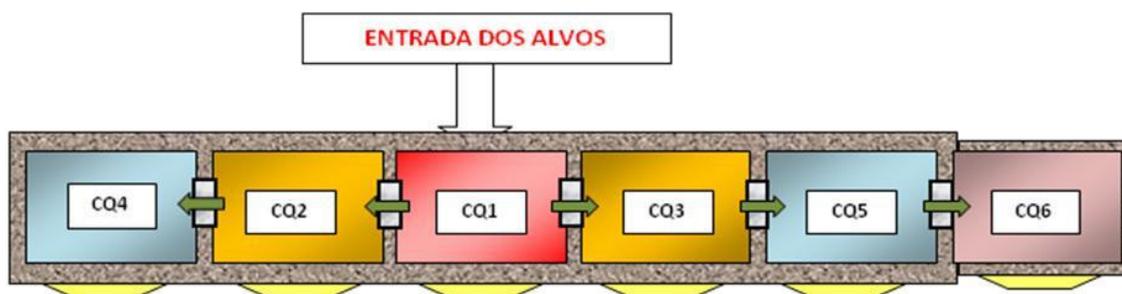


Figura 33 - Esquema do conjunto de células para produção de Mo-99 / I-131.

O conjunto de células possuem as seguintes características:

- As células deverão ser blindadas com paredes de chumbo (espessura a ser determinada), devidamente padronizadas;
- Os tanques de armazenamento dos rejeitos radioativos líquidos deverão estar localizados no piso inferior na direção das células de processamento; o projeto das células deverá considerar, quando necessário, dutos para transferência de rejeitos radioativos sólidos e cilindros para armazenagem dos rejeitos radioativos gasosos;
- As células de processamento contidas no interior das blindagens deverão ser vedadas e fabricadas em aço inox 304;
- As caixas de contenção deverão possuir abertura frontal para a colocação das janelas de vidro estabilizadas com óxido de cério e na parte de trás, e escotilhas também de vidro estabilizado com cério. O acesso ao interior das caixas deverá ser feito por meio de aberturas na parte de trás e inferior das caixas;
- Todas as 6 células deverão ser providas de pares de telemanipuladores com capacidade de carga de 10 kgf;
- As células deverão possuir painéis de comando individuais para o controle das operações internas;
- O acesso à iluminação das células deverá ser feito na parte superior. As lâmpadas frias deverão ser instaladas em suportes tipo gaveta para facilitar a sua troca;
- Todas as células deverão ter sistema de detecção e proteção contra incêndio;
- Os tanques de armazenamento de rejeitos líquidos deverão possuir monitoração externa do nível do líquido para detectar possíveis vazamentos; um tanque de contenção com sensor de líquido deverá acomodar todos estes tanques a fim de assegurar a retenção do rejeito líquido proveniente de um possível vazamento dos tanques de armazenamento;
- As transferências internas de líquidos nas células deverão ser realizadas por meio de vácuo ou “air lift”;
- A introdução de soluções no interior das células poderá ser feita por meio de bombas dosadoras, bombas peristálticas, por pressão do gás de arraste (N<sub>2</sub>) ou por vácuo;
- Todas as células deverão estar sob pressão negativa, cujo valor será definido oportunamente;
- Os tanques de armazenamento dos gases radioativos deverão ficar localizados no piso superior, acima das células de processamento.

A principal função da célula quente CQ1, indicada na Figura 33, é receber os alvos irradiados no reator RMB, que deverão ser introduzidos pela parte inferior da célula, e

permitir sua transferência para as células CQ2 e/ou CQ3, onde ocorrerá o processamento químico via dissolução alcalina.

Nesta célula CQ1 serão armazenados, de forma temporária, os filtros contendo o urânio não dissolvido e as colunas de alumina recobertas de Ag contendo iodo (processo GSG). Os alvos ao chegarem nesta célula CQ1 estarão distribuídos uniformemente em um suporte específico, cujo objetivo é facilitar o transporte e a acomodação dos alvos no dissolvedor durante o processo de dissolução. A Figura 34 mostra o fluxo de itens na célula CQ1.

As células quentes CQ2 e CQ3 são idênticas do ponto de vista de processo. Em cada etapa de processamento apenas uma célula deverá ser utilizada, a outra a princípio ficará como reserva ou em manutenção. As operações que ocorrerão nas células são: 1) Dissolução alcalina dos alvos; 2) Conversão do  $H_2$  em vapor d'água; 3) Tratamento dos gases  $NH_3$  e Xe; 4) Filtração da solução; 5) Recuperação do iodo; e 6) Acidificação e destruição do nitrito. Destas células também sairão amostras de I-131 para o laboratório de controle de qualidade.

Da mesma forma que as células CQ2 e CQ3, as células quentes CQ4 e CQ5 também são idênticas do ponto de vista de processo, sendo uma reserva da outra. As operações que ocorrerão nas células são: 1) Separação do Mo-99 por  $Al_2O_3$ ; 2) Primeira purificação do Mo-99 por DOWEX-1; 3) Segunda purificação do Mo-99 por evaporação; (4) Terceira purificação por alta temperatura e sublimação. O fluxo de processo e material nas células quentes CQ4/5 é mostrado na Figura 34.

Após a última etapa do processo de purificação a solução de Mo-99, deverá ser transferida da célula CQ4/5 para a célula CQ6. A transferência da solução será realizada por um sistema a vácuo, cuja linha de transferência deverá estar inclinada de no mínimo  $5^\circ$  para garantir que não ocorrerá retenção de líquido. As operações que ocorrerão na célula quente CQ6 são: 1) retirada de uma alíquota que deverá ser enviada para o laboratório de controle de qualidade, com a finalidade de verificar o grau de pureza radioquímica da solução básica de Mo-99.

É importante ressaltar que poderão ser realizados 2 processos em paralelo, se for necessário, já que as células são duplicadas. Isto pode se tornar necessário se houver um aumento de demanda acima do previsto inicialmente. A Figura 34 apresenta de forma simplificada o processo nas células de Mo-99 e I-131 via fissão.

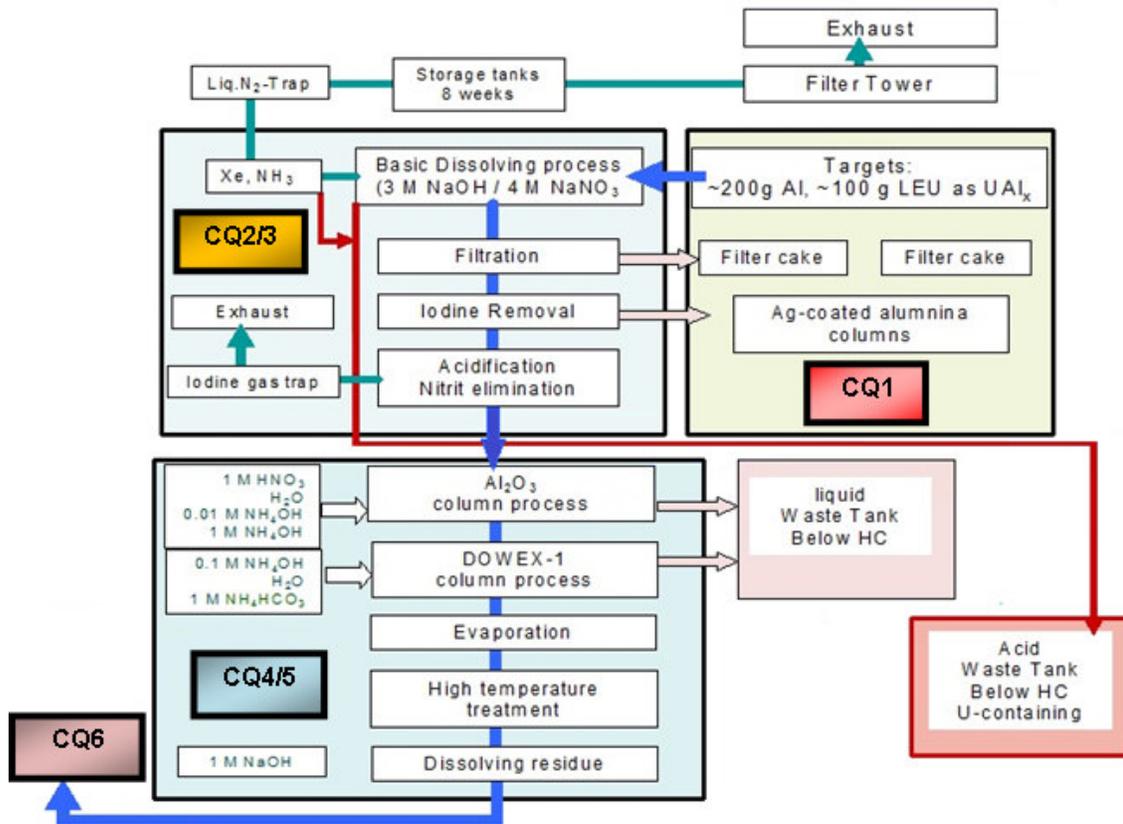


Figura 34 - Fluxo de produção de 99-Mo e 131-I via fissão.

#### 4.4.3.1.4.2 Área de produção de fontes seladas (de uso industrial)

Na área de produção de fontes seladas, ala direita na Figura 33, quatro das células quentes serão utilizadas para produção de fontes. Até o momento, a proposta é importar fontes seladas prontas de Se-75 e distribuí-las via RMB, utilizando-se a CQ-14. Necessita-se avaliar o processo de fabricação de Se-75 via reação nêutron-gama no RMB, em elevado fluxo neutrônico, com selênio em alta pureza importado em pó, duplamente encapsulado.

Estas 4 células deverão ser conjugadas e intercomunicadas, sendo duas para produção, uma para controle de qualidade com divisão interna em acrílico removível e uma para receber irradiadores de gamagrafia industrial e para montagem da cápsula selada no porta-fonte. A primeira célula de produção receberá os lotes de Ir-192 e Co-60.

Estima-se que as paredes e o piso das 4 células tenham espessura mínima de 150 mm em chumbo; e o teto espessura mínima de 100 mm em chumbo. Estes valores deverão ser confirmados durante o projeto.

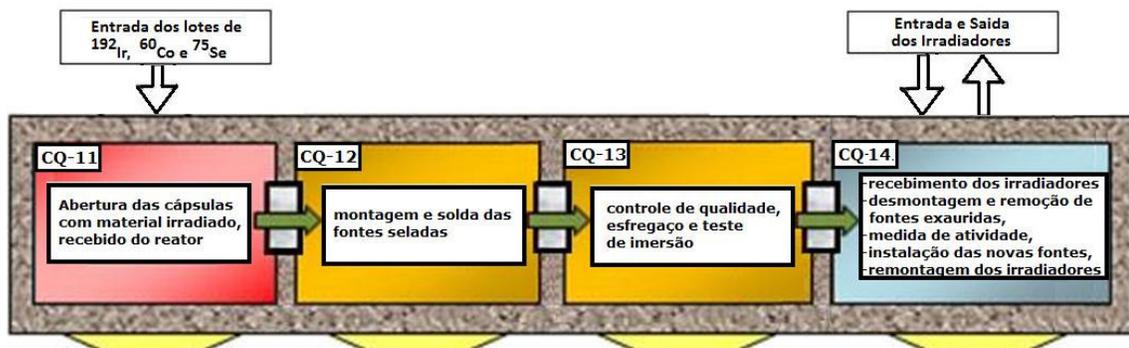
Cada célula deverá ter 2 (dois) telemanipuladores. Os telemanipuladores para as 2 (duas) células quentes de produção e para a célula de recebimento dos irradiadores, num total de 6 telemanipuladores, deverão ser dimensionados para manusear uma carga de até 50 kg, podendo ter um dimensionamento maior em função da padronização a ser adotada. Os 2 (dois) telemanipuladores da célula quente de controle de qualidade deverão ser

dimensionados para manusear uma carga de até 10 kg, novamente, podendo ter um dimensionamento maior em função da padronização a ser adotada.

Cada célula deverá ter um visor retangular, em vidro plumbífero com espessura aproximada de 140 mm, independente, com dimensões úteis de 380 mm de altura por 580 mm de comprimento (dimensões internas da moldura metálica).

As células, indicadas de forma ilustrativa na Figura 35, devem dispor de:

- Dispositivo para abertura da cápsula contendo os lotes de  $^{192}\text{Ir}$ ;
- Sistema de iluminação pertinente;
- Sistemas de vácuo, provido por bomba mecânica, nas duas células quentes de produção, para manuseio dos discos de Ir-192 e Co-60.durante a montagem da fonte radioativa selada;
- Sistema de solda TIG, para selagem das fontes produzidas;
- Sistema de exaustão: nas 4 (quatro) células quentes, com vazão igual ou superior a 7 m<sup>3</sup>/minuto, com diferencial de pressão de 80 mmca e filtros absolutos;
- Sistema pneumático: provido por um sistema de ar comprimido com pressão mínima de 7 kgf/cm<sup>2</sup>, para acionamento das portas das celas quentes, localizadas na área de intervenção.



**Figura 35 - Distribuição das células quentes utilizadas na produção de fontes de gamagrafia industrial.**

Após montagem da fonte radioativa selada ( $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{60}\text{Co}$  ou  $^{75}\text{Se}$ ) no porta-fonte e deste no irradiador para gamagrafia industrial, o equipamento completo (irradiador, cabo de comando e tubo-guia) será vistoriado e transferido para a área de expedição, onde será emitida a nota fiscal, e será verificado se o veículo do cliente, responsável pelo transporte, está de acordo com a legislação.

#### 4.4.3.1.4.3 Produção de Fontes de Alta Taxa de Dose – Ir-192

Para a produção de “pellets” de Ir-192 de alta taxa de dose serão utilizadas cápsulas contendo Ir-191 enriquecido que serão irradiadas no reator RMB e posteriormente serão transferidas para o prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas para processamento e montagem das fontes.

No prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas serão processados os “pellets” de Ir-192 de alta taxa de dose, para serem utilizados em equipamentos para tratamento de câncer utilizando a técnica de braquiterapia. Para o processamento dos “pellets” de Ir-192 de alta taxa de dose, será utilizada uma célula quente com um par de telemanipuladores, visor de vidro plumbífero (no mínimo 30 x 30 cm), paredes e piso de chumbo com aproximadamente 20 cm de espessura, chumbo, e a placa do teto com cerca de 10 cm de espessura.

Será necessário pelo menos 1,2 m<sup>2</sup> de espaço para a montagem dos dispositivos internos deste processo. Todas estas dimensões deverão ser confirmadas durante a fase de projeto, levando-se em conta a padronização a ser adotada para as várias células quentes do empreendimento. A célula deve dispor de alimentação elétrica e ar comprimido, com características a serem definidas oportunamente. Os telemanipuladores deverão ser capazes de abrir as blindagens de transporte com carga aproximada de 25 Kg, caso não haja SAS de transferência.

#### 4.4.3.1.4.4 Produção do radioisótopo I-125

Da mesma forma que no caso dos “pellets” de Ir-192 de alta taxa de dose, a instalação será utilizada para a produção do radioisótopo para a produção de sementes de I-125, que serão utilizadas em medicina nuclear, braquiterapia, no tratamento de vários tipos de cânceres, como: próstata, pulmão, cérebro, oftálmico, pulmonar e outros.

A produção do I-125 poderá ser feita de duas formas: em lote ou em produção contínua. A produção do I-125 em lote produz uma quantidade menor do radioisótopo, porém, não necessita de uma posição fixa no núcleo do reator. Assim, dependendo da necessidade de produção e da possibilidade do uso de uma posição fixa, poderá ser produzido em produção contínua.

Para a produção em lote, o processo começa com a preparação das cápsulas estanques com Xe-124 que serão irradiadas no reator RMB. Uma vez irradiadas, as cápsulas são processadas para retirar o I-125 produzido, que será utilizado na produção das sementes, e feito um processo de recuperação do Xe-124 que não foi ativado, para uma nova “batelada” de produção.

Neste processo de produção do I-125, parte da dose de radiação está ligada diretamente aos contaminantes das cápsulas de irradiação, do I-125 e do <sup>126</sup>I produzidos. Assim sendo, a parede da célula quente utilizada não necessita ser muito espessa. Por segurança, recomenda-se uma parede e piso de chumbo com espessura de aproximadamente 5 cm, ou equivalente, e teto com espessura aproximada de 3 cm de chumbo.

A célula deve ter dimensões aproximadas de pelo menos 150 cm de comprimento, 100 cm de largura e 172 cm de altura. Da mesma forma como as demais células quentes, a célula utilizada na produção do <sup>125</sup>I deve ter visor de vidro Plumbífero (pelo menos 30 x 30 cm) e telemanipuladores, porém não haverá requerimento de carga para este processo dos telemanipuladores.

Internamente a célula deve dispor de:

- Torno portátil para abertura da cápsula pós-irradiação.
- Sistema criogênico para separação do I-125 do gás xenônio residual do processo de ativação.
- Dispositivo de coleta do gás xenônio.
- Equipamento estanque para a reação química entre o I-125 produzido e o hidróxido de sódio para a formação do iodeto de sódio.
- Dispositivo para injeção do Iodeto de Sódio em frascos para serem acondicionados nas blindagens.
- Sistemas de “armadilha” líquida para a retenção do Iodo, antes dos filtros de exaustão da célula quente.

Para apoiar a produção e processamento do  $^{125}\text{I}$ , são necessários os seguintes insumos/processos:

- Linha de alimentação de Xe-124;
- Linha de alimentação de nitrogênio gasoso pressurizado com no máximo 1000 kgf/cm<sup>3</sup>;
- Suprimento de nitrogênio líquido (por meio de cilindros do tipo “dewar”);
- Um laboratório químico para:
  - Preparação das cápsulas de Xe-124 para ser irradiada, com dispositivo de injeção do gás; selagem e testes de estanqueidade na cápsula preenchida com Xe-124;
  - Preparação das soluções de hidróxido de sódio para diluição do I-125
  - Preparação da solução de “armadilha” da célula quente (hidróxido de sódio)
  - Limpeza da solução de “armadilha” do iodo antes dos filtros da célula quente.
- Área para preparação das blindagens de transporte para despacho.

#### 4.4.3.1.4.5 Laboratório de Laser

Neste laboratório serão feitos estudos de produção de molibdênio por meio de enriquecimento isotópico utilizando lasers de pulsos ultracurtos. Este processo insere-se nas atividades de produção de radiofármacos do RMB e realizará o enriquecimento da razão isotópica  $^{99}\text{Mo}/^{98}\text{Mo}$  a partir de amostras de Mo-98 com nêutrons provenientes do reator RMB.

A instalação deste laboratório constará de duas salas, sendo a primeira uma área livre, na qual ficarão instalados os lasers, e a segunda uma célula de processamento, na qual ficará a câmara de alvos dentro da qual o material radioativo será processado pelos lasers.

#### 4.4.3.1.4.6 Laboratório Químico

O laboratório químico ficará na ala de processamento de Mo-99, conforme indicado na Figura 32, e deverá ter espaço físico disponível para dispor de forma organizada e segura os materiais a serem utilizados, preservando da melhor forma a sua integridade. Deverá contar com prateleiras para os potes e garrafas, ventilação adequada para o armazenamento de solventes e possivelmente espaço para uma balança.

O laboratório deve dispor de condições e equipamentos básicos de segurança, como disposto nas normas regulamentadoras pertinentes.

#### 4.4.3.1.4.7 Laboratório de Controle da Qualidade

O laboratório de controle de qualidade será instalado em um local fisicamente separado da Produção (com a qual se comunica através de porta *passthrough*), possuindo bancadas, pias, capelas de exaustão, instalações elétrica e hidráulica, e demais utilidades compatíveis com as necessidades operacionais. A área mínima do laboratório, conforme indicado na Figura 32, deve ser de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>, dividida em dois setores funcionais: instrumental e analítico-laboratorial.

A entrada/saída do laboratório deve possibilitar fácil acesso ao pessoal de radioproteção, em casos de incidente resultando em contaminação radioativa.

O laboratório terá bancadas confeccionadas com material que resista a impactos e à corrosão por reagentes químicos. Devem ser reforçadas para suportar o peso dos diversos equipamentos que serão utilizados nas análises.

As pias (no mínimo duas) devem possuir cubas grandes, em aço inox A151-16, com torneiras acionáveis automaticamente (por meio de pedais, a título de exemplo).

As capelas de exaustão (duas) devem ser revestidas com material resistente à corrosão, e impermeáveis, com portas corrediças de vidro capazes de vedar a entrada e saída de ar, além de possuírem iluminação interna. Dentro de uma das capelas, é recomendável a instalação de uma pequena pia para descarte de efluentes potencialmente radioativos. O acionamento dessas capelas deve ser individual.

O projeto do Laboratório deve, ainda, considerar uma passagem para transferência de rejeitos sólidos radioativos para os respectivos recipientes localizados no porão de armazenamento.

#### 4.4.3.1.5 Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados (N05)

O objetivo do Laboratório de Materiais Irrradiados (LAMI) é realizar um conjunto mínimo de exames pós-irradiação visando à qualificação de combustíveis nucleares e materiais

estruturais utilizados em reatores nucleares existentes no Brasil, tanto de pesquisa quanto de potência. O Prédio do LAMI será implantado no Platô do Complexo de Laboratórios situado no Núcleo de Produção e Pesquisas do Empreendimento RMB, a norte do prédio do reator.

O desenvolvimento de elementos combustíveis para reatores nucleares requer um grande conhecimento técnico e científico em várias áreas de engenharia, o qual envolve amplas pesquisas, teóricas e experimentais. Dentre estes estudos é de grande importância para o adequado desenvolvimento de elementos combustíveis a análise do desempenho e do comportamento de materiais estruturais, materiais combustíveis nucleares e absorvedores quando submetidos às condições de irradiação no núcleo dos reatores nucleares.

Para isso, no entanto, são necessárias instalações específicas que permitam a análise dos materiais irradiados com segurança para trabalhadores e indivíduos do público. Estas instalações são conhecidas como células quentes, as quais se caracterizam por câmaras blindadas, com ambiente isolado e controlado e com dispositivos funcionais que permitam a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos das amostras, sem o contato direto do operador com os materiais radioativos.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento do LAMI contribuirão para aumentar o conhecimento nacional sobre o comportamento de combustíveis nucleares e de materiais estruturais para reatores nucleares. Um enfoque especial é dado ao programa de acompanhamento dos danos da radiação em vasos de pressão e à análise de materiais estruturais de elementos combustíveis e barras de controle dos reatores nucleares do país.

Os resultados e análises efetuadas no LAMI servirão também como subsídios para determinação de margens de segurança nos projetos de instalações nucleares, melhor definição de limites de operação dessas instalações e sugerir ações corretivas em termos de projeto, fabricação e operação. Os resultados poderão ser utilizados em programas de gerenciamento de envelhecimento e em programas de extensão de vida útil de reatores nucleares de potência e de pesquisa, além de contribuir com informações para o desenvolvimento e teste de ligas avançadas para a indústria nacional nuclear e seus parceiros nacionais.

Os produtos a serem manuseados nas células quentes serão miniplacas combustíveis ou minivaretas combustíveis e corpos de prova pré-usinados de materiais metálicos ou cerâmicos. Os corpos de prova metálicos serão introduzidos nos reatores em suas dimensões acabadas, mas poderão necessitar de uma usinagem final nas células quentes do LAMI. Eventualmente haverá necessidade de lidar com amostras, de materiais metálicos, não previamente trabalhadas. Nesse caso, os corpos de prova serão integralmente produzidos dentro das células quentes do LAMI.

O regime de trabalho no LAMI será eventual, com base em uma agenda de pesquisas pré-definida. O LAMI pode ainda ser utilizado extraordinariamente para investigações de causas de falha em materiais e componente estruturais submetidos à radiação em serviço.

A Figura 36 e Figura 37 mostram o leiaute do piso térreo do LAMI, onde se destacam os seguintes espaços:

- Área 01: Linhas de CQs (total de 10) destinadas às análises e testes de materiais irradiados;
- Área 02: Linha de CQs (total de 04) destinadas às análises e testes de materiais combustíveis;
- Área 03: Reservada para expansão da linha de CQs de materiais combustíveis;
- Área 04: Área de intervenção para manutenção das CQs de materiais irradiados e combustíveis;
- Área 05: Acesso à zona de intervenção, onde estão localizadas salas de monitoração, descontaminação, vestiários, assim como de recebimento de materiais para análise e manutenção;
- Área 06: Espaço destinado aos Laboratórios Associados;
- Área 07: Corredor (em forma de “U”) de operação das CQs e de acesso aos Laboratórios Associados;
- Área 08: Área disponível para equipamentos auxiliares (transformadores, geradores, bombas hidráulicas, elevadores, escadas, etc);
- Área 09: Acesso principal do LAMI onde estão localizadas salas de controle e de acesso ao corredor de operação das CQs e outros ambientes do prédio;
- Área 10: Parte do corredor principal do conjunto de prédios de Produção e Pesquisa do RMB.

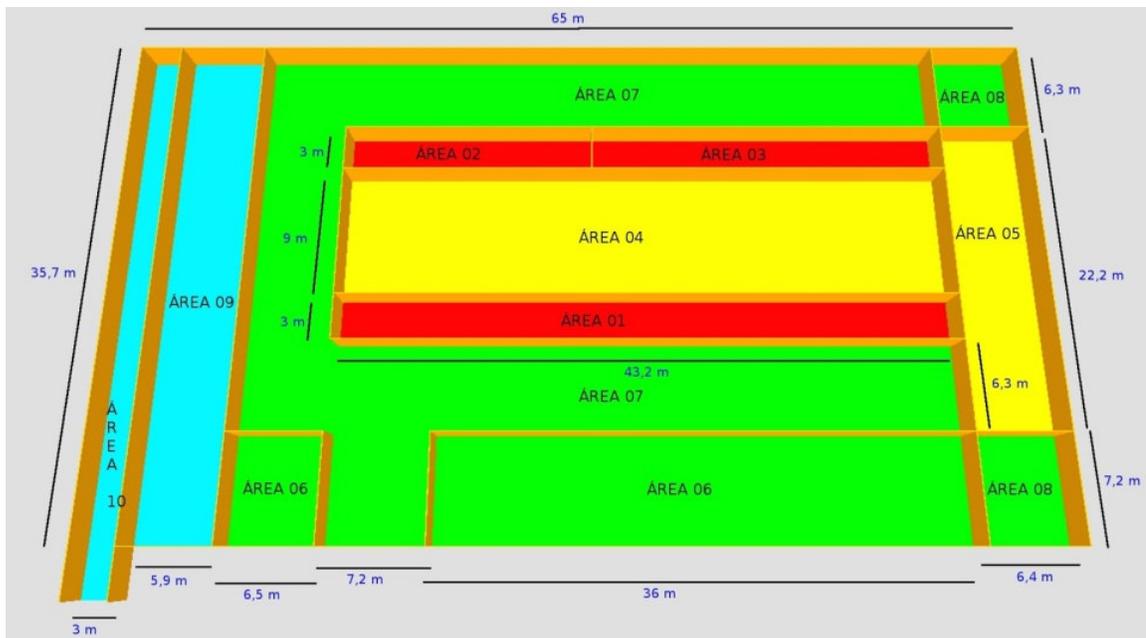
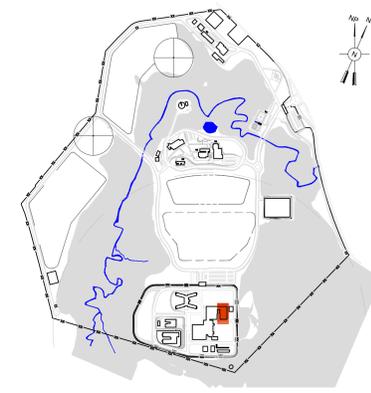
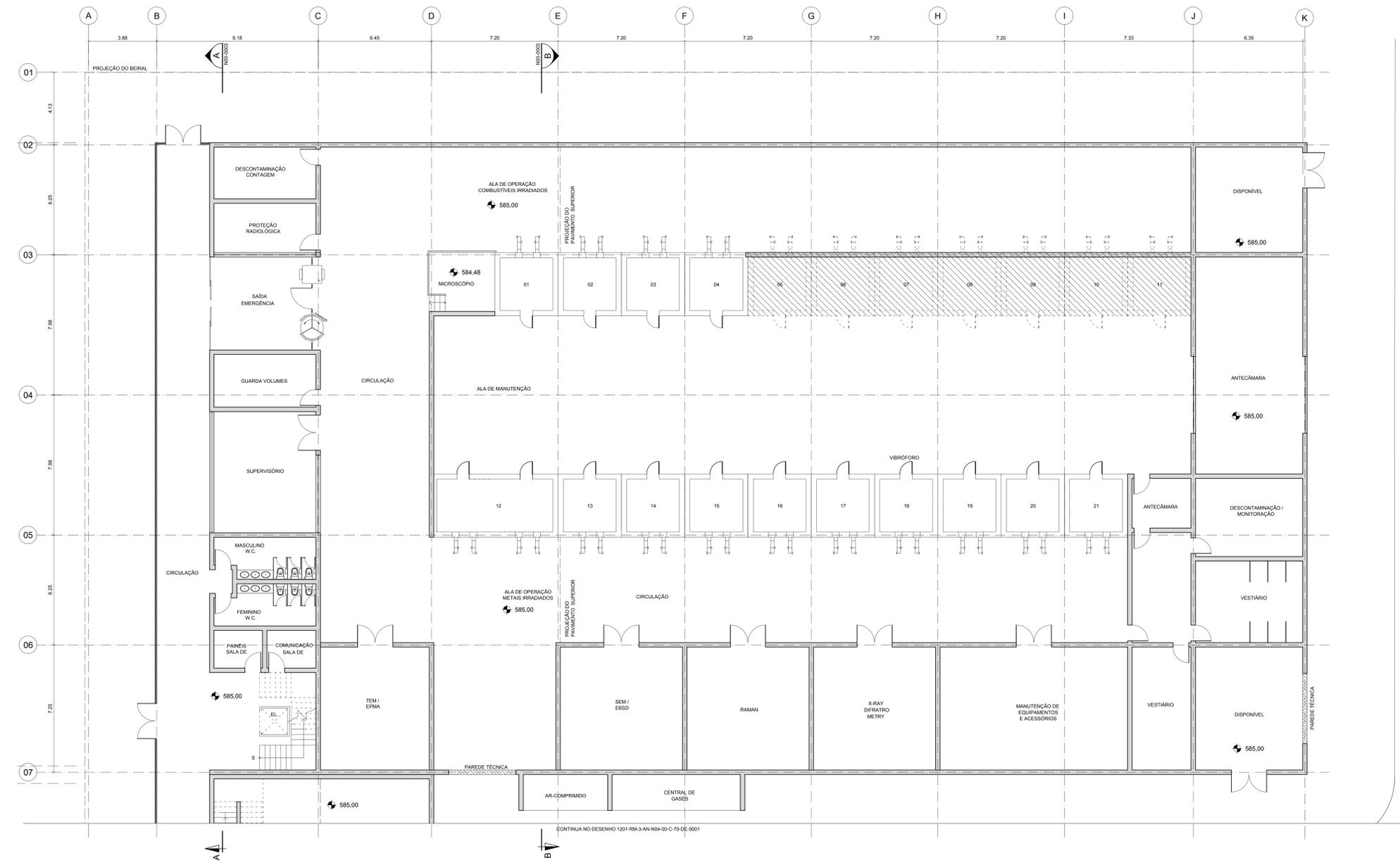
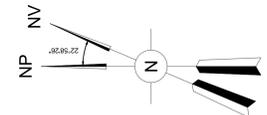


Figura 36 - Esquema do Piso térreo do LAMI.



PLANTA CHAVE



PLANTA TÉRREO  
ESC. 1: 100

LEGENDA:

- CÉLULAS QUENTES - FUTURA EXPANSÃO
  - PROJEÇÃO SUPERIOR / INFERIOR
- 01 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS
  - 02 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS
  - 03 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS
  - 04 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS
  - 05 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 06 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 07 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 08 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 09 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 10 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 11 - CÉLULA QUENTE - COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS (FUTURA EXPANSÃO)
  - 12 - CÉLULA QUENTE - RECEBIMENTO, INSPEÇÃO VISUAL, ANÁLISE DIMENSIONAL E DUREZA
  - 13 - CÉLULA QUENTE - PREPARO DE AMOSTRAS
  - 14 - CÉLULA QUENTE - ARMAZENAGEM
  - 15 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO MECÂNICOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO UNI-AXIAIS
  - 16 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO DE FLUÊNCIA MECÂNICA UNI-AXIAL E RELAXAÇÃO DE TENSÃO
  - 17 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO DE FLUÊNCIA MECÂNICA BI-AXIAL E PRESSURIZAÇÃO DE TUBOS (ARREBATAMENTO)
  - 18 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO DE TENACIDADE E FRATURA VIBROFORO
  - 19 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO DE FADIGA
  - 20 - CÉLULA QUENTE - ENSAIO DE IMPACTO
  - 21 - CÉLULA QUENTE - ANÁLISE MICROESTRUTURAL

| Rev. | Descrição                                | Elab. | Verif. | Aprov. | Data     |
|------|--|-------|--------|--------|----------|
| 0    | APROVADO CONFORME DOCUMENTO RMB-117/2012 | DBS   | AHF    | EVO    | 23/01/13 |

| REVISÃO     |     |                     |                                    |      |               |
|-------------|-----|---------------------|------------------------------------|------|---------------|
| Elaboração  | DBS | Aprovação           | Jussara Feres dos Santos Carneiros | CREA | SP-60081/9541 |
| Verificação | AHF | Responsável Técnico | Leandro N. J. Bobó                 | CREA | RJ-36.084/D   |
| Aprovação   | EVO |                     |                                    |      |               |

Título  
**ARQUITETURA - PROJETO**  
**PRÉDIO DO LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE**  
**MATERIAIS IRRADIADOS - PLANTA TÉRREO**

Código Contratado: 1201-RM-3-AN-N05-00-C-70-DE-0001 Rev. 0  
Escala: 1:100  
Data: 23/01/2013  
Folha: 1 de 1



RMB-N05-IT-PC-18110-CP-001 Rev. 0

É PROIBIDA A DUPLICAÇÃO OU REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL, DESTA DOCUMENTAÇÃO SEM AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA CNEN.

As áreas de trabalho são divididas e classificadas, em termos de proteção radiológica, como:

- Zona I - Não existe radiação ou efeitos de contaminação nessa área;
- Zona II - Não existe radiação ou efeitos de contaminação além dos limites impostos para doses de operadores segundo os critérios de proteção radiológica;
- Zona III - Nesta área há possibilidade de maiores doses e efeitos de contaminação que a Zona II. Deve existir uma monitoração de radiação e contaminação nesta área. Deve existir uma troca de roupa da Zona II para Zona III;
- Zona IV - Esta zona é caracterizada como um confinamento físico ou contenção onde são manipulados materiais radioativos.

Existem certas áreas que podem mudar de classificação durante transporte e manuseio do material radioativo, como por exemplo, a antecâmara de recebimento que é Zona II enquanto não tiver embalagem dentro e passa a Zona III quando tiver embalagem com material radioativo (a embalagem na Zona IV).

Abaixo estão descritas em maior detalhe as principais áreas com as suas respectivas células quentes.

#### 4.4.3.1.5.1 Área 01: Células Quentes de materiais irradiados

A área de materiais irradiados conta com um conjunto de 10 Células Quentes (CQ), blindadas com placas de chumbo, operando em condições de pressão negativa, que tem como objetivo principal fazer o levantamento das propriedades mecânicas dos materiais analisados. Os ensaios realizados em cada CQ independem da ação de outras células, não seguindo, portanto, uma ordem pré-determinada de operação. Abaixo estão descritas as células constantes da concepção inicial do laboratório, podendo estas ainda sofrerem alterações de arranjo ao longo do projeto básico e executivo.

Célula CQ01 - Recebimento, inspeção visual, análise dimensional e medição de dureza. O recebimento de materiais e componentes é feito com auxílio de um casco de transporte tipo "padirac". A inspeção visual, realizada através de câmeras de monitoração e gravação em mídia informatizada, tem por objetivo a localização de defeitos, como descontinuidades e não homogeneidade, para selecionar amostras do material. A análise dimensional verifica as características geométricas de componentes e corpos de prova, podendo obter a variação de dimensões representativas ao longo do percurso. A medida da dureza é realizada pela endentação de um penetrador na superfície da amostra.

Célula CQ02 - Preparação de amostras. Esta célula recebe a amostra proveniente da célula 01 através de um ponto de transferência localizado em sua lateral. As amostras são preparadas por meio de corte, desbaste, furação, marcação, etc. para análises e ensaios posteriores. A célula 02 pode ainda receber corpos de prova já ensaiados através de ponto

de acesso localizado em sua outra lateral (oposta ao ponto de interface com a célula 01) para reprocessamento e reconstituição de corpos de prova para novos ensaios quando isso for aplicável. A célula 02 conta com as seguintes facilidades: dispositivos de fixação da peça e ferramentas tais como serra linear, serra circular, furadeira, fresa, lixadeira, martelo, etc. A maioria dessas operações deve ser realizada de maneira automática, utilizando-se o comando via telemanipuladores apenas quando não for possível executar a tarefa desejada automaticamente. Os insumos necessários são lixas, discos de corte, fluido lubrificante, etc.

Célula CQ03 - Ensaios mecânicos de tração e compressão uniaxiais. As propriedades mecânicas de materiais e componentes estruturais são determinadas em condições estáticas, numa faixa de temperaturas de -170°C a 1000°C. As propriedades especificadas são: o limite de escoamento, o limite de resistência, a ductilidade, o módulo de elasticidade e outras correlatas.

Célula CQ04 - Ensaios de fluência mecânica uniaxial e relaxação de tensão. As propriedades de fluência e relaxação de materiais e componentes estruturais são determinadas em condições estáticas e numa faixa de temperaturas de 60°C a 1100°C. As propriedades especificadas são: o alongamento em fluência, a taxa de fluência e outras correlatas.

Célula CQ05 - Ensaios de fluência mecânica biaxial e pressurização de tubos (arrebentamento). As propriedades de fluência e a pressurização de componentes tubulares são determinadas em condições de tensão biaxiais, numa faixa de temperaturas de 60°C a 1100°C. As propriedades especificadas são a taxa de fluência em condição baixas, a tensão de arrebentamento, e outras correlatas. As amostras chegam e saem da célula 05 através de pontos de acesso localizados em suas laterais, que permitem a transferência das amostras para a célula 04, ou para célula 06, conforme necessário. A célula 05 conta com as seguintes facilidades: máquina de ensaios de fluência e máquina de pressurização de tubos.

Célula CQ06 - Armazenagem. A função desta célula é ser um depósito ou área exclusiva para armazenamento, final ou temporário, de amostras e corpos de provas. Para isso a célula abriga um armário com gavetas numeradas para o arquivamento das amostras. As amostras chegam e saem da célula 06 através de pontos de acesso localizados em suas laterais, que permitem a transferência das amostras para a célula 05, ou para célula 07, conforme necessidade ou através de um padirac com acesso pela parte traseira da mesma.

Célula CQ07 - Preparação e Soldagem de amostras irradiadas. Esta preparação envolve processos de corte e união por soldagem. A célula conta com os seguintes equipamentos: máquinas de soldagem dos tipos TIG e Laser, destinadas às diversas operações de junção e soldagem por resistência (solda ponto) para reconstituição de corpos de prova irradiados após o rompimento. As amostras chegam e saem da célula 07 através de pontos de acesso localizados em suas laterais, que permitem a transferência das amostras para a célula 06, ou para célula 08, conforme necessidade. Os insumos necessários para estas operações são gases inertes tipo argônio e eletrodos consumíveis sólidos de tungstênio.

Célula CQ08 - Ensaio de tenacidade à fratura. As propriedades de fratura de materiais e componentes estruturais são determinadas em 66% condições dinâmicas e numa faixa de temperaturas de 20 °C a 1000 °C. As propriedades especificadas são: a tenacidade à fratura, a temperatura de referência de ductilidade zero e propriedades correlatas. As amostras chegam e saem da célula 08 através de pontos de acesso localizados em suas laterais, que permitem a transferência das amostras para a célula 07, ou para célula 09, conforme necessidade. Para desempenhar as suas funções, a célula 08 conta com as seguintes facilidades: máquina de ensaios dinâmicos com extensômetro; vibrômetro para pré-trincamento dos corpos de prova; forno resistivo tipo split, com temperatura de operação entre 20 °C e 1100 °C; câmara ambiental para ensaios em temperaturas abaixo da ambiente até a temperatura do nitrogênio líquido (-170 °C).

Célula CQ09 - Ensaio de fadiga mecânica. As propriedades mecânicas cíclicas de materiais e componentes estruturais são determinadas numa faixa de temperaturas de 20 °C a 1000 °C. As propriedades especificadas são: a vida em fadiga, o limite de fadiga, a taxa de propagação de trincas de fadiga e outras correlatas. As amostras chegam e saem da célula 09 através de pontos de acesso localizados em suas laterais, que permitem a transferência das amostras para a célula 08, ou para célula 10, conforme necessidade ou através de um padirac com acesso pela parte traseira da mesma. Para desempenhar as suas funções, a célula 09 conta com as seguintes facilidades: máquina de ensaios dinâmicos com extensômetro; forno indutivo tipo split, com temperatura de operação entre 20 °C e 1100 °C;

Célula CQ10 - Ensaio de impacto. As propriedades mecânicas de materiais estruturais em condições de choque são determinadas numa faixa de temperaturas de -170 °C a 300 °C. As propriedades especificadas são: energia de absorção de choque, a temperatura de transição dúctil-frágil e outras propriedades correlatas. As amostras chegam e saem da célula 10 através de ponto de acesso localizado em sua lateral com a célula 09. Para desempenhar as suas funções, a célula 10 conta com as seguintes facilidades: pêndulo de impacto tipo Charpy convencional; pêndulo de impacto tipo Charpy reduzido; cuba refrigerada para temperaturas de até -180 °C; forno resistivo tipo estufa para temperaturas de até 700 °C; posicionador de corpos de prova.

A linha de CQ de materiais irradiados opera nas seguintes condições: executa prioritariamente os testes e ensaios requeridos pelas empresas parceiras, e atende também a demanda dos projetos de P&D de parceiros acadêmicos (universidades e institutos de pesquisa). É feita uma programação anual de execução dos testes para cada uma das células da linha, conseqüentemente haverá períodos de plena atividade intercalados com outros de atividades menos intensas.

A monitoração e controle das operações nas células se dão por meio de painéis de controle individuais para cada célula com interface homem máquina adequada. Posicionada fora das células, o operador poderá ler todas as informações necessárias para a correta operação dos equipamentos e fazer os ajustes e programações que forem requeridos para a operação desejada. As variáveis monitoradas nas células quentes são: temperatura do ambiente interno, nível de radioatividade interno, pressão interna e umidade do ambiente interno. São

previstos intertravamentos operacionais visando possíveis erros humanos e de segurança para evitar que as operações sejam conduzidas quando as condições do processo não forem adequadas.

#### 4.4.3.1.5.2 Área 02: Células Quentes para Combustíveis

As células quentes para combustíveis serão projetadas para trabalhar com miniplacas ou minivaretas combustíveis representativas dos combustíveis nucleares de reatores de pesquisa ou de reatores de potência.. A linha de células quentes para análise de combustíveis é constituída, na sua concepção atual, de 4 células justapostas, construídas com paredes de chumbo montadas sobre uma base metálica nivelada e chumbada no piso. As paredes de chumbo, incluindo o teto, têm 200 mm de espessura. A altura interna de todas as células é de 2600 mm e as demais dimensões internas são: Células 1, 2 e 3 2100 x 1600 mm; e Célula 4 1600 x 1600 mm. No futuro mais células poderão ser projetadas para análises específicas. A Figura 38 e Figura 39 apresentam leiautes das células e seus equipamentos.

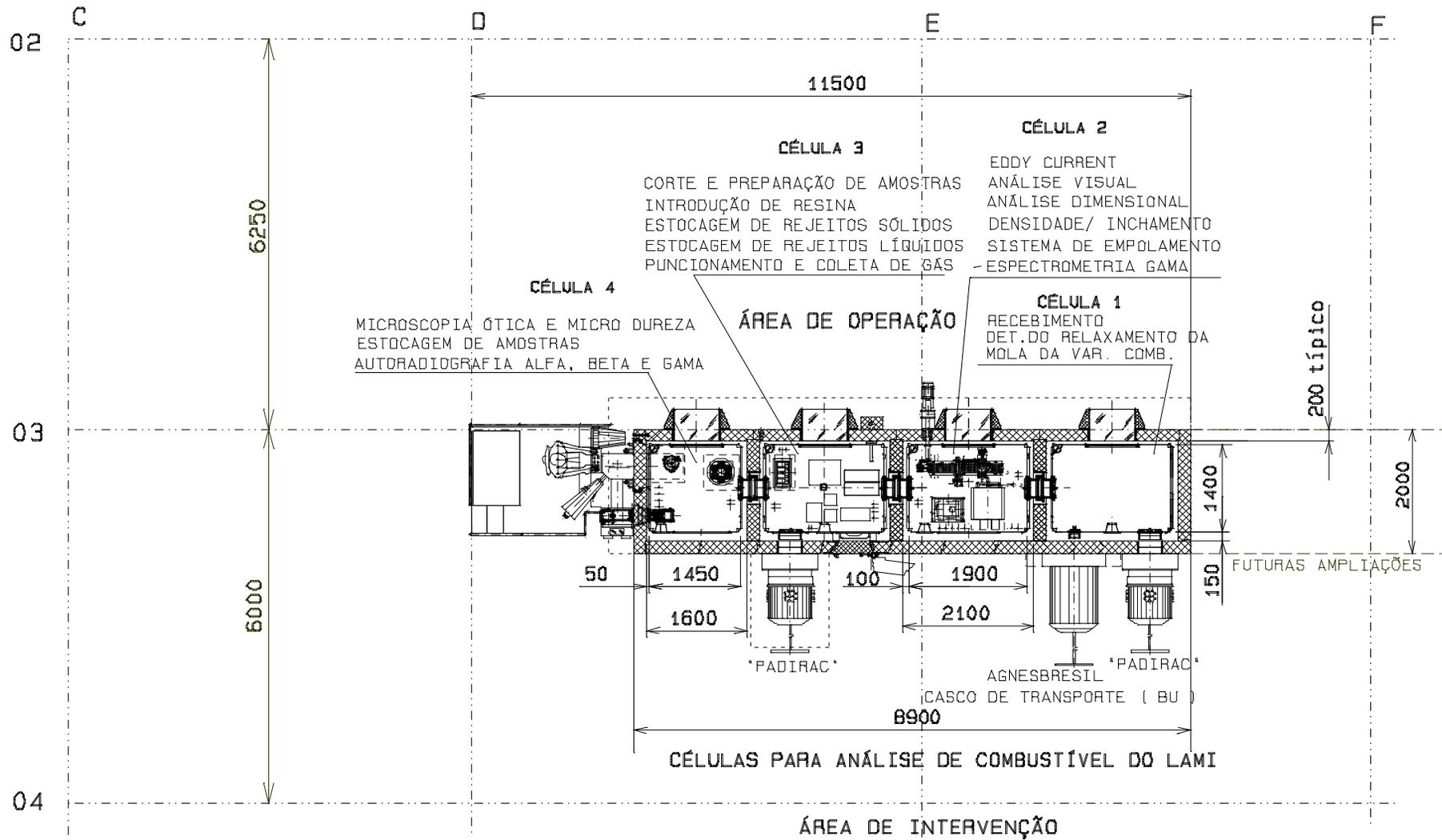
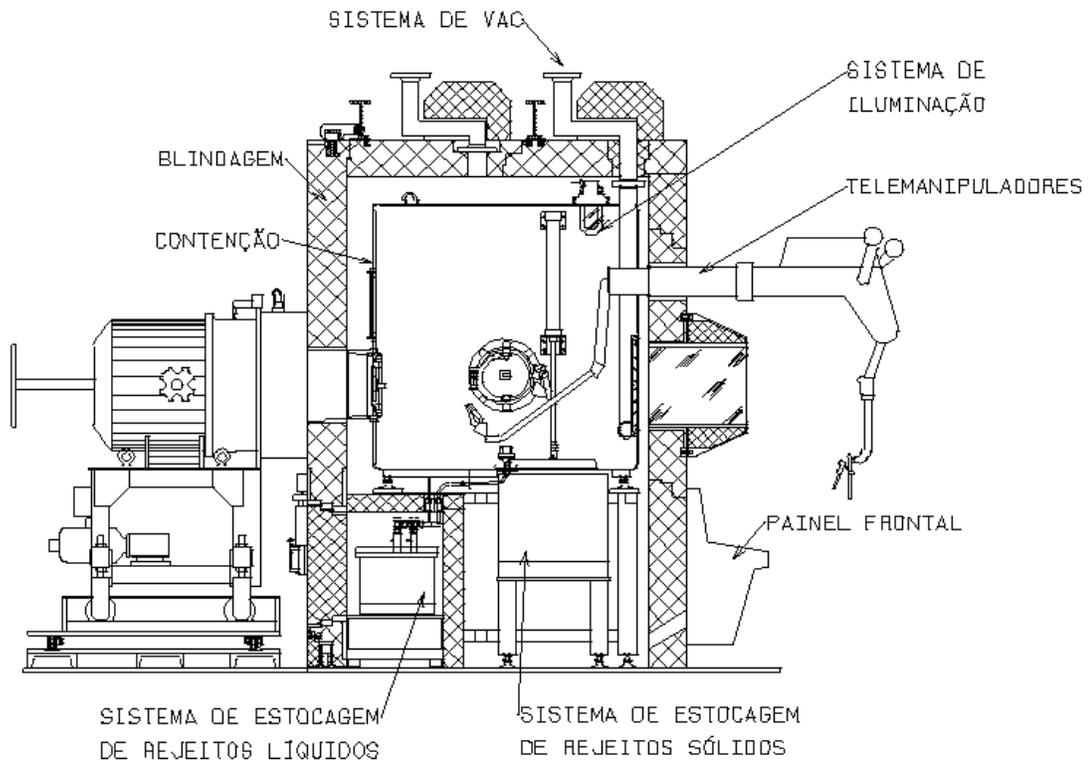


Figura 38 - Leiaute das células quentes de combustíveis.



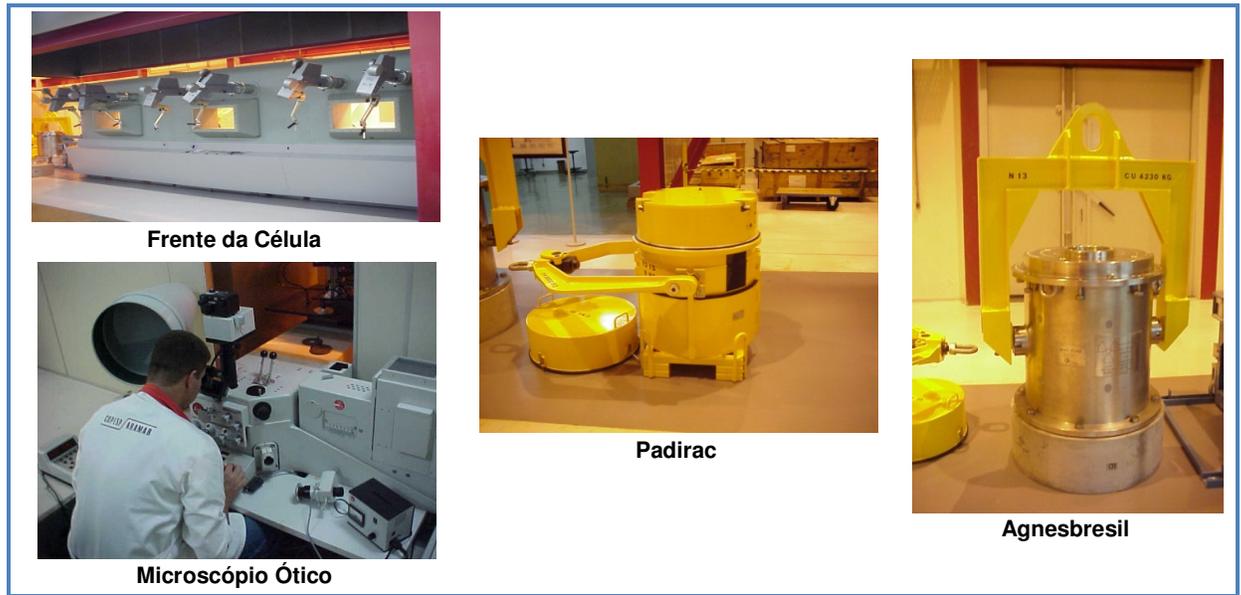
**Figura 39 - Corte esquemático das células quentes de combustíveis.**

Todas as células possuem na região posterior portas deslizantes que permitem um eventual acesso ao interior. Cada uma delas possui na região frontal uma janela de vidro plumbífero para a visualização interna das caixas de contenção. As dimensões das janelas são 415 x 715 x 520 mm de altura, largura e profundidade respectivamente. A blindagem da janela é equivalente a uma parede de 200 mm de espessura e densidade de 10,8 Kg/dm<sup>3</sup>.

A célula 1 possui um dispositivo que permite o acoplamento da embalagem de transporte “AGNESBRÉSIL”, através do qual será introduzido tanto o material combustível a ser analisado como o material metálico que vem de fora da instalação para ser analisado. As células 1 e 2 também possuem um dispositivo que permite o acoplamento do sistema de transporte “Padirac”, através do qual serão introduzidos os materiais a serem utilizados nas análises, e a retirada dos rejeitos. O “Padirac” também será utilizado para transporte dos materiais metálicos para a linha de células quentes de análise de materiais metálicos.

As células 2 e 3 possuem paredes de 100 mm de espessura para blindagem adicional do sistema de estocagem de rejeitos sólidos e ao sistema de estocagem de rejeitos líquidos e do sistema de estocagem de amostras. Cada célula possui no seu interior caixas, de aço inoxidável, estanques em termos de ambiente e controle do ar. As quatro caixas possuem espessura de 5 mm e altura de 1405 mm, sendo que as caixas das células 1,2 e 3 tem 1400 x 1900 mm de largura e profundidade e a caixa da célula 3 tem 1400 x 1450 mm.

As três caixas estão posicionadas sobre suportes que as mantêm à uma altura de 1050 mm. As caixas são interligadas entre si por meio de um dispositivo com porta dupla que permite a transferência de material de uma para a outra sem que a estanqueidade seja interrompida. A Figura 40 apresenta fotos sobre as embalagens de transporte e detalhes das células quentes que farão parte do laboratório.



**Figura 40 - Detalhes das Células Quentes de Análise de Combustível.**

As seguintes funções e processos serão realizados nas células quentes de combustíveis:

- Célula Quente 1 – Recebimento através da embalagem de transporte Agnesbresil de minivaretas ou miniplacas e dos materiais metálicos irradiados. As minivaretas ou miniplacas são transferidas para a célula quente 2 pela passagem existente entre a célula 1 e 2. Os materiais metálicos irradiados serão transferidos através do Padirac para a linha de células quentes de materiais.
- Célula Quente 2 – Inspeção Visual; Inspeção Dimensional; Medida de Densidade; Inchamento; Empolamento; Análise de Corrente de Foucault; Espectrometria Gama de Varredura.
- Célula Quente 3 – Puncionamento e Coleta de Gases; Impregnação; Corte; Limpeza Ultrassônica; Embutimento; Lixamento e Polimento; Ataque Químico,
- Célula Quente 4 – Microscopia Ótica; Autorradiografia Alfa e Beta/Gama

O Quadro 19 apresenta de forma resumida as características de cada uma das funções das células quentes de combustível.

**Quadro 19 - Funções no interior das Células Quentes de Combustíveis.**

| Função                            | Descrição   |
|-----------------------------------|---|
| Inspeção Visual                   | Tem por objetivo localizar defeitos (descontinuidades, não homogeneidades, pontos de corrosão) e escolher as porções do material que devem ser analisadas ou cortadas. A inspeção visual será feita através de um Microscópio Estereoscópico com aumentos de até aproximadamente 10x, que ficará localizado no lado externo da célula e fará a inspeção visual através da janela de vidro plumbífero.   |
| Inspeção Dimensional              | Tem por objetivo verificar as características geométricas das miniplacas e minivaretas observando os seguintes itens gerais: dimensões totais, dimensões parciais, espaçamento entre detalhes repetitivos, diâmetro, ovalização, empenamentos e variações dimensionais representativas. A inspeção dimensional será realizada por sistema automatizado, composto de uma mesa tridimensional montada a partir da combinação de mesas de coordenadas lineares com fusos de esferas recirculantes, acionadas por motores de passo. As amostras serão fixadas em uma morsa e as medidas serão feitas através de sensores do tipo LVDT. Este sistema é controlado e operado de forma automatizada através de um programa de controle instalado em um microcomputador.  |
| Medida de Densidade/ Inchamento   | Tem por objetivo determinar a taxa de inchamento ou densidade de miniplacas. Este sistema é composto por uma balança sob a qual será instalada uma cuba de vidro contendo água e álcool A amostra será imersa na cuba e ficará pendurada por um gancho no sistema de medição da balança. Esta medição é feita antes e após a irradiação, a fim de aferir alterações de volume provenientes desse processo.  |
| Empolamento                       | Tem por objetivo verificar existência de bolhas ou acúmulo de gases nas miniplacas combustíveis. O teste consiste no aquecimento da miniplaca combustível até uma temperatura adequada que provoque o aumento da pressão interna das bolhas de gases de fissão, permitindo visualizar as regiões das miniplacas em que ocorreu o maior acúmulo de gases de fissão. Este sistema é composto por um forno tipo mufla. Acoplado ao forno existe um sistema de vácuo que opera com vácuo da ordem de $10^{-3}$ mm Hg e sistema de filtros especiais para retenção de partículas radioativas.  |
| Análise de Corrente de Foucault   | Tem por objetivo detectar microtrincas no revestimento, medir a espessura do revestimento e da camada de óxido ou depósitos superficiais, detectar variações na microestrutura e na orientação dos grãos e informações sobre o diâmetro. o método deste ensaio baseia-se no fato de que um fluxo eletromagnético criado por uma bobina, penetrando no metal gera correntes parasitas ou correntes de Foucault. Toda a eletrônica associada de registro estará fora da célula.   |
| Espectrometria Gama de Varredura. | Tem por objetivo identificar e quantificar os produtos de fissão que emitem radiação gama. a fim de avaliar o nível e a distribuição da queima atingida na amostra do combustível, distribuição e indicação de migrações dos produtos de fissão e posição da interface das pastilhas combustíveis. O ensaio de varredura gama utilizará a mesma mesa tridimensional empregada no ensaio de inspeção dimensional Os raios gama da amostra serão colimados e captados por um detector de germânio puro, e eletrônica associada, situado na área de operação. Os pulsos armazenados serão tratados e analisados para a obtenção do espectro de emissão através de um sistema comercial.  |
| Puncionamento e Coleta de Gases   | Este exame refere-se somente as minivaretas, nas quais será feito um puncionamento ou furo, para a coleta dos gases de fissão, com a finalidade de analisar a composição, determinar o volume livre e pressão existente no ambiente interno da minivareta. Um sistema de vácuo e um sistema de injeção de hélio devem estar associados a este sistema de coleta de gases. As amostras de gases serão analisadas fora da célula, através da espectrometria de massa.   |
| Impregnação                       | O objetivo é impregnar com resinas o volume interno das minivaretas irradiadas, a fim de manter as pastilhas, mesmo que estejam eventualmente fragmentadas, em suas posições originais, durante a operação de corte. Para as miniplacas combustíveis este procedimento não é necessário. o sistema para impregnação consiste de um dispositivo que permite o acoplamento da minivareta em um sistema de vácuo, para efetuar a sucção da resina para o volume interno da mini vareta. Para este processo é feito um corte inicial no tampão de fechamento da minivareta e um corte parcial na extremidade inferior da minivareta. A minivareta é posicionada verticalmente, sendo sua extremidade inferior imersa num recipiente contendo resina e a sua extremidade superior conectada no sistema de vácuo. |
| Corte                             | A partir dos ensaios de inspeção visual, inspeção dimensional e espectrometria gama serão selecionadas as porções do combustível a serem analisadas por meio de ensaio  |

| Função                            | Descrição   |
|-----------------------------------|---|
|                                   | destrutivo. Estas amostras serão cortadas em dimensões que variam entre 10 mm e 19 mm. O corte será efetuado por uma máquina ISOMET especialmente adaptada para este fim. As amostras serão acopladas a máquina através de um sistema de fixação, que consiste de uma plataforma x-y que permite realizar cortes tanto transversais como longitudinais das miniplacas e minivaretas combustíveis.   |
| Limpeza Ultrassônica;             | Durante todo o processo de preparação das amostras é importante a limpeza das mesmas, para se remover os vestígios de detritos alojados nos interstícios da superfície da amostra, com a utilização da limpeza ultrassônica. O agente de limpeza no sistema ultrassônico será água. A cuba do sistema de limpeza ultrassônica deverá ser de dimensões que permitam também a limpeza do disco de cone da máquina ISOMET e do disco de lixamento/polimento.   |
| Embutimento;                      | O processo de embutimento com impregnação a vácuo é utilizado para permitir as operações de preparação de amostras (lixamento, polimento e ataque químico) para observação da microestrutura de materiais porosos, ou que apresentem trincas, em microscópios óticos. Consiste de recipiente de plexiglas conectado a um sistema de vácuo. A amostra será colocada em um molde posicionado dentro deste recipiente onde é vertida a resina polimérica e então feito vácuo para sucção da resina. Após algumas horas, tão logo a resina esteja em condições de manuseio, a amostra será retirada para a execução das operações de lixamento e polimento.   |
| Lixamento / Polimento             | Para que as microestruturas dos materiais metálicos e cerâmicos possam ser observadas em microscópio ótico, é necessária a preparação de corpos de prova, até a obtenção de uma superfície plana e polida. Devido à pequena profundidade de campo dos microscópios óticos, é essencial a obtenção de uma superfície plana e polida. O lixamento e polimento das amostras de combustíveis e revestimento metálico serão realizadas através dos sistemas de preparação amostras com seus sistemas de controle e acionamento posicionados em quadro remoto na área de operação das células.  |
| Ataque Químico                    | Tem por objetivo permitir a observação dos elementos microestruturais de materiais metálicos e cerâmicos através da diferenciação de cor, relevo e falhas estruturais como trincas, poros e outras descontinuidades, com a aplicação dos reagentes químicos. Esta aplicação será realizada através do esfregado de um algodão embebido no reagente contra a superfície da amostra. O algodão embebido em reagente químico é introduzido pelo mesmo dispositivo de entrada de material na Célula na área de operação.  |
| Microscopia Ótica                 | Os exames de microscopia ótica de amostras, polidas e atacadas, de material cerâmico e metálico utilizados nos combustíveis nucleares, visam verificar a integridade geral do combustível e do revestimento, bem como características microestruturais que possam ser detectadas em aumentos de até aproximadamente 1000 vezes. Estes exames, juntamente com os testes não destrutivos, permitem avaliar o desempenho do combustível. Recomenda-se que, antes de se fazer o exame no microscópio ótico, as amostras sejam limpas através de um jato de nitrogênio seco. Serão observadas, no caso de minivaretas, as deformações do revestimento e reestruturação do combustível, existência de folga, interação e presença de fragmentos entre o revestimento e o combustível, trincas e porosidades, vazios e bolhas de gases de fissão, grãos (forma, tamanho e distribuição) e hidretos de <i>zircaloy</i> . Para miniplacas serão verificados a espessura da pastilha combustível, inchamento, bolhas de gases de fissão, tamanho forma e distribuição de partículas diversas, porosidades nas partículas combustíveis, trincas nas partículas físseis e na matriz, deformação, corrosão e espessura do revestimento, presença de trinca e perfuração do revestimento. Estes exames serão feitos através do microscópio MM 5 RT, fabricado pela empresa LEITZ, que foi desenvolvido especialmente para o exame de amostras irradiadas em célula quente. O sistema fotográfico, painel de controle e fonte de iluminação são posicionados externamente a célula e comandam a movimentação da mesa para focalização, troca de objetiva, abertura do diafragma e ensaio de microdureza. |
| Autorradiografia Alfa e Beta/Gama | A autorradiografia alfa destina-se a obter uma imagem autorradiográfica para verificar a distribuição de nuclídeos emissores alfa presentes na seção do combustível principalmente o plutônio, devido a sua alta atividade específica. A autorradiografia beta/gama destina-se a verificar a distribuição de produtos de fissão presentes na seção de combustível. Autorradiografias alfa e beta/gama de combustíveis nucleares pós-irradiados são obtidas pelo contato da amostra de combustível, preparada ceramograficamente, em contato com um filme sensível às radiações emitidas. Será utilizado para estes ensaios um sistema acoplado à célula 4, que consiste basicamente de uma penetração sob forma de caixa e um sistema de posicionamento de amostra na posição adequada sobre o filme, uma caixa estanque equipado com luvas ( <i>glove bor</i> )  |

| Função | Descrição   |
|--------|---|
|        | para a inserção do filme e retirada do filme para revelação externamente. |

#### 4.4.3.1.5.3 Área 06: Laboratórios Associados

Nessa área foram reservados espaços para laboratórios com técnicas especiais de análise micro e nano estruturais. Das cinco salas previstas três serão instalados junto com o LAMI e o restante do espaço

- Microsonda Eletrônica (EPMA). A microsonda eletrônica é um equipamento dotado de coluna blindada que realiza análises de amostras provenientes das células quentes de materiais combustíveis e também irradiados, via um duto de transferência pneumático ou dispositivo tipo padirac.
- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O microscópio eletrônico de varredura conta com uma coluna blindada para às observações e análises químicas de componentes e materiais combustíveis e irradiados. As amostras para análise são provenientes das células quentes de materiais combustíveis e também irradiados, via um duto de transferência pneumático ou dispositivo tipo padirac. O laboratório também conta com um evaporador para recobrimentos das amostras com carbono ou ouro.
- Difratomia de Raio-X (DRX). O difratômetro de raios-X conta com uma estrutura blindada para a análise de materiais ativados. As amostras para análise são provenientes das células quentes de materiais combustíveis e também irradiados, via um duto de transferência pneumático ou dispositivo tipo padirac.

Os Laboratórios Associados do LAMI operam nas seguintes condições: executam prioritariamente os testes e análises requeridas pelas empresas parceiras, e atendem também a demanda dos projetos de P&D de parceiros acadêmicos (universidades e institutos de pesquisa). É feita uma programação anual de execução dos testes para cada um dos laboratórios, conseqüentemente haverá períodos de plena atividade intercalados com outros de atividades menos intensas.

A monitoração e controle das operações nos mesmos é semelhante a de um laboratório frio com exceção das caixas de luva. As variáveis monitoradas nos laboratórios são: temperatura e umidade do ambiente e o nível de radioatividade. Existem já nos principais equipamentos dos laboratórios, intertravamentos operacionais visando possíveis erros humanos e de segurança de modo a evitar que as operações sejam conduzidas quando as condições não forem adequadas.

#### 4.4.3.1.6 Prédio do Laboratório de Radioquímica (N06)

A análise por ativação com nêutrons (AAN) é uma das aplicações relevantes dos reatores nucleares de pesquisa e é aplicada em muitos reatores de pesquisa do mundo. A AAN é um método de análise multielementar, qualitativo e quantitativo, que se caracteriza por alta

exatidão, precisão, sensibilidade e seletividade. Além disso, o método pode ser aplicado a uma diversidade muito grande de materiais, tais como: rochas, minérios, solos, sedimentos, alimentos, tecidos humanos e animais, metais e ligas, artefatos arqueológicos, amostras ambientais e de interesse na agropecuária e muitos outros.

Cerca de 70% dos elementos químicos têm núclídeos que possuem propriedades adequadas para análise por ativação com nêutrons instrumental (AANI), sendo utilizada para a determinação de elementos na faixa de percentagem a nanograma/grama em amostras de diferentes tipos de matrizes.

No Brasil, a AAN é aplicada com destaque em dois centros de pesquisa que possuem reatores nucleares, ambos da Comissão Nacional de Energia Nuclear: o reator IEA-R1, do IPEN-CNEN/SP e o reator TRIGA MARK-I do CDTN /CNEN. Em ambas as instalações, a AAN é aplicada tanto na área de pesquisa e formação de recursos humanos quanto na prestação de serviços.

Dentro do escopo do empreendimento RMB, está prevista uma área, próxima ao reator e designada como “Laboratório de Radioquímica”, na qual serão realizados os trabalhos de AAN e Radioquímica, tanto para pesquisa como para prestação de serviços. Esta instalação está sendo projetada pelo grupo de especialistas do IPEN/CNEN-SP, baseando-se na experiência das instalações hoje existentes no IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP. Para tanto será necessário dotar as instalações do Laboratório com os seguintes itens:

- a) Estações pneumáticas para envio de amostras ao reator, para irradiações curtas e longas
- b) Laboratórios de espectrometria gama, para medições de radiação das amostras irradiadas no reator.
- c) Salas de balanças, para pesagem de amostras.
- d) Laboratórios químicos, com capelas e bancadas, para manuseio de amostras ainda não irradiadas.
- e) Laboratórios radioquímicos, para manuseio e processamento de amostras irradiadas.
- f) Laboratório de abertura e estocagem de amostras.
- g) Almojarifado.

As diversas salas do Laboratório de Radioquímica estarão dispostas em uma área de cerca de 600 m<sup>2</sup>. Todo o edifício deve ter ambiente com temperatura e umidade controlada e rede elétrica estabilizada e protegida por sistema no-break, tanto em 110V como em 220V, para permitir um perfeito funcionamento dos equipamentos ali instalados. Na saída do laboratório deve ser instalado um detector de radiação do tipo portal, para assegurar que ao saírem do laboratório as pessoas estão isentas de contaminação.

O Laboratório terá duas estações pneumáticas lentas duas “caixa de luvas”, uma estação pneumática cíclica e uma estação para medidas de nêutrons atrasados.

Operacionalmente, a proposta é que as “caixa de luvas” a estação pneumática cíclica e a estação de nêutrons atrasados sejam ligadas diretamente às posições de irradiação localizadas no tanque refletor em volta do reator, de forma que as cápsulas (possivelmente de polietileno) contendo as amostras sejam encaminhadas diretamente para irradiação voltando logo depois para as estações de medidas no Prédio da Radioquímica. O tempo de trânsito entre a saída do tanque refletor e chegada à estação pneumática não pode ultrapassar 10 segundos.

Já as estações pneumáticas “lentas” serão ligadas a uma célula quente localizada no Prédio do Reator. As amostras irradiadas no reator serão recebidas na célula localizada no Prédio do Reator e posteriormente encaminhadas por dutos secos para as células no Prédio da Radioquímica onde as cápsulas serão abertas e o alumínio, guardado para posterior descarte como “rejeito sólido”.

Em todos os casos o gás de enchimento dos dutos pneumáticos será Nitrogênio Líquido. As estações pneumáticas lentas serão dotadas de uma área especial onde será possível a estocagem de amostras que tenham ficado muito ativas, e necessitem um tempo de decaimento antes de serem analisadas.

Nas estações pneumáticas, tanto lentas como rápidas (glove boxes), é feito tanto o envio como a recepção das amostras irradiadas no reator para posterior análise. Conseqüentemente, todas as estações pneumáticas devem ser confinadas e conter os dispositivos necessários para manipulação das amostras após a irradiação. A área deve dispor de sistemas ativos de detecção de radiação ambiental e todo o equipamento necessário à operação das estações.

Nas *gloves boxes* serão efetuadas irradiações especiais onde a amostra é enviada para irradiação, recebida e levada ao sistema de contagem, repetindo-se este ciclo de modo a realçar a ativação de alguns elementos críticos. Na estação cíclica serão efetuadas irradiações especiais onde a amostra é enviada para irradiação e recebida diretamente no arranjo de contagem, repetindo-se este ciclo de modo a realçar a ativação de alguns elementos críticos; já na estação de nêutrons retardados a amostra retorna para o interior de um tambor de parafina com detectores de nêutrons, o que é de extrema utilidade na medida de materiais físséis, em especial de urânio. Na saída desta área deve haver um monitor de contaminação, tipo “pancake”, para que as pessoas possam fazer uma primeira monitoração pessoal, visando evitar a dispersão de uma eventual contaminação.

Nos Laboratórios Químicos serão preparadas as amostras a serem irradiadas, e no Laboratório Radioquímico podem ser manipuladas amostras, irradiadas ou não, que apresentem radioatividade considerável. Em ambos serão necessários capelas com fluxo laminar, bancadas (tanto de aço quanto de granito), pontos de gás (N<sub>2</sub>, GLP e ar comprimido), linha de vácuo, pias separadas para rejeito comum, químico e radioativo e blindagens para manipulação e estocagem temporária de amostras.

O Laboratório Radioquímico deve dispor de detectores de radiação próximos às capelas. Entre os equipamentos a serem instalados nesses laboratórios há muflas, estufas e chapas

elétricas. Também será necessário o fornecimento de água deionizada e um sistema de ultrapurificação de água tipo MilliQ (*Millipore Corporation*).

Nas Salas de Pesagem será realizada a pesagem das amostras, de modo que estas devem dispor de bancadas de granito especiais para balanças, bem como de balanças analíticas e semianalíticas.

Os Laboratórios de Espectrometria são reservados aos sistemas de detecção, que consistem em detectores gama de alta resolução, blindagens individuais adequadas, eletrônica específica e computadores. Essas salas requerem tomadas elétricas estabilizadas e protegidas por no-break, bem como de pontos de gás nitrogênio.

No Almojarifado/Depósito devem ser instalados armários para estocagem de amostras e reagentes, bem como geladeiras e freezers para amostras sensíveis à temperatura.

Na parte externa ao Laboratório, mas em área protegida contra eventos externos, deve ser prevista uma área na qual serão instalados tanques para retenção de rejeitos radioativos líquidos, efluentes, equipamentos dos sistemas de ventilação e ar condicionado, eventuais compressores (do sistema de ar comprimido), e outras utilidades que se façam necessárias. Deve ser previsto, também, um local para instalação das ampolas (torpedos) de gás necessárias à operação do Laboratório, como GLP, e nitrogênio gasoso.

O layout do Laboratório de Radioquímica é apresentado na Figura 41.



Tendo em vista a presença de material radioativo no Laboratório Radioquímico, o sistema de ventilação deve ser projetado de forma a garantir um fluxo de ar no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação, sendo a exaustão final feita sempre a partir de áreas com maior potencial de contaminação. Podem ser utilizadas saídas de exaustão diretamente de áreas com menor potencial de contaminação, com o objetivo de minimizar o dimensionamento dos sistemas de filtragem, devendo ser analisado, caso a caso, a vantagem de sua adoção.

De acordo com as definições estabelecidas na norma CNEN NN 3.01 (Diretrizes básicas de proteção radiológica) e mais especificamente com o item 5.8 - (classificação de áreas) da mencionada norma, a classificação das diversas áreas do Laboratório de Radioquímica, com relação à segurança nuclear é a seguinte:

- Áreas supervisionadas: laboratórios dentro do ponto de controle
- Áreas controladas: estações de irradiação pneumáticas e estocagem de amostras, mais a área reservada para equipamentos como tanques de retenção e filtros.
- Áreas livres: Áreas externas, antes do ponto de controle.

Todas as pias, ralos, chuveiros e outros dispositivos geradores de líquidos passíveis de contaminação, localizados ou não nas áreas controladas e supervisionadas devem estar conectados ao sistema de coleta de rejeitos líquidos radioativos.

Todos os efluentes líquidos (químicos) deverão ser direcionados para um tanque de coleta, para posterior envio à Estação de Tratamento de Efluente Químico/Industrial (ETI) do empreendimento. A forma de envio do efluente para a ETI deverá ser definida posteriormente, se por meio de tubulação ou por meio do transporte de tanques de transferência, em função do volume a ser transferido.

Devem ser postas em práticas ações para manter a exposição à radiação nas áreas controladas “tão baixa quanto razoavelmente exequível” (*As Low As Reasonable Achievable* - ALARA) através de características físicas e controles administrativos.

Devem ser utilizados métodos de otimização para garantir que a exposição ocupacional é mantida ALARA no desenvolvimento e justificativa do projeto da instalação e controles físicos.

As blindagens de radiação devem ser projetadas e construídas de modo que durante a operação normal da instalação todas as doses apresentadas para os grupos de atendam a filosofia ALARA, não ultrapassando nunca os valores estabelecidos em norma.

O Laboratório procurará colocar à disposição de seus clientes a melhor tecnologia e qualidade na realização de seus serviços, buscando sempre a excelência e a plena satisfação de seus clientes. Os parâmetros de operação visarão, sempre, evitar a ocorrência de acidentes. Para isso, atenderá todos os requisitos da Resolução CNEN-09/1984, publicada em 14/12/1984 pela Portaria da CNEN 059/1998 publicada no D.O.U. de 02/06/1998 sobre instalações radiativas, NBR ISSO/IEC 17025 sobre funcionamento dos

laboratórios e a NBR ISO 9001 sobre irradiação com nêutrons para fins diversos nas quais estão incluídos os procedimentos de manutenção.

Os parâmetros de operação visarão adotar boas práticas profissionais na realização das análises por meio de métodos testados, validados e documentados.

Os funcionários serão treinados nas políticas, procedimentos e na documentação da qualidade para a realização das análises; tendo como norte a cultura de segurança, a qualidade dos resultados gerados, a confidencialidade e imparcialidade. Por último, estabelecer-se-ão objetivos e metas que permitam monitorar a eficácia do sistema, bem como a sua melhoria contínua.

A análise de uma amostra típica permitirá determinar cerca de 70% dos elementos químicos, realizando medidas a diferentes tempos após a irradiação. Para isso, irradiar-se-ão amostras com massas da ordem de 200 mg por, até, 8 horas em um fluxo de nêutrons térmicos da ordem de  $10^{12}$  a  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s.

A vida útil da instalação do Prédio do Laboratório de Radioquímica, bem como toda a sua infraestrutura, é de 50 anos, estando a mesma diretamente ligada à vida útil do empreendimento nuclear como um todo, uma vez que a técnica de Análise por Ativação Neutrônica necessita de fonte de nêutrons térmicos e disponibilidade de segurança radiológica para sua operação.

Tendo em vista os aspectos de manutenção das instalações e dos equipamentos utilizados para que o sistema opere de forma confiável, além do desgaste natural e obsolescência de tais equipamentos que levam à necessidade de substituição a longo prazo, a disponibilidade da instalação deverá ser no mínimo igual a 90%.

Para tanto é necessário que o sistema *no-break* da instalação tenha manutenção constante para que a rede elétrica seja estabilizada e não sofra cortes.

Os equipamentos utilizados para controle de temperatura e umidade também devem ter manutenção preventiva para funcionamento correto dos espectrômetros de germânio hiperpuro. Além disso, deve haver disponibilidade constante de nitrogênio líquido e gasoso para a operação dos detectores.

Equipamentos de proteção radiológica, tais como o portal e monitores de área devem ser calibrados e ter manutenção preventiva.

O funcionamento das Estações Pneumáticas deve ter manutenção preventiva que garanta seu funcionamento contínuo, uma vez que sem manutenção há risco de interrupções na operação das instalações bem como a ocorrência de contaminações radioativas.

Nos Laboratórios Químicos as balanças analíticas devem ser calibradas periodicamente e as capelas devem ter seus filtros substituídos anualmente e o fluxo de exaustão deve ser checado regularmente.

Considerando que as condições de operação sejam apropriadas, estima-se que a vida útil da instalação será a mesma do RMB, e a dos espectrômetros seja de 20 anos. Deve ser prevista a troca dos espectrômetros em até 20 anos.

#### 4.4.3.1.7 Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos

O Sistema de Tratamento e Armazenamento de Rejeitos - STAR visa atender todas as instalações pertencentes ao complexo do Reator Multipropósito Brasileiro - RMB. Os principais núcleos geradores de rejeitos radioativos considerados são: Prédio do Reator, Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens, Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes, Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irradiados, Prédio da Radioquímica, Prédio da Guia de Nêutrons, e demais Instalações associadas.

O STAR foi concebido para rejeitos radioativos de baixa e média atividade e incorpora os dispositivos relevantes para o tratamento, manuseio, armazenamento e transporte dos rejeitos radioativos e controle das descargas de efluentes. Estão incluídos, no escopo do STAR, todos os rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, com exceção dos efluentes gasosos que serão tratados nos equipamentos que fazem parte dos sistemas de ventilação exaustão dos edifícios do Empreendimento.

Os principais fluxos de rejeitos radioativos recebidos por esses Sistemas serão:

- a) Sólido compactável - Objetos, peças e materiais compostos principalmente de BORRACHA, COURO, PAPEL, PAPELÃO, PLÁSTICO, TECIDO e VIDRO. São exemplos de rejeito compactável: luvas, vidraria em geral, papel em geral, poliestireno expandido, mangueiras plásticas, seringas, material de higiene e proteção como algodão e estopa, sapatinhas, aventais e macacões.
- b) Sólido não compactável - Objetos, peças e materiais compostos de METAL, MADEIRA, PVC, PMMA, ENTULHO, CARVÃO ATIVO SECO. São exemplos de rejeito não compactável: ferramentas, chapas e tubos metálicos e de PVC, canos, filtros de ar com estrutura metálica ou de madeira, entulho e terra.
- c) Sólido úmido - RESINAS DE TROCA IÔNICA, CARVÃO ATIVO ÚMIDO, LAMAS E PRECIPITADOS QUÍMICOS, TORTAS. São exemplos de rejeito sólido úmido: filtros do sistema de tratamento de água de reatores e concentrados de evaporador.
- d) Líquido inorgânico – SOLUÇÕES AQUOSAS resultantes de processos de produção e de descontaminação. São exemplos de rejeito líquido inorgânico: soluções aquosas do processo de produção de Mo-99 por fissão.
- e) Líquido inorgânico – SOLUÇÕES NÃO AQUOSAS resultantes de processos de produção e de descontaminação. São exemplos de líquido orgânico: óleos lubrificantes de bombas e equipamentos.
- f) Amostra irradiada – AMOSTRAS IRRADIADAS resultantes de processos de produção e de pesquisa e desenvolvimento. São exemplo de amostra irradiada

material oriundo de experimentos no reator multipropósito e no Laboratório de Pós-irradiados.

g) Gás – GASES resultantes de processos de produção e operação, cujo período de decaimento seja longo para que seja estocado na própria instalação onde foi gerado.

As instalações do STAR serão classificadas como Instalação Radiativa e seu projeto será elaborado de forma a atender aos requisitos dos regulamentos vigentes, em particular as normas CNEN-NN-3.01 – Diretrizes básicas de radioproteção, CNEN-NE-6.02 – Licenciamento de instalações radiativas e CNEN-NE-6.05 – Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas. Outras normas e recomendações aplicáveis também serão utilizadas no projeto quando pertinentes. O projeto deverá também estar de acordo com as políticas e planos de proteção radiológica do Empreendimento.

O projeto das blindagens, das contenções e dispositivos de isolamento associados com as instalações do STAR terá flexibilidade razoável para acomodar as variações nas características dos rejeitos radioativos rotineiros assim como daqueles resultantes de incidentes no Empreendimento que não estejam de acordo com os padrões estabelecidos em projeto.

O projeto e operação do STAR serão feitos de forma a que os efluentes líquidos e os resíduos sólidos gerados na planta atendam às políticas do Empreendimento relativas à água de reuso e a reciclagem de materiais, respectivamente.

Os rejeitos radioativos tratados no STAR deverão estar em sua forma final para transporte e deposição em um repositório designado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, atendendo aos critérios de aceitação e aos requisitos de qualidade e segurança dos regulamentos CNEN-NN-3.01, CNEN-NE-6.05, CNEN-NN-5.01 – Transporte de materiais radioativos e CNEN-NE-6.09 – Critérios de aceitação para deposição de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação.

Todas as instalações do STAR estão localizadas em áreas contíguas e integradas entre si de modo a facilitar o manuseio dos rejeitos e minimizar a probabilidade de contaminações radioativas. Devem também possuir piso e paredes com cantos arredondados, revestidos de material impermeável, para facilitar a descontaminação em casos de possíveis contaminações radioativas. Devem também dispor de sistema de segurança com monitoramento contínuo por câmeras de vídeo e alarmes de intrusão.

Todas as utilidades das instalações (água, esgoto, elétrica, ar comprimido etc.) do STAR deverão ser aparentes, de modo a facilitar inspeção e manutenção.

Todas as unidades das instalações do STAR deverão contar com um sistema de exaustão que mantenha a depressão em seu interior e todo o volume coletado deverá ser direcionado para unidade de coleta e filtração de efluentes gasosos.

Todos os efluentes líquidos das instalações do STAR deverá ser direcionado para a bacia de contenção de efluentes líquidos.

Alguns critérios aplicáveis ao STAR são:

- Classificação quanto à Segurança Nuclear

De acordo com a Norma CNEN 6.02 - Licenciamento de instalações radiativas, os Prédios do STAR classificam-se como Instalação Radiativa Grupo VI, devendo ser licenciada como tal.

- Classificação Sísmica

Por ser uma instalação onde se manuseia material radioativo, os Prédios do STAR são considerados como prédio sísmico, devendo ser projetados e construídos conforme norma ABNT NBR 15421 - Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos - Procedimento (2006).

- Critérios operacionais

De acordo com a norma CNEN NE 6.02 - Licenciamento de instalações radioativas, a operação do STAR do Empreendimento RMB só poderá ser iniciada após a devida concessão da Autorização para Operação pela Autoridade Licenciadora, conforme Item 9 (autorização para operação) da mencionada norma, e que deverá ser solicitada após completo atendimento aos requisitos estabelecidos no item 9.2 – Requisitos básicos para operação.

Todas as pias, ralos, chuveiros e outros dispositivos geradores de líquidos passíveis de contaminação, localizados ou não nas áreas controladas e supervisionadas devem estar conectados ao sistema de coleta de rejeitos líquidos radioativos.

Devem ser postas em práticas ações para manter a exposição à radiação nas áreas controladas “tão baixa quanto razoavelmente exequível” (*As Low As Reasonable Achievable* - ALARA) através de características físicas e controles administrativos.

Devem ser utilizados métodos de otimização para garantir que a exposição ocupacional é mantida ALARA no desenvolvimento e justificativa do projeto da instalação e controles físicos.

Tendo em vista a presença de material radioativo nos Prédios do STAR, o sistema de ventilação deve ser projetado de forma a garantir um fluxo de ar no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação, sendo a exaustão final feita sempre a partir de áreas com maior potencial de contaminação. Podem ser utilizadas saídas de exaustão diretamente de áreas com menor potencial de contaminação, com o objetivo de minimizar o dimensionamento dos sistemas de filtragem, devendo ser analisado, caso a caso, a vantagem de sua adoção.

- Radioatividade: monitoração e blindagem

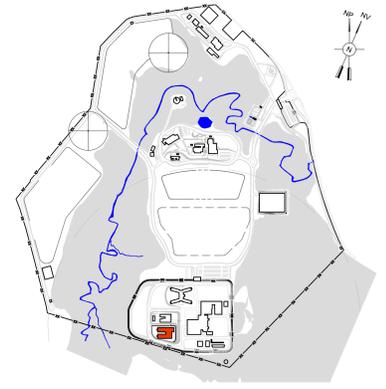
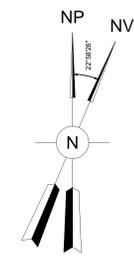
De acordo com a norma CNEN NN 3.01 – Princípios básicos de radioproteção, item 5.9 – o prédio deve possuir dispositivos para monitoração individual, monitoração de área e avaliação da exposição ocupacional nas diversas áreas do Prédio.

As blindagens de radiação devem ser projetadas e construídas de modo que durante a operação normal da instalação todas as doses apresentadas para os grupos de atendam a filosofia ALARA, não ultrapassando nunca os valores estabelecidos em norma.

- Condições Ambientais

O Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos deve ser dotado de um sistema de ar condicionado para manter a temperatura ambiente entre 20°C e 24°C, e a umidade relativa do ar na faixa de 50% +/- 5%. Ambientes mais específicos, como por exemplo, os laboratórios de espectrometria, poderão ter outros valores, a serem especificados oportunamente.

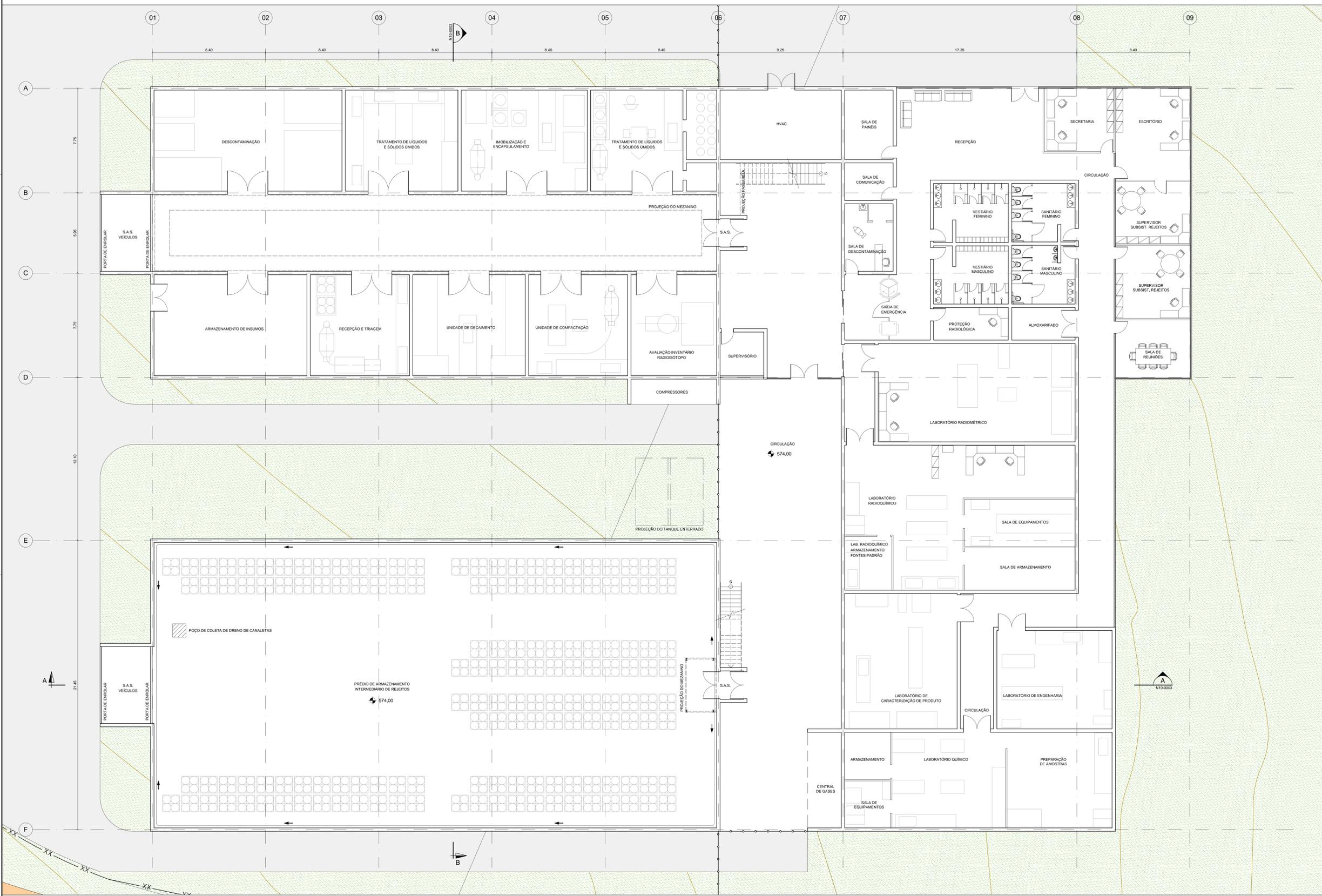
A Figura 42 apresenta uma planta baixa do STAR com a codificação de seus subsistemas e respectivas unidades.



PLANTA CHAVE

LEGENDA:

- VEGETAÇÃO RASTERIA
- PAVIMENTO
- CERCA INTERNA
- CERCA EXTERNA



PLANTA  
ESC. 1: 100

| Rev. | Descrição                                | Estab. | Verif. | Aprov. | Data     |
|------|--|--------|--------|--------|----------|
| 0    | APROVADO CONFORME DOCUMENTO RMB-114/2012 | DBS    | AHF    | EVO    | 15/01/13 |

| REVISÃO     |     |                     |                                   |      |               |
|-------------|-----|---------------------|-----------------------------------|------|---------------|
| Elaboração  | DBS | Aprovação           | Justina Pires dos Santos Canellas | CREA | SP-40081/0541 |
| Verificação | AHF | Responsável Técnico | Lourenço N. J. Balsa              | CREA | RL38.094D     |
| Aprovação   | EVO |                     |                                   |      |               |

**Inter**techne CONSULTORES S.A.

ARQUITETURA – PROJETO  
PRÉDIO DE TRATAMENTO E ESTOCAGEM DE REJEITOS  
PLANTA

|                 |                                  |       |        |
|-----------------|----------------------------------|-------|--------|
| Código Contrato | 1201-RM-3-AN-N10-00-C-70-DE-0002 | Rev.  | 0      |
| Escala          | 1:100                            | Folha | 1 de 1 |

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
REATOR MULTIPROPOSITO BRASILEIRO

RMB-N10-IT-PC-18110-CP-002

O ingresso de pessoas ao STAR se dará pelo subsistema 16540, onde os trabalhadores e visitantes terão que utilizar-se dos vestiários para adequação de suas vestimentas e equipamentos de proteção e passagem por controle de acesso gerenciado pelo Serviço de Radioproteção do local. A entrada de insumos e de rejeitos radioativos das diversas classes será feita em local específico a ser determinado pelo Serviço de Radioproteção no Plano de Proteção Radiológica da Instalação.

Todas as paredes divisórias de todos os subsistemas serão móveis, de modo a permitir sua movimentação, retirada e remontagem.

Uma breve descrição de cada subsistema e unidades é apresentada a seguir, incluindo as instalações para controle de efluentes.

#### 4.4.3.1.7.1 Subsistema de Tratamento de Rejeitos

O subsistema de tratamento de rejeitos ocupará uma edificação de aproximadamente 800 m<sup>2</sup> (20 m x 40 m), com pé direito de 5 m, onde estarão localizadas as unidades de armazenamento de rejeitos líquidos e tratamento de rejeitos, estanques entre si. O fluxo de rejeitos no interior da edificação se dará em sentido único, ou seja, os rejeitos entrarão por uma extremidade e sairão tratados pela outra extremidade. As unidades que compõem esse subsistema são apresentadas a seguir.

##### *Unidade de Recepção e Triagem*

A unidade de recepção e triagem ocupará uma área de 60 m<sup>2</sup> (7,5 m x 8 m). Nesta unidade será feita a recepção e identificação das embalagens de rejeitos recebidas. A unidade contará com capela de exaustão e caixa com luvas para retirada de amostras das embalagens de rejeitos, balança, bancadas e cubas de lavagem.

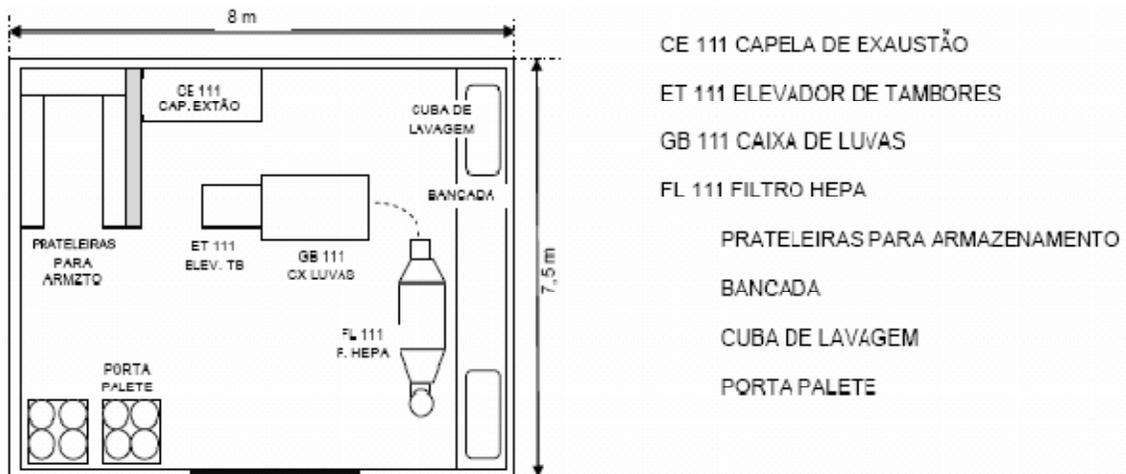


Figura 43 – Croqui da Unidade de Recepção e Triagem.

### Unidade de Descontaminação

A unidade de descontaminação ocupará uma área de 105 m<sup>2</sup> (7,5 m x 14 m). Nesta unidade será realizada a descontaminação de peças e equipamentos que tenham sido descartados como rejeito radioativo sólido não compactável, mas que sejam passíveis de descontaminação.

A unidade será dotada de cabines onde serão conduzidos os processos de descontaminação, que incluem: banhos químicos e reator de sais fundidos para decapagem de metais; jato de água de alta pressão; jato de areia; banho de ultrassom; e instrumentação para corte de peças. Será dotada também de bancadas e cubas de lavagem.

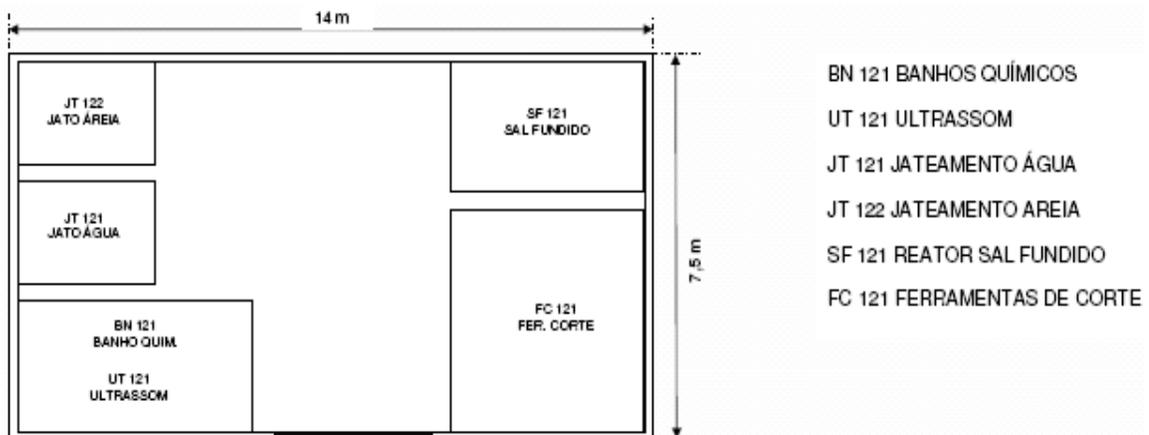


Figura 44 – Croqui da Unidade de Descontaminação.

### Unidade de Decaimento

A unidade de decaimento ocupará uma área de 75 m<sup>2</sup> (7,5 m x 10 m). Nesta unidade serão armazenados os gases nobres e as amostras irradiadas ou alguma outra classe de rejeitos cujas características exijam armazenamento para decaimento. A unidade contará com prateleiras em alvenaria para armazenamento das embalagens de amostras irradiadas e de gases nobres ou de outras classes, bancadas e cubas de lavagem.

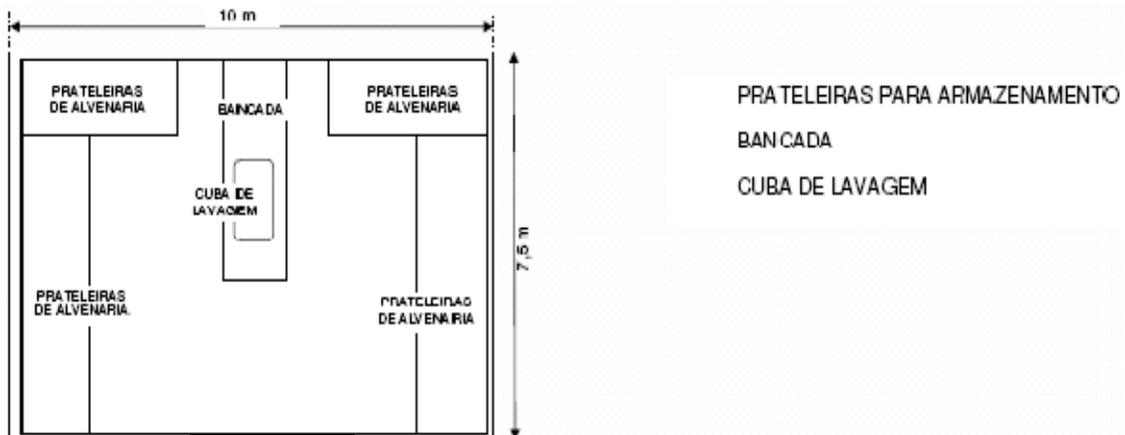


Figura 45 – Croqui da Unidade de Decaimento.

### Unidade de Armazenamento de Rejeitos Líquidos e Sólidos Úmidos

A unidade de armazenamento de rejeitos líquidos e sólidos úmidos ocupará uma área de 75 m<sup>2</sup> (7,5 m x 10 m). A unidade será dotada de baias de contenção para armazenamento de embalagens contendo rejeitos líquidos, com volume de até 50 litros; baias de contenção para armazenamento de embalagens contendo rejeitos sólidos úmidos, com volume até 200 litros; parque de tanques blindados (3 tanques de 2 m<sup>3</sup> cada) para armazenamento de rejeitos líquidos com volume superior a 50 litros; sistema de transporte de vasos blindados; sistema de transferência de líquidos e sólidos úmidos, sistema de exaustão móvel para retirada de amostras, bancadas e cubas de lavagem.

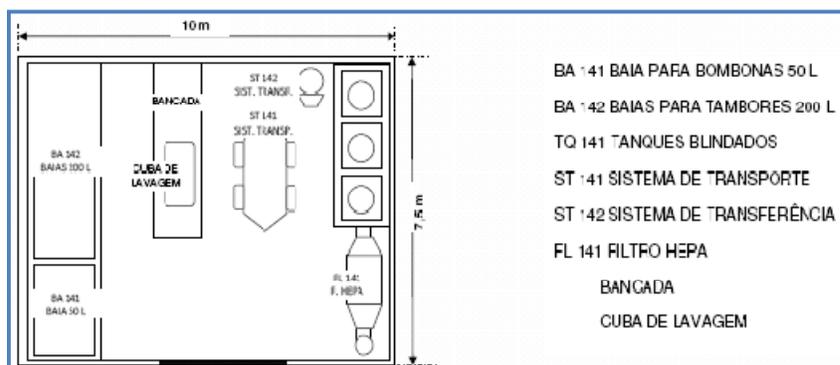


Figura 46 – Croqui da Unidade de Armazenamento de Rejeitos Líquidos e Sólidos Úmidos.

### Unidade de Imobilização e Encapsulamento

A unidade de imobilização e encapsulamento ocupará uma área de 75 m<sup>2</sup> (7,5 m x 10 m). Nesta unidade serão conduzidos os processos de imobilização de rejeitos líquidos e sólidos úmidos e o processo de encapsulamento de rejeitos sólidos não compactáveis e amostras irradiadas. A unidade contará com um alimentador/dosador de cimento contínuo, sistema de transferência de rejeitos líquidos, sistema de transferência de rejeitos sólidos úmidos, dosadores de rejeitos e de água, misturadores, mesa vibratória, betoneira, capela de exaustão para retirada de amostras, bancadas e cubas de lavagem.



Figura 47 – Croqui da Unidade de Imobilização e Encapsulamento.

### Unidade de Tratamento de Rejeitos Líquidos e Sólidos Úmidos

A unidade de tratamento de rejeitos líquidos e sólidos úmidos ocupará uma área de 75 m<sup>2</sup> (7,5 m x 10 m). Nesta unidade serão conduzidos, quando necessário, os processos de condicionamento químico e tratamento desses rejeitos, que incluem: diluição; neutralização; precipitação química; e troca-iônica. A unidade contará com capelas de exaustão para condução dos processos de tratamento, bancadas e cubas de lavagem para montagem dos equipamentos dos processos de tratamento, como reatores químicos, evaporador de pequeno porte e colunas de troca-iônica.



Figura 48 – Croqui da Unidade de Tratamento de Rejeitos Líquidos e Sólidos Úmidos.

### Unidade de Compactação

A unidade de compactação ocupará uma área de 75 m<sup>2</sup> (7,5 m x 10 m). Nesta unidade serão tratados os rejeitos sólidos compactáveis, por meio do processo de compactação. A unidade será dotada de um “labirinto” blindado contendo prateleiras em alvenaria para armazenamento das embalagens de rejeito sólido compactável, uma prensa hidráulica, bancadas e cubas de lavagem.

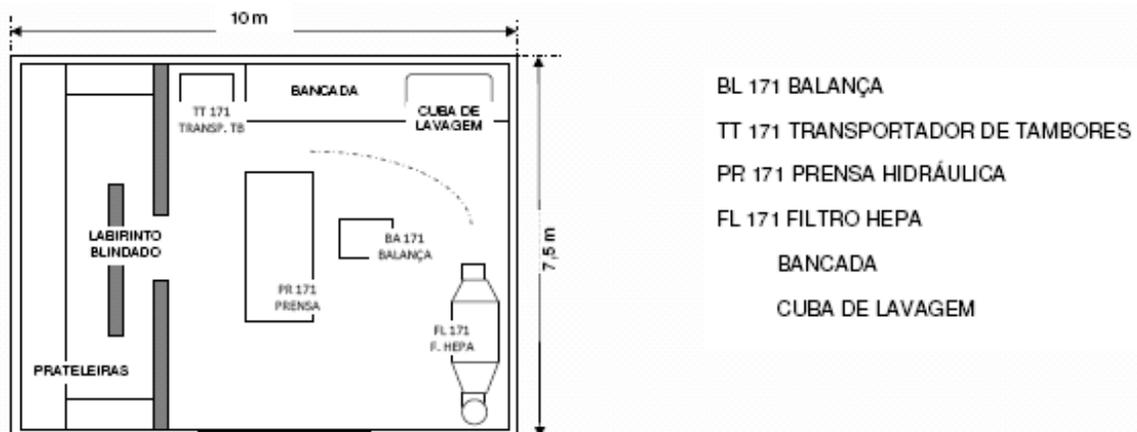


Figura 49 – Croqui da Unidade de Compactação.

### Unidade de Avaliação de Inventário Radioisotópico

A unidade de avaliação de inventário radioisotópico ocupará uma área de 60 m<sup>2</sup> (7,5 m x 8 m). Nesta unidade todas as classes de rejeitos já tratados terão seu conteúdo radioisotópico

determinado por um sistema de espectrometria gama. A unidade será dotada de um elevador/girador de tambor e um sistema de espectrometria gama com eletrônica associada. A unidade contará com trilhos para direcionar o tambor até o elevador girador.

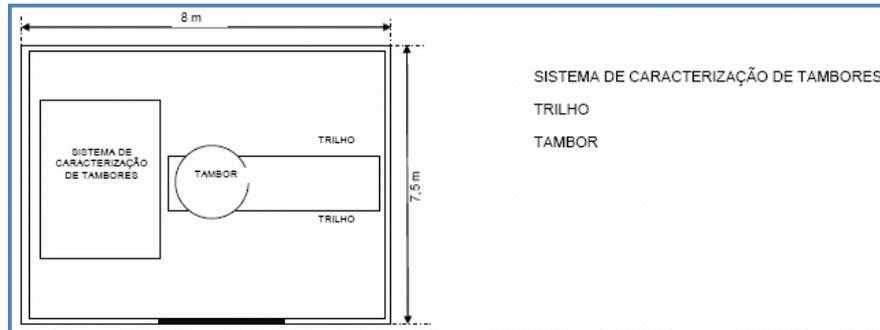


Figura 50 – Croqui da Unidade de Avaliação de Inventário Radioisotópico.

#### 4.4.3.1.7.2 Subsistema de Caracterização de Rejeitos

O subsistema de caracterização de rejeitos visa: caracterizar todos os rejeitos radioativos produzidos nas instalações pertencentes ao complexo do RMB; estabelecer protocolos para imobilização dos rejeitos líquidos e sólidos úmidos e para encapsulamento de não compactáveis e amostras irradiadas; realizar controle de qualidade em todos os embalados, por meio da caracterização dos produtos.

Além disso, visa realizar pesquisa tecnológica para desenvolvimento de novas metodologias e processos para caracterização e tratamento dos rejeitos radioativos produzidos nas instalações pertencentes ao complexo do RMB. Este sistema ocupará uma edificação de aproximadamente 600 m<sup>2</sup> com pé direito de 4 m, onde estarão localizados os diversos laboratórios apresentados a seguir:

##### *Laboratório Químico*

O laboratório químico ocupará uma área de aproximadamente 135 m<sup>2</sup>. Nesse laboratório serão executadas as tarefas de preparo de soluções a serem utilizadas nos ensaios de caracterização. O laboratório contará com capelas de exaustão para vapores ácidos, bancadas e pias de lavagem, bem como todos os equipamentos comuns em laboratórios químicos (balança analítica, pHmetro, condutímetro etc.).

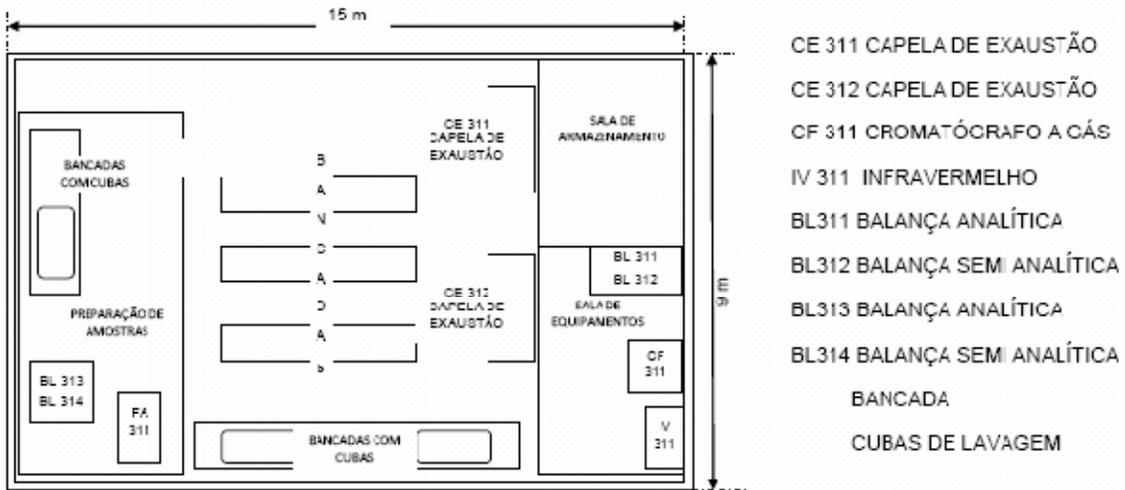


Figura 51 – Croqui do Laboratório Químico.

### Laboratório Radioquímico

O laboratório radioquímico ocupará uma área de aproximadamente 135 m<sup>2</sup>. Nesse laboratório serão executadas as análises para determinação de propriedades químicas dos fluxos de rejeitos radioativos e o preparo de amostras para análises radiométricas. O laboratório contará com capelas de exaustão para vapores ácidos, bancadas e pias de lavagem, célula de eletrodeposição, ICP-MS, bem como todos os equipamentos comuns em laboratórios químicos (balança analítica, pHmetro, condutivímetro etc.).

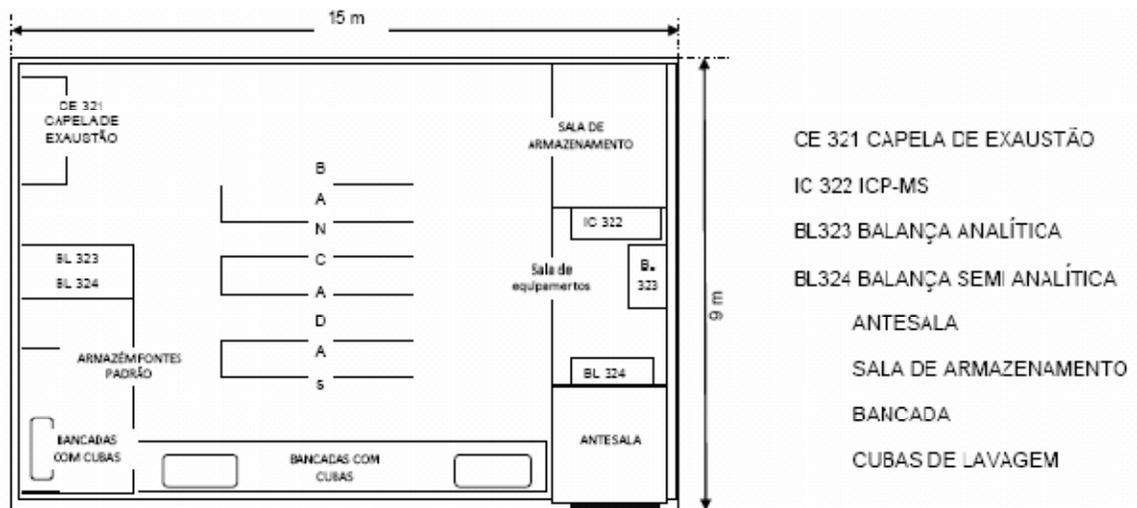


Figura 52 – Croqui do Laboratório Radioquímico.

### Laboratório Radiométrico

O laboratório radiométrico ocupará uma área de 90 m<sup>2</sup>. Nesse laboratório serão executadas as análises radiométricas para determinação do inventário radioisotópico dos fluxos de rejeitos radioativos produzidos nas instalações pertencentes ao complexo do RMB. O laboratório contará com sistemas de espectrometria gama, espectrometria alfa e cintilação

para análise de emissores beta, blindagem para armazenamento de fontes padrão e bancadas.

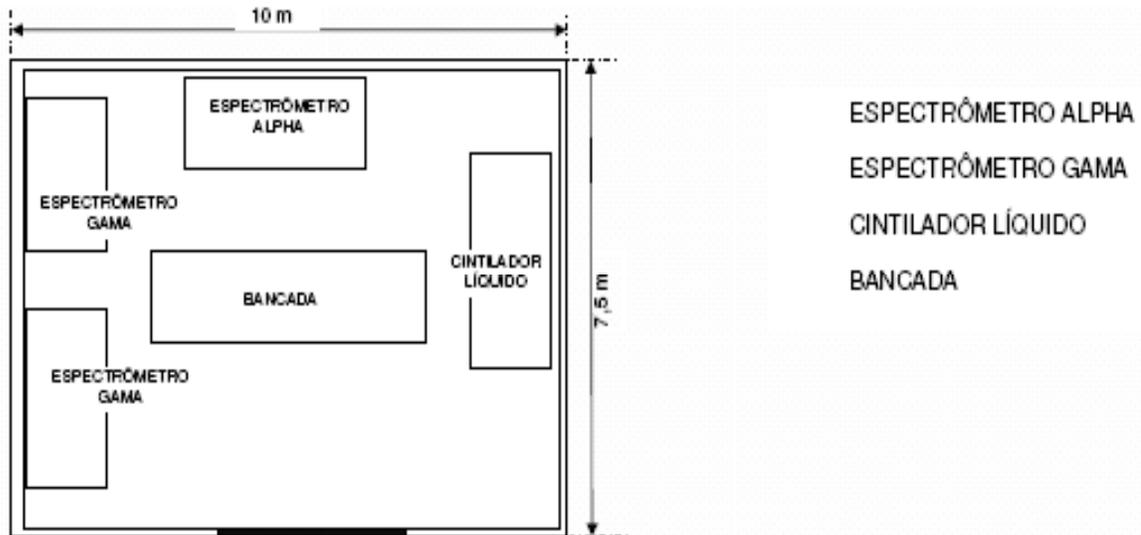


Figura 53 – Croqui do Laboratório Radiométrico.

#### *Laboratório de Caracterização de Produto*

O laboratório de caracterização de produto ocupará uma área de 100 m<sup>2</sup>. Nesse laboratório serão executados os ensaios para determinação das propriedades do produto (rejeito imobilizado) visando o atendimento aos critérios normativos de aceitação. O laboratório contará com capelas de exaustão para vapores ácidos, bancadas e pias de lavagem, prensa hidráulica para ensaios de compressão axial, equipamentos para ensaios de amostras de argamassa (argamassadeira, peneiras vibratórias, Vicat etc.), bem como todos os equipamentos comuns em laboratórios químicos (balança analítica, pHmetro, condutivímetro etc.).

#### *Laboratório Engenharia*

O laboratório de engenharia ocupará uma área de 80 m<sup>2</sup>. Nesse laboratório serão construídos protótipos de equipamentos utilizados nos processos de tratamento e serão executados serviços de reparo e manutenção de equipamentos. O laboratório contará com diversas ferramentas e equipamentos comuns em oficinas mecânicas (furadeira, lixadeira, multímetro, torno etc.), bancadas e pia de lavagem.

#### 4.4.3.1.7.3 Subsistema de Armazenamento Intermediário de Rejeitos

O subsistema de armazenamento intermediário de rejeitos visa armazenar de maneira segura os rejeitos radioativos produzidos nas instalações pertencentes ao complexo do RMB, após seu tratamento no subsistema de tratamento de rejeitos. Este sistema ocupará uma edificação de 800 m<sup>2</sup> (20 m x 40 m), com pé direito de 7 m. Considerando uma rotina operacional de geração de 50 embalados de rejeitos (tambores metálicos de 200 litros) por

ano, o sistema terá capacidade para 20 anos de operação, tendo possibilidade de expansão futura. Poderão ser utilizadas, em casos especiais, caixas metálicas de 1 metro cúbico de capacidade.

Os tambores de 200 litros contendo rejeitos radioativos tratados serão posicionados em grupos de 4, sobre paletes de material plástico. Os paletes serão distribuídos, lado a lado, em fileiras duplas, sobrepostos em cinco camadas, com corredores de 1,2 m entre as fileiras, de modo a facilitar as inspeções de rotina. A unidade contará com transportadores de carga (empilhadeira e carrinho hidráulico).

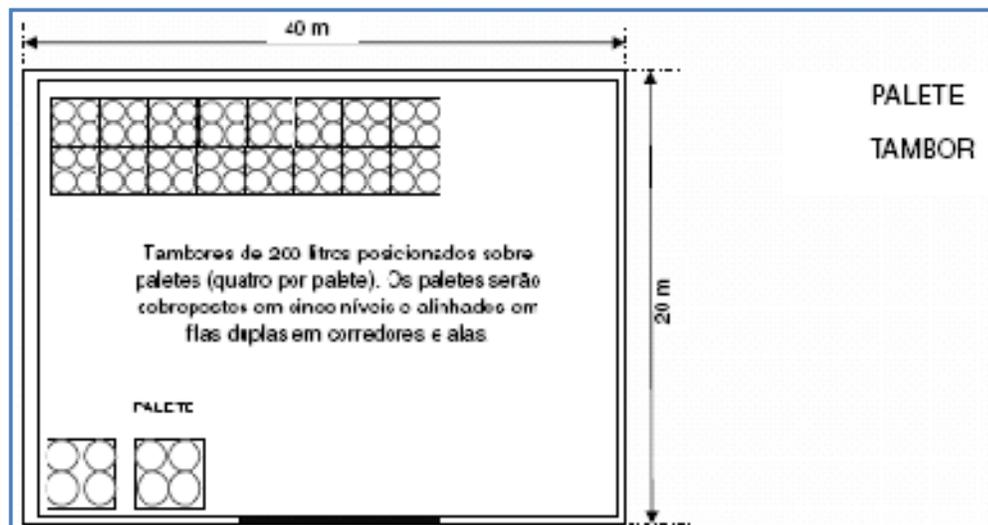


Figura 54 – Croqui do Subsistema de Armazenamento Intermediário de Rejeitos.

#### 4.4.3.1.8 Insumos e Produtos

A produção do Mo-99 é feita através da irradiação de alvos de urânio no reator e posterior processamento do alvo no laboratório com células quentes para extração e purificação do Mo-99.

Para a produção desejada de 1000 Ci de Mo-99 por semana, haverá a necessidade de irradiar em torno de 16 a 24 alvos por semana, dependendo da posição no núcleo e o tempo de irradiação. Haverá então a necessidade da ordem de 90 alvos por mês e em torno de 1000 alvos por ano para produzir as quantidades de Mo-99 desejadas. A exemplo da produção do elemento combustível, os alvos de urânio serão produzidos pelo IPEN em São Paulo, e transportados, a princípio, mensalmente ao RMB.

A produção de outros radioisótopos requer quantidades bem pequenas de materiais de base para serem ativados dentro do reator. Cada radioisótopo em si requer um elemento químico, em forma química determinada, sendo de pequena monta as quantidades utilizadas.

Grande parte do uso do reator com base científica requer muito pouco de materiais de insumo, não sendo relevante sua indicação. Há destaque para utilização de gases tanto no reator como nos laboratórios associados, tais como nitrogênio em alguns dos processos (e

nitrogênio líquido também), e gases especiais como hélio, argônio, e outros, que são fornecidos em cilindros apropriados.

Os laboratórios utilizarão insumos químicos em ações rotineiras ou de pesquisa. O laboratório de processamento de Mo-99 é o que utiliza maior quantidade de insumo químico. Os outros laboratórios utilizam pequenas quantidades de materiais, normalmente para caracterizações e de modo não contínuo.

A infraestrutura de base tais como a energia elétrica, utilização de água, e tratamento de efluentes requerem insumos adicionais.

Na parte elétrica, existem vários geradores elétricos a diesel que entram em operação caso haja falha no fornecimento principal da subestação elétrica ou das cabines elétricas distribuídas no empreendimento. O uso dos geradores não é contínuo, e o insumo é óleo diesel que estará armazenado em tanques na melhor forma de engenharia que leva em conta a segurança e o controle do meio ambiente.

A água de consumo humano é bombeada do subsolo no aquífero Tubarão, e tratada em uma ETA (estação de tratamento de água). A forma de engenharia de utilização de água do empreendimento RMB usa água de reuso em vários tipos de consumos, o que permite usar o aquífero apenas como reposição do sistema, minimizando seu consumo e necessidade de tratamento e produtos químicos. Os efluentes sanitários são tratados numa ETE (estação de tratamento de esgoto) permitindo o reuso da água.

A maior quantidade de água utilizada no empreendimento é a água de reposição das torres de refrigeração do reator. Esta torre dissipa o calor gerado pelo reator (30 MW) e mais o calor necessário a sistemas suporte dos prédios do núcleo de produção e pesquisa como, por exemplo, o sistema de ar condicionado e ventilação. A água é aduzida do rio Sorocaba, e tratada numa ETA. A torre de refrigeração evapora parte da água de resfriamento (80% da vazão) e o restante (20% da vazão) é uma água de purga que vai ser tratada numa ETI (estação de tratamento de efluente industrial). Parte da água tratada na ETI será utilizada como água de reuso do empreendimento, e o excedente retornará ao rio Sorocaba. Tanto a ETA como a ETI utilizam insumos químicos e biológicos no seu processo de tratamento das águas, e estes são insumos significativos para o Empreendimento.

Os vários processos dos laboratórios, oficinas, escritórios, manutenção predial, manutenção de paisagismo e florestal, operação de restaurante, transporte, etc., exigem insumos normais de qualquer empreendimento caracterizado como um centro de pesquisa.

#### 4.4.3.1.9 Externalidades

##### 4.4.3.1.9.1 Conceitos Gerais

As externalidades são definidas como sendo os efeitos decorrentes daquelas atividades que envolvem a imposição involuntária de custos ou de benefícios, isto é, que têm efeitos positivos ou negativos sobre terceiros sem que estes tenham oportunidade de impedi-lo e

sem que tenham a obrigação de pagá-los ou o direito de ser indenizados (PEARCE & TURNER, 1990).

Quando os efeitos provocados pelas atividades são positivos, estas são designadas por externalidades positivas. Quando os efeitos são negativos, designam-se por externalidades negativas. Um exemplo de externalidade positiva é a investigação e desenvolvimento científico tecnológico, pois os seus efeitos sobre a sociedade são geralmente muito positivos, sem que essa tenha que pagar pelo seu benefício. Outro exemplo de externalidades positivas são os bens públicos, tais como a saúde pública, as infraestruturas viárias, a educação, entre outras. Exemplos de externalidades negativas são: a poluição ambiental provocada pelas atividades econômicas, a produção de bens não seguros, etc.

Alguns danos associados a um empreendimento da área nuclear são internalizados, isto é, a atividade já paga por esses danos e os inclui nos custos dos produtos e serviços gerados. Quando os danos ou benefícios são internalizados eles não são mais considerados externalidades.

Existem vários danos e benefícios que podem ser associados às atividades, processos e liberações de empreendimentos da área nuclear. A análise dos impactos associados à construção e operação de um empreendimento da área nuclear como o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) pode indicar, qualitativamente, se esses impactos irão resultar em externalidade ou se os mesmos serão internalizados pela atividade. A sua quantificação, no entanto, é de relativa complexidade, pois envolve vários fatores técnicos e hipóteses que às vezes não são de fácil definição.

Estudos realizados para determinação da estimativa das externalidades associadas ao ciclo do combustível nuclear, incluindo a operação normal de um reator nuclear de potência do tipo PWR com uma capacidade nominal de 1300 MW, demonstraram que elas são irrisórias quando comparadas a de outros empreendimentos (ORNL, 1994). Esses estudos estimam um índice de fatalidades por ano por reator em decorrência da exposição ocupacional e a valoração do dano associado. As fatalidades não radiológicas também são avaliadas. As estatísticas de segurança para reatores nucleares são na realidade bem inferiores às de uma indústria convencional. A ocorrência de acidentes severos é o que mais contribui para o impacto à saúde humana. O risco, o custo estimado, o custo associado à adoção de medidas mitigadoras e realocação de pessoas no caso do acidente e o custo decorrente da morte e morbidade do público foram analisados neste trabalho para o ciclo do combustível nuclear e reator de potência (ORNL, 1994).

Vale ressaltar que no caso do RMB, onde a característica de inventário de produtos radioativos (potência de 30 MW) e as características de segurança intrínseca do projeto do reator de pesquisa quando comparado a um reator de potência (PWR- 1300 MW elétricos, correspondendo a 3900 MW térmicos, como Angra II) levam a índices de externalidades negativas muito menores. É de destaque que cálculo de estimativa da dose nos indivíduos do público devido à ocorrência de um cenário de acidente, como apresentado no Relatório de Análise de Local, demonstrou que a dose para indivíduos do público está muito abaixo dos limites estabelecidos pelas normas de proteção radiológica (CNEN, 2011).

#### 4.4.3.1.9.2 Análise dos Impactos

A seguir, é feita uma análise da matriz de impactos do RMB de forma a se indicar, qualitativamente, quais podem provocar uma externalidade e deste quais serão internalizados.

#### *Análise dos impactos na fase de construção do RMB*

- Impactos Meio Físico

| Impacto  | Comentário  | Externalidade? | Observações                   |
|--|---|----------------|-------------------------------|
| Aumento dos níveis de ruído                      | Esse impacto é de âmbito local e, portanto, se limita aos trabalhadores do empreendimento, que já recebem salários compatíveis com suas atividades. | Não            | -                             |
| Alteração da qualidade do ar                     | Esse impacto é de âmbito local e, portanto se limita aos trabalhadores do empreendimento, que recebem salário compatível com suas atividades        | Não            | -                             |
| Aumento da vulnerabilidade à erosão              | Esse impacto é de âmbito local, temporário e reversível   | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Geração de resíduos sólidos                      | Esse impacto é de âmbito local, temporário e irreversível   | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Alteração da qualidade das águas superficiais    | Esse impacto é de âmbito local, temporário e reversível   | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Assoreamento do ribeirão do Ferro e rio Sorocaba | Esse impacto é considerado temporário e de âmbito local   | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Contaminação do solo                             | Esse impacto é considerado permanente, reversível e de âmbito local   | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Alteração das propriedades físicas do solo       | Esse impacto é de âmbito local, permanente e reversível   | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Alteração da dinâmica hídrica superficial        | Esse impacto é considerado permanente e de âmbito local   | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Alteração da dinâmica hídrica subterrânea        | Esse impacto é considerado permanente e de âmbito local   | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Alteração da qualidade das águas subterrâneas    | Esse impacto é considerado permanente e de âmbito local   | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

- Impactos Meio Biótico

| Impacto                              | Comentário  | Externalidade? | Observações                   |
|--------------------------------------|---|----------------|-------------------------------|
| Perda de cobertura vegetal           | Esse impacto é de âmbito local e permanente             | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Perturbação e afugentamento da fauna | Esse impacto é de âmbito local, temporário e reversível | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Atropelamento da fauna               | Esse impacto é de âmbito local e permanente             | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Aumento da pressão de caça e captura | Esse impacto é de âmbito local e temporário             | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

| Impacto                                   | Comentário  | Externalidade? | Observações                   |
|---|---|----------------|-------------------------------|
| Interferência sobre a comunidade pelágica | Esse impacto é de âmbito local, temporário e reversível | Não            | Previstas medidas mitigadoras |
| Pressões em áreas de valor ecológico      | Esse impacto é de âmbito local e permanente             | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

- Impactos Meio Socioeconômico

| Impacto   | Comentário                                       | Externalidade? | Observações                   |
|---|--|----------------|-------------------------------|
| Dúvidas e ansiedade da população em relação ao empreendimento | Esse impacto é considerado temporário, regional  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Pressão sobre a infraestrutura de serviços locais             | esse impacto é considerado temporário, local     | Sim            |                               |
| Alteração do cotidiano da população                           | Esse impacto é considerado temporário, regional  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Aumento na oferta de empregos                                 | Esse impacto é considerado temporário, regional  | Sim            |                               |
| Alteração do patrimônio arqueológico e histórico              | Esse impacto é considerado permanente e local    | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Atração demográfica   | Esse impacto é considerado temporário e regional | Sim            |                               |
| Dinamização do setor de serviços regional                     | Esse impacto é considerado temporário e regional | Sim            |                               |
| Aumento do tráfego na estrada municipal Bacaetava - Sorocaba  | Esse impacto é considerado temporário, regional  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

### Análise dos Impactos na Fase de Operação do RMB

- Impactos Meio Físico

| Impacto  | Comentário  | Externalidade? | Observações                   |
|--|---|----------------|-------------------------------|
| Alteração da qualidade da água do rio Sorocaba e ribeirão do Ferro | Esse impacto é considerado temporário e de âmbito local | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Geração de resíduos sólidos  | Esse impacto é considerado permanente e de âmbito local | Não            | Previstas medidas mitigadoras |

- Impactos Meio Biótico

| Impacto  | Comentário                                    | Externalidade? | Observações                   |
|--|---|----------------|-------------------------------|
| Manutenção da conectividade entre fragmentos florestais da ADA e a FLONA | Esse impacto é considerado permanente e local | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

- Impacto Meio Socioeconômico

| Impacto                       | Comentário                            | Externalidade? | Observações                   |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Desmobilização de mão de obra | Esse impacto é considerado permanente | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

| Impacto  | Comentário   | Externalidade? | Observações                          |
|--|--|----------------|--------------------------------------|
| Aumento na receita tributária do município de Iperó  | Esse impacto é considerado permanente e regional     | Sim            |                                      |
| Restrição do uso do solo                             | Esse impacto é considerado permanente e local        | Sim            | Previstas medidas mitigadoras        |
| Desvalorização imobiliária                           | Esse impacto é considerado permanente e local        | Sim            | Previstas medidas mitigadoras        |
| Motivação e incentivo para a medicina nuclear        | Esse impacto é considerado permanente e estratégico. | Sim            | Um dos motivadores do Empreendimento |
| Desenvolvimento de tecnologia nacional               | Esse impacto é considerado permanente e estratégico  | Sim            | Um dos motivadores do Empreendimento |
| Sensação de insegurança de um empreendimento nuclear | Esse impacto é considerado permanente e estratégico  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras        |

- Impactos Radiológicos

| Impacto  | Comentário  | Externalidade? | Observações                   |
|--|---|----------------|-------------------------------|
| Emissão de radionuclídeos para a atmosfera em condições normais de operação e de acidentes | Os estudos mostraram que as doses nos indivíduos do público, decorrentes da emissão de radionuclídeos na atmosfera, tanto em condições normais de operação e como de acidente, estão muito abaixo do limite de restrição de dose estipulado pelas normas de proteção radiológica. | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Geração de efluentes líquidos radioativos  | Não serão liberados efluentes líquidos radioativos para o meio ambiente.  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |
| Geração de rejeitos sólidos radioativos  | Todos os rejeitos sólidos radioativos são tratados e estocados para deposição final em repositório nacional quando houver.  | Sim            | Previstas medidas mitigadoras |

#### 4.4.3.1.10 Cronograma de Implantação/Operação

As etapas gerais do Empreendimento são apresentadas abaixo.

##### a) Prospeção do Local

Etapa a ser executada pela equipe técnica responsável da CNEN. A equipe de administração executa os processos de compra e de contratação de serviços.

Resultados esperados: (i) Terreno do CTMSP/MB transferido para a CNEN por meio de Termo de Cessão de Uso; (ii) Terreno complementar transferido para a CNEN pelo Governo do Estado de São Paulo por meio de Termo de Cessão de Uso; (iii) Levantamento topográfico do sítio, sondagens no terreno e teste de solo realizados; Equipamentos e processos da estação meteorológica em operação; (iv) Terreno cedido demarcado e com cerca de proteção;(v)Terreno limpo e arruamento provisório aberto. Guarita e instalações provisórias para trabalhos locais construídos; (vi). Serviços de vigilância do local contratados

### **b) Projeto de Concepção**

Etapa parcialmente executado pelas equipes técnicas da CNEN. A administração executa os processos de compra e de contratação de serviços quando pertinentes. No caso de haver uma Fundação de Apoio como interveniente dos recursos financeiros recebidos, estas ações passam a ser de responsabilidade da Fundação, ocorrendo a verificação por parte da equipe do RMB.

Resultados esperados: Documentos de engenharia com as especificações técnicas de todos os sistemas e prédios que constituem o Empreendimento RMB, bem como da planta de arquitetura da instalação elaborados.

### **c) Projeto Básico**

Nesta etapa as equipes técnicas especificam os serviços e a administração realiza licitação para contratação de empresas de engenharia para elaborar o projeto básico dos diversos sistemas do RMB. Nos casos dos sistemas nucleares poderá haver contratação de uma empresa internacional com experiência no setor.

Resultados esperados: Documentos de engenharia com informações suficientes sobre todos os sistemas e prédios que constituem o Empreendimento RMB, de tal forma que o projeto executivo possa ser elaborado.

### **d) Empreitada Integral**

As equipes técnicas especificam os serviços e a administração realiza licitação para contratação de empresa para elaboração de edital e gestão do contrato de “Empreitada Integral” do Empreendimento, conforme previsto pela Lei 8.666/93, para elaborar o projeto detalhado (executivo), e executar a construção, a montagem, o suprimento e as contratações dos diversos sistemas do RMB. Nos casos dos sistemas nucleares para os quais não houver competência disponível no país, a empresa vencedora poderá subcontratar uma empresa internacional. As equipes técnicas e a empresa contratada de gestão de contrato acompanham e inspecionam a execução dos serviços contratados, quer seja de projeto, de construção, de suprimento ou de montagem.

Resultados esperados: Todas as instalações do Empreendimento RMB projetadas, construídas e montadas de acordo com as normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis.

### **e) Licenciamento ambiental e nuclear**

Etapa a ser executada pelas equipes técnicas da CNEN. A administração executa os processos de compra e de contratação de serviços quando pertinentes.

Resultados esperados: (i) Licenças ambientais obtidas - licença prévia, licença de instalação e licença de operação; (ii) Licenças nucleares obtidas – Licença de aprovação de local, licença de construção, autorização para uso de material radioativo, licença de operação inicial e licença de operação permanente.

#### **f) Fornecimento do Combustível**

Etapa a ser executada pelas equipes técnicas da CNEN com participação da INB (fornecimento de UF6 enriquecido a 5%), do CTMSP (enriquecimento elevado para 20%) e do IPEN (fabricação do combustível).

Resultados esperados: (i) Sistema exclusivo de suprimento do combustível necessário ao RMB; (ii) Fabricação da carga de combustíveis para a operação inicial do RMB; (iii) Fabricação rotineira das cargas sucessivas anuais de combustíveis para operação do reator; (iv) fabricação rotineira de alvos de urânio para produção do Mo-99.

#### **g) Comissionamento**

Nesta etapa as equipes técnicas do RMB participam do comissionamento dos vários sistemas juntamente com as respectivas empresas da gestão de contrato e da empreitada integral.

Resultados esperados: (i) constituída equipe de operação do RMB; (ii) Reator e instalações complementares comissionadas; (iii) Empreendimento RMB pronto para iniciar a fase de operação.

#### **h) Operação**

As equipes técnicas do RMB operam o Empreendimento dentro dos objetivos estabelecidos.

Resultados esperados: Operação por 50 anos (projeção de vida útil do reator).

#### **i) Descomissionamento**

As equipes do RMB executam o planejamento e especificam os serviços necessários.

Resultados esperados: (i) Reator a ser descomissionado após 50 anos do início da operação; (ii) Armazenamento de combustíveis descomissionado após 100 anos do início da operação.

A Figura 55 apresenta o cronograma atual do Empreendimento. Atualmente, em abril de 2013, o projeto encontra-se no meio do projeto básico, estando previsto o término do Empreendimento em 2018. Os tempos apresentados no cronograma são os mínimos necessários e os ajustes parciais e totais dependem da disponibilização dos recursos financeiros e humanos necessários.

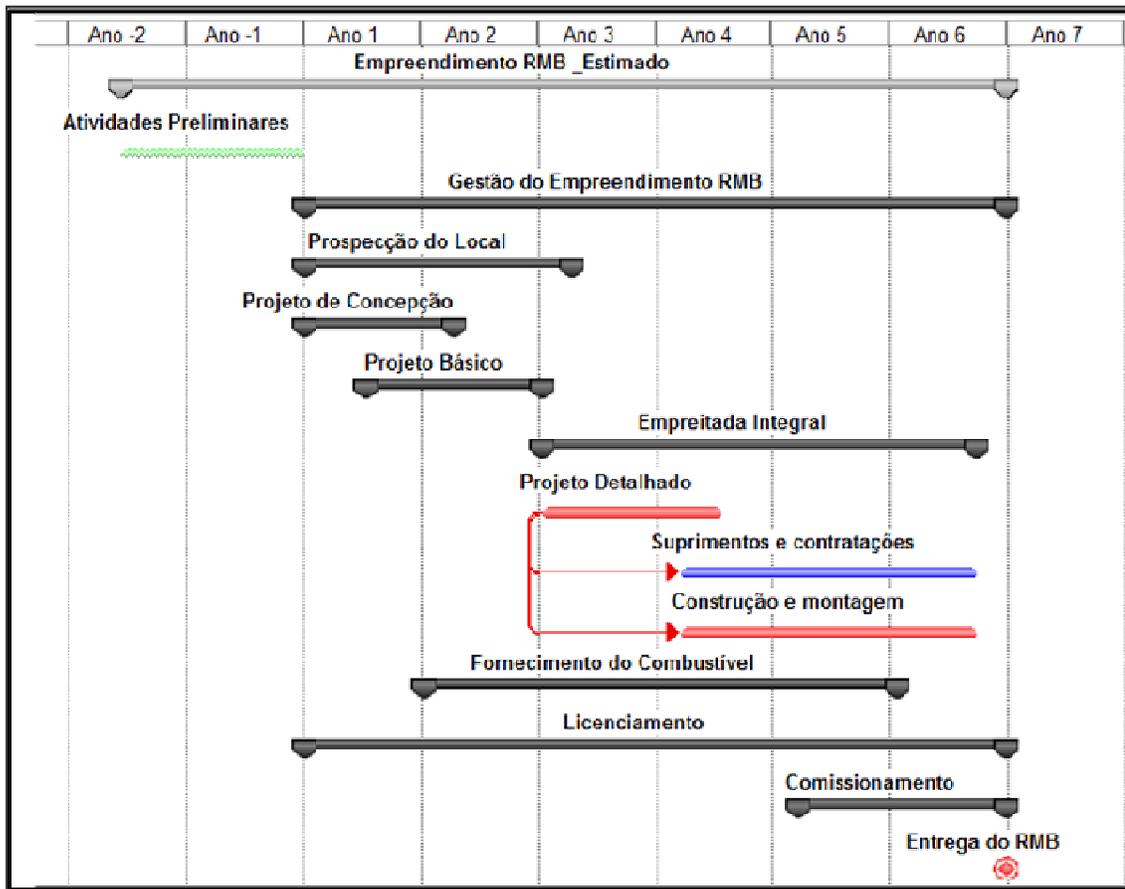


Figura 55 – Cronograma geral do Empreendimento RMB.

#### 4.4.3.2 Sistemas de Captação e Tratamento de Águas

Existem dois usos distintos de água previstos para o RMB: uso humano; e uso industrial.

O consumo humano ocorrerá na fase de operação do empreendimento, correspondente ao fornecimento de água potável a todas as instalações do sítio do RMB para uso em laboratórios e funcionários do RMB, assim como possíveis visitantes ao local. Já o consumo industrial ocorrerá apenas na fase de operação do empreendimento, especificamente para fornecimento da água da Torre de Resfriamento que dissipará o calor gerado pelo reator e instalações associadas.

Estão previstos dois sistemas distintos de captação de água. O primeiro sistema captará água do Aquífero Tubarão para servir ao consumo humano. O segundo captará água do Rio Sorocaba, que será utilizado para o consumo industrial.

Os seguintes tipos de correntes aquosas são previstas no empreendimento:

- Água Bruta - Água do Rio Sorocaba;
- Água Industrial - Água Bruta após clarificação;

- Água de Refrigeração - Água Industrial usada para remoção de calor dos sistemas térmicos do empreendimento.
- Água Potável - Água bombeada do aquífero Tubarão e sanitizada;
- Efluente Químico - Água contaminada com produtos químicos;
- Efluente Sanitário - Efluente contaminado com dejetos humanos;
- Água de Reuso - Efluente Químico ou Sanitário que pode ser reaproveitado após tratamento adequado.
- Água Pluvial - Água de chuva - encaminhada diretamente para o corpo receptor. Não está previsto reaproveitamento.

O consumo de água potável é estimado para um máximo ao longo do tempo de 150 m<sup>3</sup> por dia (para uma população máxima de 1000 pessoas). A água será captada em poço artesiano do subsolo do sítio do empreendimento (aquífero Tubarão) e sanitizada em estação de tratamento de água (ETA). Todo efluente de água de uso humano será tratado em estação de tratamento de esgoto e totalmente reutilizado no empreendimento. Efluentes químicos não radioativos serão tratados em estação de tratamento químico e também encaminhados para o reservatório de água de reuso.

O consumo de água industrial máxima é de 30 l/s (108 m<sup>3</sup>/h). Esta é a vazão necessária para manter a refrigeração adequada nas torres de resfriamento do Empreendimento. A água aduzida do Rio Sorocaba é tratada numa estação de tratamento de água (ETA). A água de purga das torres de resfriamento é tratada em uma estação de tratamento químico (ETI), próxima às torres de resfriamento. Essa água é parcialmente utilizada como água de reuso e parte retornada ao Rio Sorocaba como efluente líquido. A vazão de purga é de 6 l/s (21,6 m<sup>3</sup>/h), valor esse estimado como máximo.

A Figura 56 apresenta o arranjo geral contendo a identificação dos pontos de captação, e tratamento de água no Empreendimento.

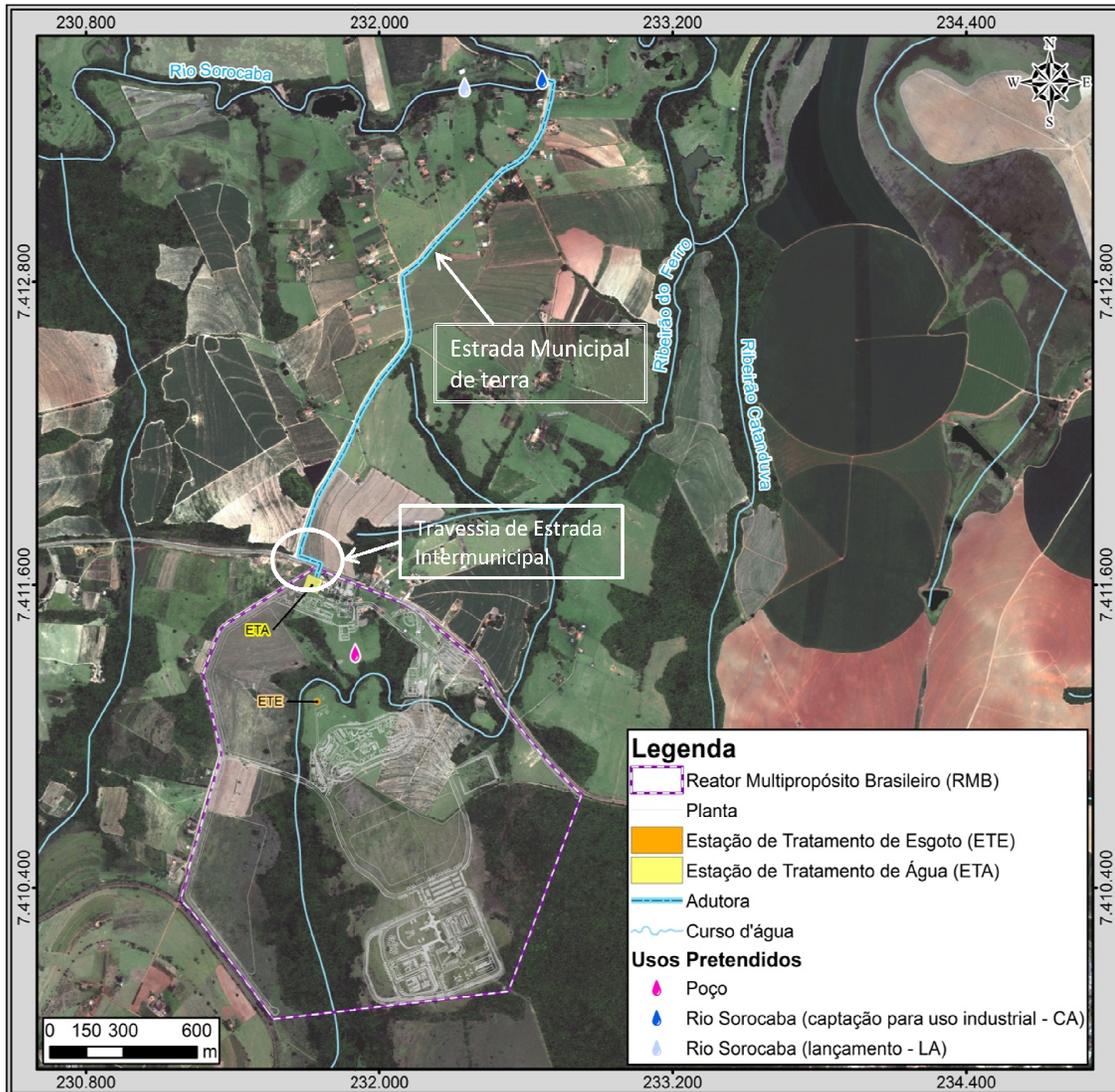


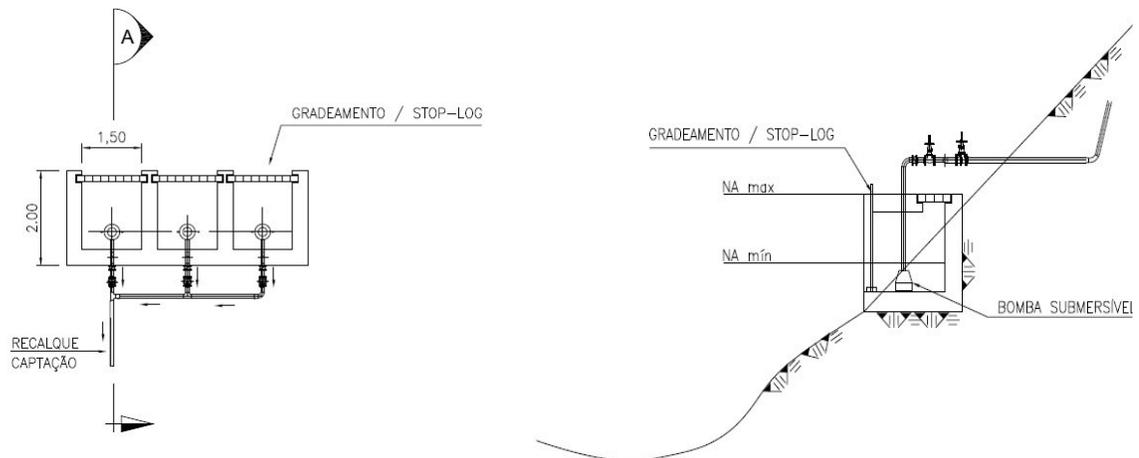
Figura 56 – Arranjo geral com as estruturas de tratamento de água/esgoto.

#### 4.4.3.2.1 Água de Serviço Industrial

##### 4.4.3.2.1.1 Captação

A captação de água para fins industriais será feita no rio Sorocaba, distante aproximadamente 2,5 km do empreendimento, por estrada municipal. Tanto a captação como as caixas de decantação e poço de bombas estarão dentro de área municipal, o que evitará desapropriações.

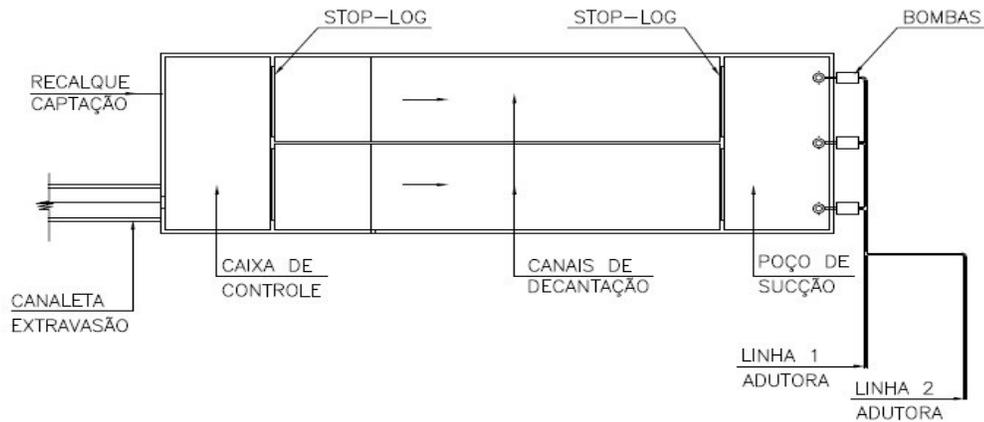
Em função das características locais a captação será feita por bombas submersíveis instaladas abaixo do nível mínimo do Rio Sorocaba, dentro de compartimentos que ficarão junto às margens. Serão três compartimentos independentes, providos de gradeamento para retenção de sólidos e *stop-logs*. Em cada compartimento será instalada uma bomba com vazão de 15 l/s cada, funcionando simultaneamente duas, com uma de reserva, para atendimento da vazão de projeto de 30 l/s. Os detalhes podem ser visualizados na Figura 57.



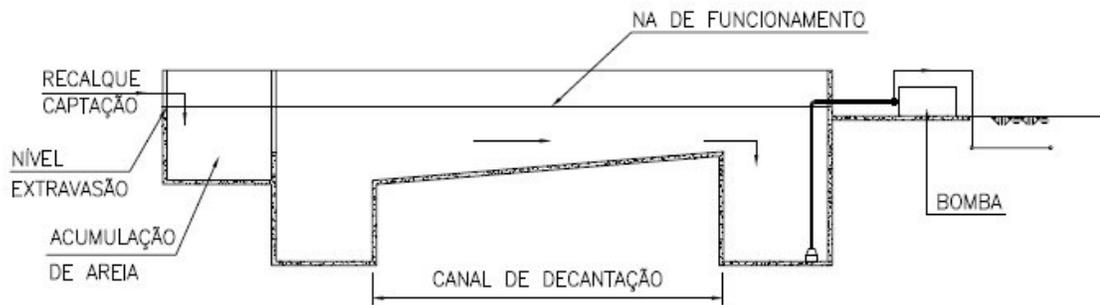
**Figura 57 - Planta Esquemática – Captação no Rio Sorocaba**  
Fonte: Intertechné, 2013.

##### 4.4.3.2.1.2 Decantação e Bombeamento

A água de captação será recalçada para uma área, aproximadamente 10 m acima do nível máximo do rio Sorocaba, despejando numa caixa de controle. Nesta caixa será instalado um extravasor que irá devolver ao rio, eventual excedente de água de captação recalçada, mantendo constante o nível dentro do sistema de decantação de areia, incluindo o poço de sucção. Os detalhes podem ser visualizados na Figura 58 e Figura 59.



**Figura 58 - Planta Esquemática**  
Fonte: Intertechné, 2013.



**Figura 59 - Corte Longitudinal**  
Fonte: Intertechné, 2013.

Da caixa de controle a água de captação vai para dois canais de decantação de areia independentes, providos de *stop-log* nas duas extremidades.

Após os canais de decantação de areia a água captada com menor taxa de sólido em suspensão, vai para o poço de sucção. Serão instaladas três bombas centrífugas com vazão de 15 l/s cada, funcionando simultaneamente duas, para atendimento da vazão de projeto de 30 l/s, ficando uma em reserva.

#### 4.4.3.2.1.3 Adutoras

Considerando o grau de segurança para abastecimento de água industrial no complexo RMB, foram previstas duas linhas adutoras, entre a área de captação e a área do empreendimento. Cada linha será dimensionada para atender isoladamente a vazão de projeto de 30 l/s. As adutoras serão em tubo de PVC especial, ao longo da estrada e de ferro fundido dúctil, na travessia da rodovia municipal Sorocaba – Bacaetava.

#### 4.4.3.2.1.4 Estação de Tratamento de Água

O objetivo da estação de tratamento de água é trazer a Água Bruta do Rio Sorocaba para as condições requeridas pelos pontos de consumo do empreendimento.

Na entrada da estação de tratamento de água, um tanque de acumulação recebe a água que chega pelas adutoras. Esse tanque distribui a Água Bruta entre as unidades de tratamento de água. A estação de tratamento contará com três unidades de tratamento também em configuração 3 x 50%. Cada unidade de tratamento conta com um sistema de dosagem de coagulante auxiliar para decantação.

O consumo estimado inicial de coagulante é cerca de 2 kg/h médios para 30 l/s de tratamento (base 100% em PAC). O agente coagulante a ser utilizado será determinado através de estudos ao longo do projeto da instalação e o consumo variará ao longo do ano junto com as variações sazonais das características da água captada.

Após dosagem do auxiliar de decantação, a água passará por decantadores de onde sairá clarificada. O lodo que se acumula no fundo dos decantadores será periodicamente removido através de filtros prensa. A torta removida dos filtros será acondicionada para posterior disposição final, fora dos limites do empreendimento.

A água decantada passará então por filtros de areia, onde serão removidos resíduos que passaram pelo processo de decantação. Após essa operação, a água já possui as características de Água Industrial e vai para um tanque regulador, de onde é bombeada para um castelo d'água e de lá é distribuída para os pontos consumidores do empreendimento.

#### 4.4.3.2.1.5 Reserva e Distribuição

A água industrial tratada será encaminhada para um reservatório semi-enterrado com volume útil total de 180 m<sup>3</sup>, dividido em duas células de igual capacidade. A partir deste reservatório a água industrial será recalçada para um reservatório superior, através de 3 bombas de 15 l/s, funcionando simultaneamente duas, com uma de reserva. Este reservatório elevado terá volume útil total de 120 m<sup>3</sup>, dividido em duas células de igual capacidade. A partir do reservatório elevado, será implantada uma rede de distribuição, que irá alimentar por gravidade, as unidades de reserva industrial, com volume útil de 3000 m<sup>3</sup>, a serem implantadas próximas das torres de resfriamento. A partir desses reservatórios, serão alimentadas as torres de resfriamento, e também sistemas de combate à incêndio do núcleo de produção e pesquisa.

#### 4.4.3.2.1.6 Água de Refrigeração

O sistema de água de refrigeração consiste de um circuito de torres de resfriamento e bombas que tem por objetivo rejeitar para a atmosfera o calor removido dos diversos sistemas térmicos do Empreendimento. O balanço de água de resfriamento ocorrerá conforme esquema abaixo.



**Figura 60 – Esquema do sistema de resfriamento.**

Na torre de resfriamento, 80% da vazão de água de renovação (make-up) evaporam para atmosfera. Os 20% restantes da vazão deverão ser purgados do sistema devido ao acúmulo de sais, mantendo sempre a qualidade de água da torre dentro de parâmetros estabelecidos. A água que é purgada será tratada numa estação de tratamento químico específica.

#### 4.4.3.2.1.7 Estação de Tratamento de Efluentes da Torre de Resfriamento.

A estação de tratamento da água de purga da torre de resfriamento consistirá de uma chicana equalizadora onde o efluente será recebido e serão dosados os produtos químicos para ajuste de pH e neutralização de biocidas e outros produtos utilizados no tratamento da água da torre de resfriamento do empreendimento. Eventualmente, pode ser necessária a dosagem de auxiliar de decantação.

Após a homogeneização, o efluente segue para um decantador de onde sai em condições de ser encaminhado para abastecer o sistema de distribuição de água de reuso. O efluente excedente será devolvido ao Rio Sorocaba através de tubulação paralela à tubulação de adução. Este tratamento será dimensionado de maneira que ao final do processo, todas as características requeridas para reutilização ou lançamento no Rio Sorocaba estejam devidamente atendidas.

O lodo que se acumula no fundo do decantador será periodicamente removido através de filtros prensa. A torta removida dos filtros será acondicionada para posterior disposição final, fora dos limites do empreendimento.

O consumo esperado de produtos químicos é da ordem de 4 kg/dia de ácido ( $H_2SO_4$  - 98%) e cerca de 4 kg/dia de neutralizante para biocida (base de 10 ppm de biocida na água da purga).

#### 4.4.3.2.1.8 Monitoramento do Sistema de Água Industrial da Captação até o Reservatório Principal

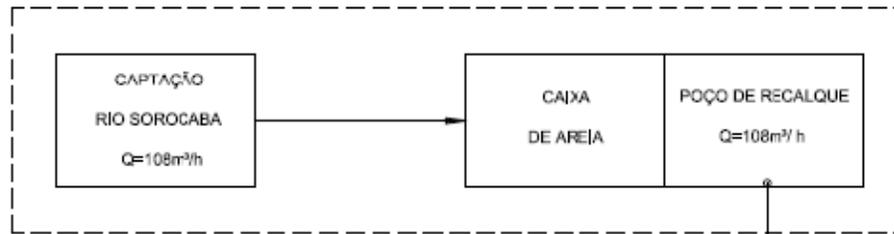
Todo o sistema de monitoramento entre a captação de água no rio Sorocaba, até as bombas que recalcam a água já tratada do reservatório principal enterrado para o reservatório elevado principal, deverá estar interligado. Esse sistema irá funcionar

normalmente de forma automática, podendo também ser acionado manualmente pelo operador, em situações especiais de funcionamento (manutenção, reparos, etc).

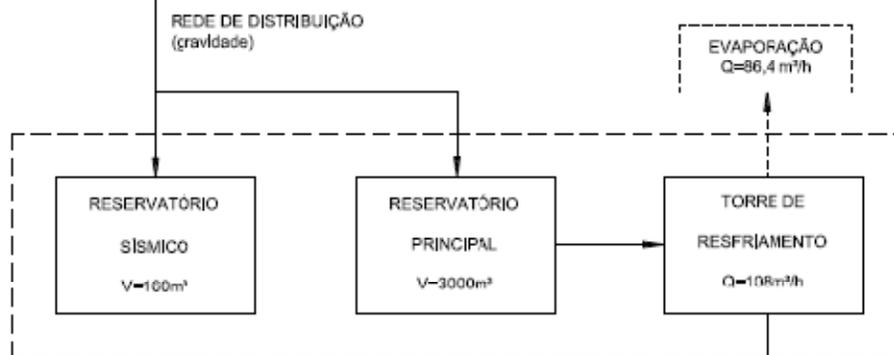
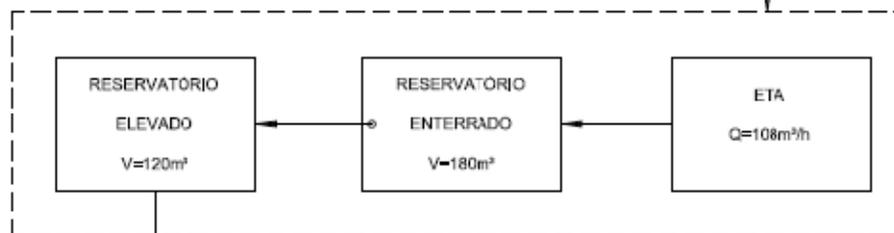
Em um regime equilibrado, a vazão de captação de água, mais eventuais perdas no caminho, é igual à vazão utilizada pela operação industrial. Entretanto isso nem sempre acontece e dessa forma são implantados reservatórios de regularização que compensam os desequilíbrios. Quando estes desequilíbrios perduram por um período maior do que os reservatórios de equilíbrio podem suportar, são acionados os dispositivos que desligam e ligam automaticamente partes dos sistemas, de maneira a reequilibrar o funcionamento global do sistema.

A Figura 61 apresenta um fluxograma geral do sistema de água industrial.

ÁREA - RIO SOROCABA



ÁREA - ETA



ÁREA - INDUSTRIAL

ÁREA - TRATAMENTO

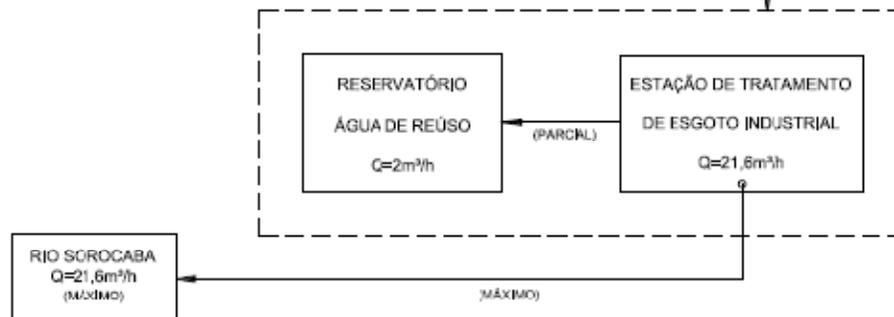


Figura 61 - Fluxograma do Sistema de Água Industrial.

#### 4.4.3.2.2 Água Potável

##### 4.4.3.2.2.1 Captação

O abastecimento de água potável para o empreendimento será feito através de captação de poço artesiano do subsolo do sítio do empreendimento (aquífero Tubarão).

Como água de reuso será utilizado todo efluente da Estação de Tratamento de Esgoto, com complemento do efluente proveniente da Estação de Tratamento Industrial da Torre de Resfriamento.

##### 4.4.3.2.2.2 Estação de Tratamento

Ao norte do sítio do Empreendimento, junto à ETA de água industrial, deverá ser delimitada uma área onde será implantada a instalação de correção da água do poço para torná-la potável, se necessário, e dos reservatórios de regulação e distribuição. A Estação de Tratamento de Água para consumo humano terá um sistema de filtros e adição de sanitizante e flúor. Após sanitização a água é estocada em tanque apropriado. A partir deste tanque a água será bombeada para um reservatório elevado central de onde será possível a distribuição para os prédios consumidores de água potável do empreendimento.

Os consumos estimados de sanitizante e flúor são: 50 g Cl<sub>2</sub> equivalente / dia e 70 g F equivalente /dia proporcional a uma base de produção de 100 m<sup>3</sup> dia.

##### 4.4.3.2.2.3 Reservação e Distribuição

A água potável é estocada em reservatório enterrado e bombeada para o reservatório elevado na área das ETAs. A partir dessa torre sairão as redes de distribuição que alimentarão, por gravidade, os reservatórios elevados locais, na área de infraestrutura, na área administrativa e no núcleo de produção e pesquisa. Os edifícios não contarão com caixa d'água potável própria, por isso serão dispostos três reservatórios elevados de água potável, distribuídos entre as macroáreas: núcleo de produção e pesquisa, núcleo de apoio e administração e núcleo de infraestrutura.

##### 4.4.3.2.3 Água de Reuso

O Empreendimento RMB tem como premissa o reuso das águas servidas após tratamento. As águas servidas de esgotos sanitários e de uso humano serão tratadas numa Estação de Tratamento de Esgoto e as águas servidas de laboratórios e outras instalações com manuseio químico serão tratadas em uma Estação de Tratamento Químico. Após tratamento a água de reuso será armazenada em tanques e bombeada para um reservatório elevado na região das ETAS. Os reservatórios elevados de água potável e de reuso deverão fazer parte de uma mesma torre. A água de reuso, a exemplo da água potável, é distribuída para as macroáreas e armazenada nos reservatórios elevados.

A Figura 62 apresenta um fluxograma simplificado e estimado do balanço de uso de água potável e de reuso.

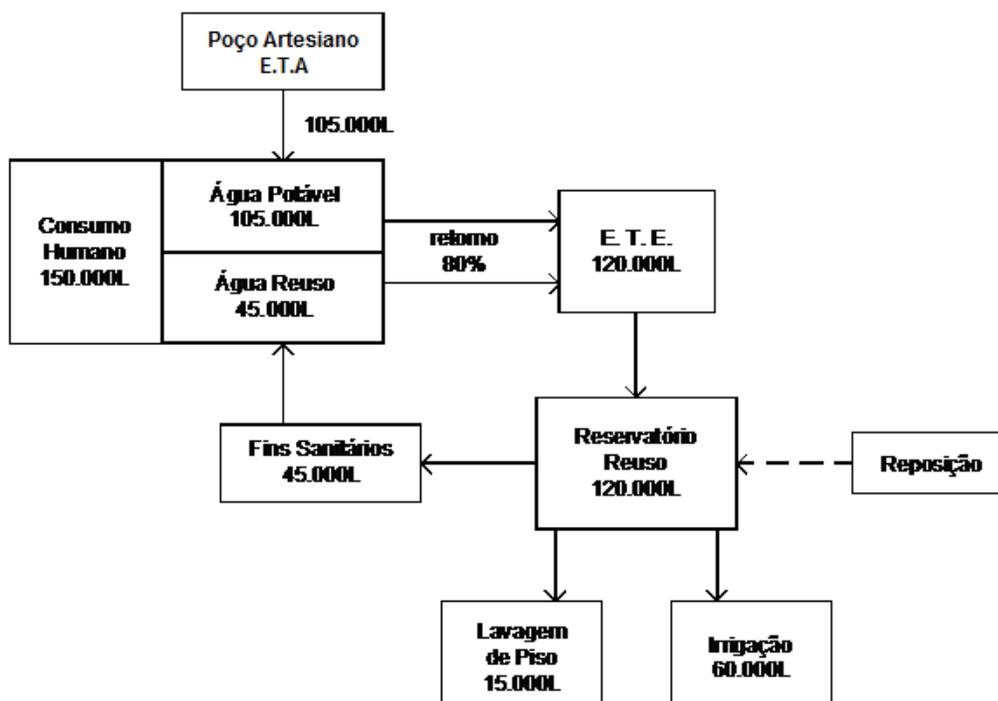


Figura 62 - Balanço do sistema de água  
Fonte: Intertechné, 2013.

A situação apresentada é a ideal e terá de ser adequada aos valores reais que o funcionamento do sistema de água irá ter. A alteração dos valores, exceto consumo de água potável, poderá ser corrigida com a reposição de água de reuso, que poderá vir do sistema de tratamento de efluentes da torre de resfriamento, como mencionado no item anterior.

#### 4.4.3.2.3.1 Estação de Tratamento de Efluentes Químicos (ETI)

Os efluentes oriundos de laboratórios ou áreas sujeitas à contaminação com produtos químicos serão encaminhados para um tanque dotado de dispositivo de agitação. Quando este tanque estiver cheio, o sistema desvia o recebimento de efluentes para outro tanque idêntico e disponibiliza o primeiro tanque para tratamento. O operador da estação analisa o efluente contido e dimensiona o tratamento conforme as características daquele lote a ser tratado.

Após a dosagem dos produtos químicos requeridos para a neutralização do efluente, o operador desliga o sistema de agitação e aguarda a sedimentação do lodo dentro do próprio tanque. Na medida em que o lodo for sedimentando, o operador abre válvulas em diferentes alturas e permite a liberação do efluente tratado para o corpo receptor.

O lodo remanescente no fundo do tanque é removido através de filtros prensa. A torta removida dos filtros será acondicionada para posterior disposição final, fora dos limites do

empreendimento. Será prevista uma contenção para reter esse lodo em caso de eventuais vazamentos nos tanques de tratamento. A geração mensal de lodo deverá ser estimada quando do projeto detalhado do Empreendimento.

#### 4.4.3.2.3.2 Estação de tratamento de efluente (ETE)

O efluente sanitário e de esgoto de águas servidas serão coletados no empreendimento e direcionados para uma estação de tratamento microbiológico de efluentes a fim de reduzir a sua carga orgânica. O efluente depois de tratado é direcionado para um sistema de reuso de água de maneira que não haverá devolução de efluente sanitário e de águas servidas para nenhum corpo receptor. O lodo removido do processo microbiológico será destinado para estação de compostagem dentro do próprio Empreendimento.

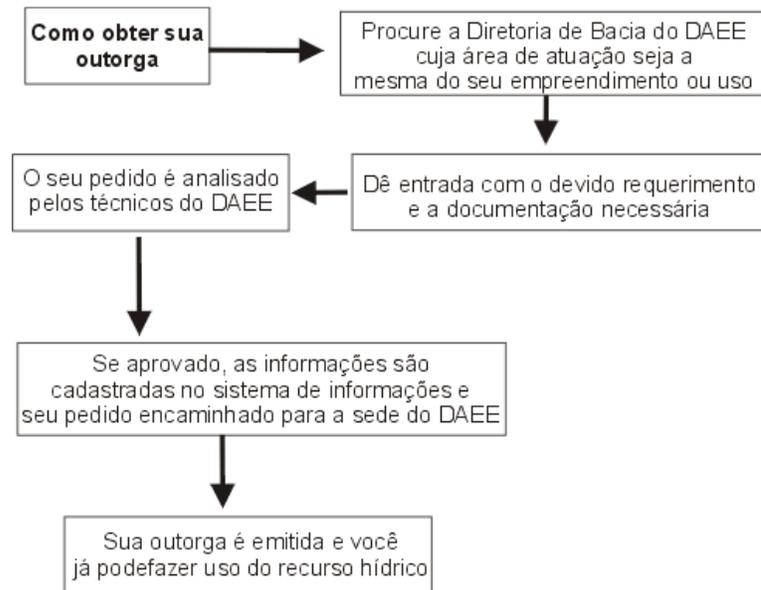
#### 4.4.3.2.4 Outorga de Uso da Água

A operação do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) necessitará fazer uso de águas, as quais, em função da localização do empreendimento, não poderão ser fornecidas, de imediato, pela concessionária de água responsável.

O uso mencionado refere-se à captação de água para processo industrial e doméstico. Para tanto, é necessário que seja feita uma solicitação de autorização, concessão ou licença (Outorga) ao Poder Público, o qual, para o caso do RMB, é representado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de São Paulo.

Para este órgão, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos deve ser requerida por meio de formulários próprios, disponíveis na Diretoria de Bacia do DAEE, definida conforme o município onde se localiza o uso, onde também serão obtidas informações quanto à documentação e aos estudos hidrológicos necessários.

A seguir é apresentado o fluxograma (conforme orientação do sítio eletrônico do próprio DAEE) do processo de obtenção da outorga:



**Figura 63 - Fluxograma de obtenção de outorga no DAEE.**

O processo de obtenção de outorga de uso da água deverá seguir diferentes etapas, onde para cada etapa são obtidas autorizações específicas até a etapa de concessão do uso da água.

O empreendimento em questão, conforme definições da Portaria DAEE nº 717 de 12 de dezembro de 1996, é passível, a priori, de ter que cumprir 3 (três) etapas, quais sejam:

- Na implantação do empreendimento com utilização de recursos hídricos: nesta etapa visa-se a obtenção da “Autorização para Implantação”;
- Das obras e serviços que interfiram com os recursos hídricos superficiais: nesta etapa visa-se a obtenção da “Autorização Administrativa para execução da obra ou serviço”;
- No uso dos recursos hídricos: obtenção da “Autorização (ou Concessão) Administrativa para o uso de recursos hídricos”.

Considerando o andamento do projeto do RMB, nesta etapa, foi iniciado o processo para a obtenção da Autorização para a Implantação, sendo providenciados os seguintes estudos/documentos:

- Requerimento da autorização;
- Estudos de viabilidade de implantação - EVI, no que concerne ao uso dos recursos hídricos;
- Cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do responsável técnico pelo estudo relativo ao uso dos recursos hídricos pretendidos;
- Cronograma de implantação do empreendimento;
- Comprovante de pagamento de emolumentos;

- Cópia do Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ).

A documentação necessária foi protocolada no DAEE em março 2013, conforme ANEXO III.

Foram solicitadas três outorgas a saber:

- (a) Captação de água do Rio Sorocaba (108 m<sup>3</sup>/h)
- (b) Disposição de efluente líquido no Rio Sorocaba (22 m<sup>3</sup>/h)
- (c) Captação de água no aquífero Tubarão (6,5 m<sup>3</sup>/h)

#### 4.4.3.3 Sistema de Dissipação de Calor

O reator nuclear de pesquisa RMB produz como potência nominal 30 MW que são dissipados na piscina do reator e no circuito primário que arrefece o núcleo (conjunto de elementos combustíveis). No entanto, outros sistemas associados do reator e instalações requerem também dissipação de calor, e estes terão também como sorvedouro de calor final o mesmo dissipador de calor do reator. A potência total a ser dissipada é da ordem de 50 MW, valor este estimado na fase conceitual e deverá ser corretamente dimensionada ao longo do projeto básico e executivo.

O circuito de refrigeração do núcleo do reator conterà o Sistema Primário de Refrigeração do Reator, e um Sistema Secundário de Refrigeração do Reator, o qual é composto de dois circuitos intermediários (Circuito IA e Circuito IB), e um circuito final que é a Torre de Resfriamento. Neste arranjo proposto a probabilidade de haver água com radioatividade na torre de refrigeração é praticamente zero, pois existe um circuito intermediário fechado entre o circuito de água de refrigeração do reator e o circuito de água de resfriamento da torre.

Também existirá um sistema de dissipação de calor de segurança, denominado circuito II, para resfriamento de longo prazo da piscina do reator, com potência de dissipação da ordem de 500 kW.

Esta seção tem por objetivo a descrição do Sistema da Torre de Resfriamento, o qual faz parte do Sistema de Refrigeração Secundário do reator do RMB. Este sistema será responsável pela remoção final, em operação normal, do calor gerado, principalmente pelo núcleo do reator, bem como pelos processos auxiliares, além do calor gerado no Sistema de Ar Condicionado (HVAC) da área nuclear controlada, e a dissipação desses calores para a atmosfera.

Este Sistema fornecerá água de resfriamento para os seguintes sistemas:

(i) Sistema de Refrigeração Secundário do Circuito IA - envolvendo os trocadores de placa do Sistema de Resfriamento Secundário IA, os quais trocam calor com água desmineralizada oriunda dos trocadores de calor internos à contenção, a saber:

- Calor do Sistema de Resfriamento Primário do Núcleo do Reator;
- Sobrepotência Máxima Admissível para o Núcleo do Reator;
- Calor do Sistema de Água Pesada;

- Calor das Instalações dos Alvos de Irradiação;
- Calor das Piscinas do Reator e de Serviço, em operação normal;
- Calor do Sistema da Célula Fria da Fonte de Nêutrons;
- Calor Rejeitado pelas Bombas de Água de Resfriamento do Reator;
- Calor Rejeitado pelas Bombas do Circuito Secundário;
- Calor Rejeitado pelas Bombas do Circuito Primário;
- Reserva para Fontes não Previstas.

(ii) Sistema de Refrigeração Secundário do Circuito IB, que troca calor com os sistemas fora da contenção, quais sejam:

- Calor do Sistema das Instalações da Guia de Nêutrons;
- Calor do Sistema dos Compressores de Hélio;
- Calor do Sistema dos Compressores de Ar Comprimido;
- Reserva para fontes não previstas.

(iii) O calor do Sistema de Ar Condicionado dos Prédios da Área Nuclear Controlada (HVAC) é também dissipado na torre de refrigeração, envolvendo os trocadores dos compressores de refrigeração para a geração de água gelada desse Sistema.

(iv) O Sistema de Refrigeração do Secundário - Circuito II (Sistema de dissipação de calor de longo prazo com reator desligado) contem as bombas, os resfriadores evaporativos em circuito fechado e os trocadores de calor das Piscinas do Reator e de Serviço referentes ao calor residual de decaimento dissipado nas mesmas, os quais operam apenas quando da parada do Reator.

A Figura 64 e a Figura 65 apresentam fluxogramas integrados dos sistemas primários e secundários e torre de resfriamento para o circuito I e circuito II. Esta concepção é ainda preliminar, podendo ser alterada ao longo do projeto básico e executivo do Empreendimento.

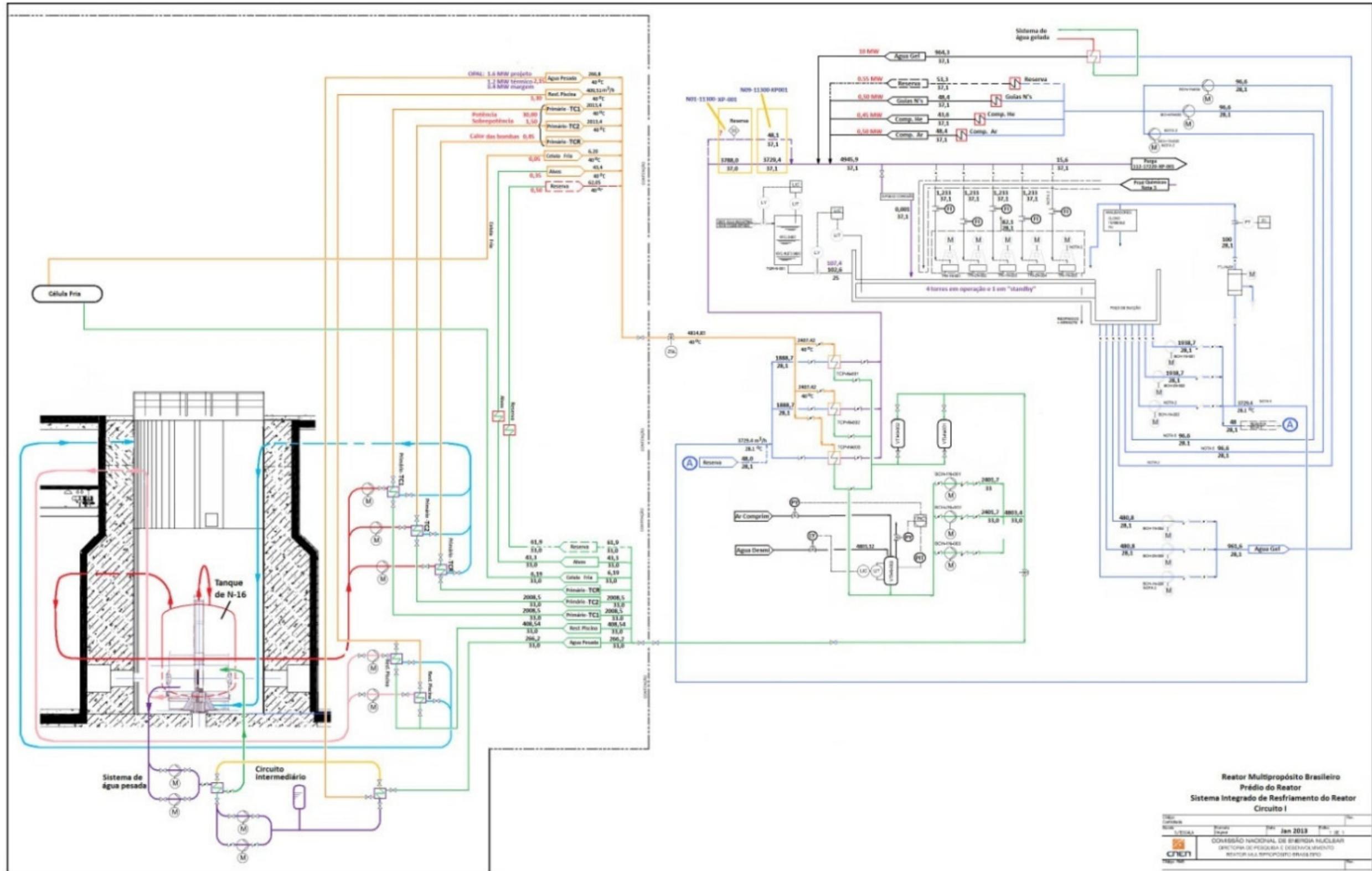


Figura 64 - Sistemas integrados de refrigeração do Reator – circuito I.

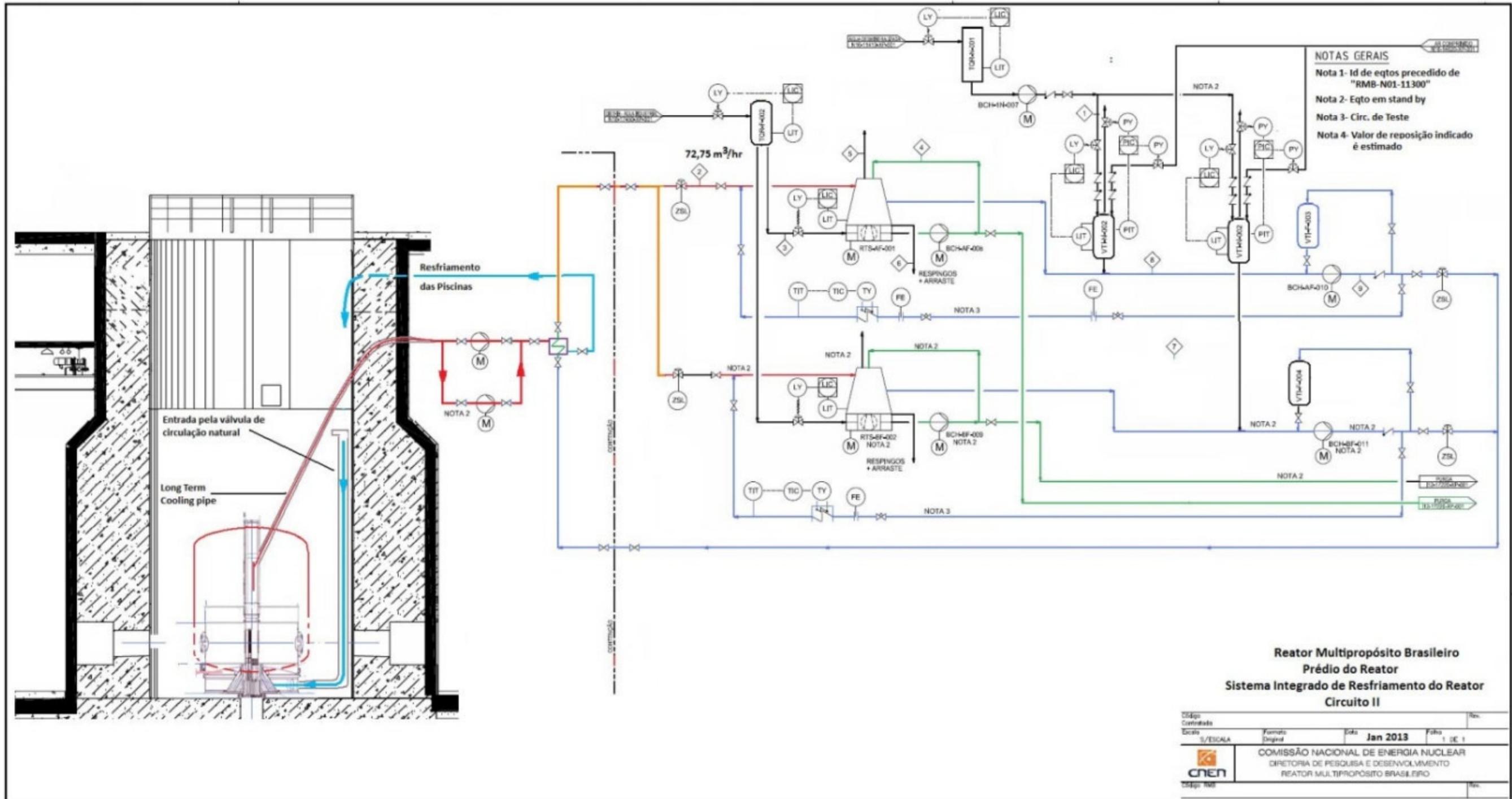


Figura 65 - Sistemas integrados de refrigeração do Reator – circuito II.

O resfriamento da água em torres de resfriamento ocorre conforme dois processos termodinâmicos:

- Transferência por convecção, do calor sensível da água para o ar, pelo contato do ar em temperatura mais baixa. Normalmente esse processo é responsável por cerca de 20 a 30% do calor transferido;
- Transferência por evaporação, do calor latente de pequena quantidade de água, devido à menor concentração desta no ar circulante. Por sua vez, este processo é responsável por 70 a 80% da transferência de calor da operação.

O fenômeno de transferência simultânea de calor e massa no processo, induzida pela diferença de concentração entre a água na fase líquida e a água na fase vapor, representada esta pela umidade do ar, proporciona uma força motriz, que leva pequena quantidade de água líquida a vaporizar e a equilibrar a concentração com a fase vapor. Por sua vez o calor latente da água vaporizada rouba calor da água que permanece na fase líquida, resultando no resfriamento desta.

Fazem parte do Sistema da Torre de Refrigeração os seguintes equipamentos:

#### 4.4.3.3.1 Tanque de Reposição de Água Industrial

Será um tanque tipo API-650, com teto fixo, em aço carbono e revestido internamente com pintura epóxi. Deverá ter uma capacidade para 4 horas de operação, sem o recebimento dessa utilidade a partir do Sistema de Distribuição de Água Industrial do Núcleo de Produção e Pesquisa que possui um reservatório com 3000. Considerando uma reposição máxima de água estimada em 108 m<sup>3</sup>/h na Torre de Refrigeração para repor as perdas por evaporação, arraste e purga, esse tanque deverá ter uma capacidade útil de cerca de 430 m<sup>3</sup>, valor este que deverá ser confirmado durante a fase de Projeto Básico.

#### 4.4.3.3.2 Torre de Refrigeração

##### 4.4.3.3.2.1 Estrutura da Torre

A Torre de Refrigeração deverá ser do tipo tiragem induzida, em contracorrente. A sua estrutura deverá ser autoportante em plástico reforçado com fibra de vidro autoextinguível (PRFV-AE), projetada para suportar a carcaça, os cones de entrada de ar dos ventiladores, em PRFV-AE, o enchimento, os eliminadores de gotas, o sistema de distribuição de água quente, o difusor, o ventilador, sua plataforma, seu conjunto de acionamento, o invólucro e todos os demais elementos estruturais, além do peso de operadores nas plataformas considerando neste caso um peso adicional de 300 kgf.

Toda a construção deverá ser projetada de forma a ser executada em estruturas pré-fabricadas compostas de paredes em PRFV-AE com pigmentação não translúcida de forma a evitar a formação de biolimo, autoportantes ou com reforço estrutural, exceto as fundações. O reforço estrutural nas paredes poderá ser fabricado em PRFV-AE, à prova de corrosão. Em nenhuma hipótese serão aceitas estruturas metálicas.

#### 4.4.3.3.2.2 Células da Torre

Para atender a capacidade total do projeto de cerca de 5000 m<sup>3</sup>/h, são previstas 5 (cinco) células na Torre, sendo quatro em operação e uma de reserva, com arranjo em linha, lado a lado, cada uma com capacidade de cerca de 1250 m<sup>3</sup>/h.

As células deverão ser completamente independentes de tal forma a ser possível efetuar manutenção em qualquer uma delas, interrompendo-se a tiragem e a circulação de água, sem haver interrupção da operação das demais células.

#### 4.4.3.3.2.3 Enchimento das Células

O enchimento das células tem a função de aumentar a superfície e o tempo de contato entre a água e o ar para maior eficiência de troca térmica.

Deverá ser arranjado em painéis, fixados uns aos outros, de modo a facilitar o seu manuseio e manutenção. Os blocos agrupados deverão ter resistência suficiente para suportar o peso de um homem de 90 kg sobre eles.

O enchimento das células deverá ser do tipo grade em plástico autoextinguível. Não é aceitável enchimento tipo filme.

#### 4.4.3.3.2.4 Eliminador de Gotas

Os eliminadores de gotas têm a função de limitar o arraste de água pelo fluxo de ar exaurido pela torre, evitando desperdício de água e inconvenientes que um arraste possa causar ao redor da torre.

Os eliminadores de gotas deverão ser instalados no topo do enchimento para minimizar a perda por arraste em no máximo 0,1% da vazão de projeto da água de circulação.

O eliminador de gotas deverá ser de material plástico autoextinguível. Deverá apresentar perfil ondulado, de dupla deflexão, com lâminas, uniformemente espaçadas através de distanciadores, incorporados na própria peça, e facilmente removíveis para permitir a manutenção.

O eliminador deverá ser projetado de modo a permitir acesso fácil ao sistema de distribuição de água quente. Este acesso deverá contar com plataforma com corrimão, e permitir a movimentação de um homem de 1,80 m.

#### 4.4.3.3.2.5 Ventiladores

Cada célula deverá ter um único ventilador. Os ventiladores deverão ser conforme a AMCA e terão as seguintes características:

- Deverá haver um ventilador por célula da torre, cada um acionado por seu próprio motor elétrico e devem ter acionamento direto. Acionamentos por correia tipo V não serão aceitos;

- Deverá ser prevista plataforma de grade abaixo de cada ventilador como piso de acesso ao equipamento para inspeção e manutenção, evitando a necessidade de montagem de andaime.
- Deverão ser indicadas na folha de dados da torre as amplitudes de vibração previstas, medidas diretamente sobre o mancal de sustentação do eixo do rotor;
- Carga elétrica estimada por ventilador igual a 64,5 kW. Considerando quatro ventiladores operando, a carga elétrica será de 258 kW, valor este que deverá ser confirmado durante fase de Projeto Básico

#### 4.4.3.3.2.6 Bacias de Água Fria

Correspondendo às cinco células referidas, serão seis bacias em concreto (uma futura), estanques, bloqueáveis por chapa tipo “stop-log”, devendo cada uma ter uma saída para escoamento da água para o canal coletor comum. Em cada uma dessas saídas, deverá haver um perfil “U” para possibilitar correr uma chapa tipo “stop-log” para bloqueio do compartimento, de modo que seja possível efetuar a limpeza ou manutenção em cada uma das células e bacias, interrompendo-se a tiragem e a circulação da água, sem parada ou prejuízo das demais.

#### 4.4.3.3.2.7 Canal Coletor Comum

Deverá ser previsto um canal coletor, também em concreto, comum às cinco bacias, recebendo água fria de cada uma delas, localizado à frente e ao longo das células, compreendendo a operação simultânea das células. O canal coletor deverá ser provido de canaleta de transbordo (*overflow*), para a retirada de materiais sobrenadantes na água. O projeto e dimensionamento do canal coletor e do poço de sucção serão feitos de acordo com o “*Hydraulic Institute Standards for Centrifugal Rotary & Reciprocating Pumps (HIS)*”, de forma a evitar problemas de cavitação nas bombas de circulação, mesmo com todas elas operando na vazão nominal.

O canal coletor comum receberá água das bacias e deverá possuir nove saídas, uma por compartimento do poço de sucção das bombas, para escoamento da água por gravidade. Em cada uma dessas saídas deverá haver duas telas independentes e removíveis, com malha de 5 mm de abertura, em aço inox, para reter sólidos grosseiros. Imediatamente a jusante dessas telas deverá haver uma chapa tipo *stop-log* em plástico reforçado com fibra de vidro (correndo em perfil “U”), para vedação da abertura, de modo a isolar cada compartimento para limpeza ou manutenção, sem parada ou prejuízo da operação da Unidade.

A bacia e o canal coletor deverão ser construídos elevados, de modo que as bombas fiquem no nível do piso da Unidade, estando sempre com as tomadas de sucção afogadas e livres de cavitação.

#### 4.4.3.3.3 Bombas de Água de Resfriamento

Deverão ser instalados três conjuntos de bombas na Torre de Refrigeração. Dois conjuntos fazem parte do Sistema da Torre de Refrigeração e um conjunto fará parte do Sistema de Refrigeração Secundário (circuito IB). As bombas deverão ser centrífugas, preferencialmente do tipo “*back pull out*” de modo a facilitar a manutenção, todas elas acionadas por motor elétrico, cada conjunto com redundância de 50%, um conjunto para cada um dos dois circuitos IA e IB e Sistema de HVAC, conforme descrito a seguir: Todas as bombas deverão ser localizadas em abrigos com laterais abertas para proteção contra intempéries, porém com espaço suficiente para trabalhos de manutenção.

##### 4.4.3.3.3.1 Bombas de Água de Resfriamento do Circuito de Refrigeração Secundário IA

Serão três bombas centrífugas, de preferência tipo “*back pull out*”, cada uma com capacidade de 50% da vazão total do Circuito, sendo uma reserva, com a função do bombeamento da água de resfriamento a partir da Torre de Refrigeração para os trocadores de calor do Circuito de Refrigeração Secundário IA do RMB, onde trocam calor com a água desmineralizada proveniente dos trocadores de placas do Circuito Primário de Refrigeração do RMB, localizados na área de contenção.

##### 4.4.3.3.3.2 Bombas de Água de Refrigeração do Circuito Secundário IB

Serão três bombas centrífugas, cada uma com 50% da capacidade do circuito, sendo uma reserva, com a função do bombeamento da água de refrigeração a partir da Torre de Refrigeração até os trocadores dos Sistemas dos Compressores de Hélio, dos Compressores de Ar e da Célula Fria do RMB.

##### 4.4.3.3.3.3 Bombas de Água de Resfriamento do Sistema de HVAC

Serão instaladas três bombas centrífugas com capacidade de 50% cada uma, sendo uma reserva, e tem a função do bombeamento da água de resfriamento, também a partir da Torre de Refrigeração, para os trocadores de calor para Geração de Água Gelada para Sistema de Ar Condicionado, HVAC, de todos os prédios da Área Nuclear Controlada, onde trocam calor nas unidades de refrigeração desse sistema.

##### 4.4.3.3.3.4 Poços de Sucção

Deverão ser construídos nove poços de sucção em concreto, um para cada bomba, independentes, isoláveis individualmente, estanques, dispostos em linha, bloqueáveis por “*stop-log*” de maneira a permitir limpeza/manutenção de cada um em separado e sem parada/prejuízo da operação da torre. Cada poço deverá acomodar a linha de sucção da bomba, e deverão ser dimensionados (poço, linha e bomba) conforme recomendações do HIS.

O projeto e dimensionamento do canal coletor e do poço de sucção serão feitos de acordo com o *Hydraulic Institute Standards for Centrifugal Rotary & Reciprocating Pumps (HIS)*, de forma a evitar problemas de cavitação nas bombas de circulação, mesmo com todos os conjuntos operando na vazão nominal.

Para facilitar a limpeza/içamento das telas/*stop-logs* das bacias e canal, deverão ser instalados dispositivos (roldana c/ catraca e travamento) para içamento manual, em cada abertura. Deverão ser previstas facilidades de limpeza como tomadas de água industrial, área segregada para lavagem das telas com escoamento para drenagem contaminada, e outras que o Projeto de Detalhamento detectar.

As tomadas de sucção de cada bomba deverão ser equipadas com curvas de 90° para baixo e sino, conforme o HIS.

O volume mínimo útil das bacias, do canal coletor e dos poços de sucção, em conjunto, deverá ser suficiente para assegurar, durante pelo menos 7,5 minutos, o bombeamento de água na vazão de projeto por célula/bacia (de cerca de 1250 m<sup>3</sup>/h), sem que haja retorno. A diferença entre os níveis de operação máximo e mínimo do poço de sucção (submersão mínima prevista pelo HIS) deverá ser de no mínimo 1,5 metros.

Os compartimentos do poço de sucção das bombas deverão prever espaço suficiente (largura) para os trabalhos locais de manutenção e facilidade de movimentação para efetuar limpeza.

#### 4.4.3.3.4 Filtro Autolimpante

O Filtro Autolimpante será um filtro lateral (*side stream self cleaning filter*), automático, cuja função é filtrar continuamente parte da vazão circulante a partir da descarga de um dos conjuntos de bombas, com retorno diretamente para o canal coletor. O principal objetivo do filtro é a retirada dos sólidos em suspensão e algas presentes na água. A vazão de filtração corresponde a oito vezes o volume do sistema por dia. Estimativa preliminar dessa vazão é de cerca de 100m<sup>3</sup>/h, o que corresponde à filtração de todo o volume circulante em 3 horas. Este valor deverá ser confirmado na fase de projeto básico.

#### 4.4.3.3.5 Água de Resfriamento

Conforme apresentado no item 4.4.3.2, a água de resfriamento é fornecida pelo sistema de água industrial do Empreendimento RMB. O consumo de água industrial máxima é de 30 l/s (108 m<sup>3</sup>/h). Esta é a vazão necessária para manter a refrigeração adequada nas torres de resfriamento do Empreendimento. A água aduzida do rio Sorocaba é tratada numa estação de tratamento de água (ETA). É bombeada para uma torre de distribuição, que por gravidade alimenta um reservatório de 3000 m<sup>3</sup> localizado próximo à região das torres. Esse reservatório alimenta o tanque de água das torres.

A água de purga das torres de resfriamento é tratada em uma estação de tratamento químico (ETI), próxima às torres de resfriamento. Essa água é parcialmente utilizada como água de reuso e parte retornada ao Rio Sorocaba como efluente líquido. A vazão de purga é

de 6 l/s (21,6 m<sup>3</sup>/h), valor esse estimado como máximo. O volume estimado de evaporação e perda por respingos nas torres de resfriamento é da ordem de 80% da água de reposição, ou seja, uma vazão máxima estimada em 86,4 m<sup>3</sup>/h.

O reator RMB operará 24 horas por dias, em ciclos de 25 a 28 dias seguidos e 11 ciclos por ano. Os valores de vazão apontados acima são valores de máxima vazão para as piores condições de transferência de calor. Essa vazão é variável ao longo do dia e ao longo das estações do ano. Portanto os valores reais de consumo de água e dissipação de vapor de água para a atmosfera são menores dos que apresentados.

#### 4.4.3.4 Sistemas de Saneamento Ambiental

Por critério de projeto do empreendimento, qualquer resíduo, efluente ou rejeito sólidos, líquidos ou gasosos, serão coletados, analisados, tratados, armazenados e somente liberados após verificação de conformidade com leis, normas ou regulamentos de todas as esferas de controle no país. Os sistemas de engenharia a serem projetados e os procedimentos operacionais a serem estabelecidos no empreendimento devem garantir este critério.

A população na fase operacional do Empreendimento RMB é considerada em torno de 400 pessoas nos primeiros anos, crescendo a medida da maior utilização do reator e dos laboratórios associados, devendo atingir um máximo de 1000 pessoas quando da maturidade operacional e incorporação de novos laboratórios no sítio (número baseado na experiência operacional do IPEN). Este número de pessoas será utilizado como dimensionamento inicial para as utilidades e insumos de infraestrutura.

##### 4.4.3.4.1 Efluentes Líquidos

Todas as instalações do empreendimento RMB terão sistemas independentes, e fisicamente separados, para coleta de efluentes químicos/industriais, esgoto sanitário, águas pluviais e, quando pertinente, efluentes líquidos radioativos de processos de descontaminação. Todo efluente químico/industrial, e o efluente radioativo deverão ser coletados, individualmente, e armazenados em tanques na própria instalação. Após análise serão encaminhados para processamento adequado.

Efluentes radioativos serão encaminhados para o Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos Radioativos, como apresentado no item 4.4.4. O efluente químico/industrial será encaminhado para uma estação de tratamento de efluente químico/industrial (ETI). O esgoto sanitário de cada edificação será encaminhado para a respectiva rede de coleta, através da qual será direcionado para uma estação de tratamento de esgoto (ETE). As águas pluviais também serão coletadas através de uma rede apropriada, e encaminhadas diretamente para pontos de descarga a serem selecionados de forma a evitar a ação erosiva no terreno ou dano ao meio ambiente.

A maior quantidade de água utilizada no empreendimento é a água de reposição das torres de refrigeração do reator. A água é aduzida do rio Sorocaba, e encaminhada para uma

Estação de Tratamento de Água. A torre de refrigeração evapora parte da água de resfriamento (80% da vazão) e o restante (20% da vazão) é uma água de purga, efluente líquido, que vai ser tratada numa ETI (Estação de Tratamento de Efluente Industrial). Parte da água tratada na ETI será utilizada como água de reuso do empreendimento, e o excedente retornará ao rio Sorocaba por um duto paralelo ao duto de adução, conforme apresentado no item 4.4.3.2.

A geração de efluentes líquidos e sanitários, bem como águas servidas durante a atividade de construção do empreendimento é proveniente das diversas instalações do canteiro de obras, tais como: garagens, oficinas, sanitários, vestiários, refeitórios, como apresentado no item 4.4.5.

Para caracterizar o efluente líquido é necessário determinar suas características físicas (temperatura, cor, turbidez, presença ou ausência de sólidos, etc.), químicas (pH, alcalinidade, teor de matéria orgânica, etc.) e biológicas (presença de bactérias, protozoários, vírus, etc). As características (físicas, químicas e/ou biológicas) do efluente líquido gerado nas instalações do RMB dependem do tipo de atividade executada nos laboratórios dessas instalações. Ao final do projeto básico e detalhado do empreendimento, haverá uma maior definição sobre a especificidade desses efluentes e suas quantidades. Abaixo estão descritos características gerais que deverão ser observadas no projeto, tendo em conta, no caso dos laboratórios, que a identificação, segregação e retenção deve ocorrer sempre na origem da geração dos efluentes.

#### 4.4.3.4.1.1 Sistema de Gerenciamento

Com relação aos efluentes líquidos gerados no sítio do RMB, os mesmos serão coletados conforme suas características para encaminhamento ao devido tratamento. Esta separação deverá ser feita na origem, sendo as diferentes frações de efluentes líquidos coletadas em recipientes devidamente identificados.

Na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETI) será realizada a triagem e o armazenamento dos efluentes líquidos de todo o empreendimento. Estes efluentes deverão ser classificados, segregados e acondicionados, coletados para armazenamento temporário, transportados, e dada uma destinação final. Deverão ser realizados registro, monitoramento e controle durante as diversas fases mencionadas.

##### a) Classificação

- Efluente líquido gerado no laboratório (geral)

O efluente líquido gerado no laboratório será segregado no próprio local.

Os efluentes líquidos com características inorgânicas serão descartados em recipientes apropriados, devidamente identificados. Quando o recipiente estiver cheio será transportado para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETI), para receber tratamento adequado.

Os efluentes líquidos com características orgânicas serão descartados em recipientes apropriados, devidamente identificados. Quando o recipiente estiver cheio será transportado para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, para receber tratamento adequado.

As águas de lavagens provenientes das pias dos laboratórios serão coletadas e encaminhadas para um tanque de retenção do laboratório, e após análise encaminhada para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETI) ou para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A maior quantidade esperada para efluentes nas instalações é a do reator, conforme apontado no item 4.4.4, e a quantidade esperada dos outros laboratórios do empreendimento é pequena.

Os efluentes oriundos de laboratórios ou áreas sujeitas à contaminação com produtos químicos serão encaminhados para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETI) que deverá possuir um tanque dotado de dispositivo de agitação. Quando este tanque estiver cheio, o sistema desvia o recebimento de efluentes para outro tanque idêntico e disponibiliza o primeiro tanque para tratamento. O operador da estação analisa o efluente contido e dimensiona o tratamento conforme as características daquele lote a ser tratado.

Após a dosagem dos produtos químicos requeridos para a neutralização do efluente, o operador desliga o sistema de agitação e aguarda a sedimentação do lodo dentro do próprio tanque. Na medida em que o lodo for sedimentando, o operador abre válvulas em diferentes alturas e permite a liberação do efluente tratado para o corpo receptor.

O lodo remanescente no fundo do tanque é removido através de filtros prensa. A torta removida dos filtros será acondicionada para posterior disposição final, fora dos limites do empreendimento. Será prevista uma contenção para reter esse lodo em caso de eventuais vazamentos nos tanques de tratamento. A geração mensal de lodo deverá ser estimada quando do projeto detalhado do Empreendimento.

- Efluente líquido gerado no processo de produção de água deionizada (desmineralização)

O empreendimento utiliza nos seus processos do reator (sistemas de refrigeração, piscinas, etc) água deionizada. Esta água é produzida no Prédio Auxiliar do Reator (N16) por um sistema a base de troca iônica. A troca iônica envolve as etapas de deionização, expansão, regeneração e lavagem dos leitos de resinas. Apesar dos efluentes do processo ser produzidos em diferentes etapas e terem diferentes características, o seu direcionamento será para um único ponto, o tanque de neutralização. Dependendo da qualidade do efluente coletado neste tanque poderá ser encaminhado para a ETE ou ETI.

- Efluente líquido gerado em sistemas de resfriamento

A quantidade de efluente líquido gerado depende da quantidade de água a ser purgada, da qualidade da água de reposição e da concentração máxima de sais permitida na água de resfriamento (principalmente cálcio e sílica). A vazão máxima da água de purga é de 21,6 m<sup>3</sup>/h como descrito no item 4.4.3.2.

A estação de tratamento da água de purga da torre de resfriamento consistirá de uma chicana equalizadora onde o efluente será recebido e serão dosados os produtos químicos para ajuste de pH e neutralização de biocidas e outros produtos utilizados no tratamento da água da torre de resfriamento do empreendimento. Eventualmente, pode ser necessária a dosagem de auxiliar de decantação.

Após a homogeneização, o efluente segue para um decantador de onde sai em condições de ser encaminhado para abastecer o sistema de distribuição de água de reuso. O efluente excedente será devolvido ao Rio Sorocaba através de tubulação paralela à tubulação de adução. Este tratamento será dimensionado de maneira que ao final do processo, todas as características requeridas para reutilização ou lançamento no Rio Sorocaba estejam devidamente atendidas.

O lodo que se acumula no fundo do decantador será periodicamente removido através de filtros prensa. A torta removida dos filtros será acondicionada para posterior disposição final, fora dos limites do empreendimento.

- Efluente líquido sanitário e águas servidas

O efluente sanitário e de esgoto de águas servidas serão coletados no empreendimento e direcionados para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) onde será realizado o tratamento microbiológico de efluentes a fim de reduzir a sua carga orgânica. O efluente depois de tratado é direcionado para um sistema de reuso de água de maneira que não haverá devolução de efluente sanitário e de águas servidas para nenhum corpo receptor. O lodo removido do processo microbiológico será destinado para estação de compostagem dentro do próprio Empreendimento.

#### b) Segregação e manuseio

A segregação, ou seja, a separação física dos efluentes líquidos ocorrerá no momento da geração, de modo a evitar a contaminação cruzada.

Os efluentes líquidos dos laboratórios serão segregados de acordo com suas características e incompatibilidades químicas, de forma a evitar a ocorrência de efeitos indesejáveis como fogo e liberação de gases tóxicos, entre outros.

O manuseio de resíduos será realizado de forma segura, com Equipamento de Proteção Individual apropriado.

#### c) Acondicionamento inicial

De maneira geral, serão adotados os seguintes critérios de instalação dos pontos de acondicionamento inicial: (i) Os efluentes líquidos serão coletados e levados diretamente para um depósito com estruturas adequadas para o seu recebimento, a fim de aguardar a destinação final em lugar devidamente licenciado pelo órgão ambiental; (ii) Conforme as condições técnicas oferecidas pela localização da unidade, em que seja inviável a remoção do efluente gerado para o depósito intermediário, poderão ser criados pontos de acúmulos de efluente, devidamente identificados, para posterior transporte e destinação final; (iii) A disposição de todos os resíduos será configurada de modo que não gere acúmulo de água.

#### d) Coleta

A movimentação de efluentes no âmbito interno das instalações deverá ser realizada de maneira cuidadosa, verificando-se, antes da movimentação, as condições da embalagem (pontos de corrosão ou furos em embalagens/ recipientes configurando risco de vazamento ou rompimento) e arrumação da carga (risco de queda e tombamento).

O transporte de efluentes na área das instalações fixas será realizado com a utilização de caminhões basculantes, veículos utilitários, etc., de acordo com o volume, tipo e peso das embalagens.

#### e) Armazenamento temporário

Para o correto armazenamento temporário de resíduos serão observadas todas as recomendações das normas pertinentes, como, por exemplo, a NBR 17505-1 - Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis. Além disso, serão observados os seguintes aspectos: local afastado de curso d'água; sinalizado; fácil acesso, porém restrito; base impermeabilizada; sistema para contenção de líquidos; coberto, porém arejado; dotado de aterramento elétrico; baia de separação.

Todos os compartimentos deverão ser identificados e sinalizados de acordo com a Resolução CONAMA 275/01; o local de armazenamento será operado e mantido de forma a minimizar a possibilidade de fogo, explosão, derramamento ou vazamento dos efluentes que possam constituir ameaça à saúde humana e ao meio ambiente, sendo dotado inclusive de equipamento de combate a incêndio; serão dotados de kit mitigação (Conjunto de tambor de 50 ou 100 l com material absorvente; areia, serragem, palha de arroz ou vermiculita, pá específica e saco para coleta); os resíduos líquidos serão organizados de maneira a não configurar entulhamento; as unidades serão constantemente limpas, desratizada e desinfetada, livre de ações de animais; não será permitido o acúmulo de água.

#### f) Transporte

No caso de transporte externo de efluentes líquidos, será exigida do transportador a observância da Legislação Ambiental e das Normas Técnicas pertinentes ao tipo de efluente, assegurando assim o transporte adequado dos efluentes para o destino correto.

#### 4.4.3.4.2 Efluentes Gasosos

As emissões atmosféricas (efluentes gasosos) restringir-se-ão praticamente àquelas provenientes da combustão do óleo diesel dos motores dos grupos geradores diesel de emergência, que não serão operados continuamente. A geração de particulados, gases e fumaças, isto é de poluentes atmosféricos, durante as obras para a implantação do RMB, advém das operações de tráfego de veículos, especialmente em locais sem pavimentação, e do transporte de material (emissões fugitivas). A construção de prédios gera pó de cimento e de madeira, além de poeiras diversas. Gases como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO, decorrentes da movimentação de veículos e máquinas ligados às obras, também serão gerados temporariamente, em menor proporção.

Os efluentes gasosos constituem-se de resíduos gasosos ou subprodutos de outros resíduos. A eliminação de resíduos gasosos gerados nos laboratórios será realizada em capelas com exaustão e filtros adequados. Equipamentos para controle das emissões atmosféricas/gases e vapores serão instalados. Filtração é um método bastante eficiente para remoção de partículas de um fluxo gasoso. As vantagens do emprego de filtros de tecidos são as seguintes: alta eficiência de coleta, inclusive para partículas finas, resistência à corrosão. Os lavadores de gases podem ser utilizados tanto para remoção de gases e vapores, como para remoção de material particulado. A eficiência do lavador de gás esta ligada ao tipo e forma de contato do gás com o líquido, pois é esse contato que irá permitir a remoção dos contaminantes gasosos.

#### 4.4.3.4.3 Resíduos Sólidos

##### 4.4.3.4.3.1 Fontes de Geração

Os resíduos sólidos serão gerados pelo empreendimento tanto durante suas atividades de construção e operação. Os resíduos sólidos se enquadram, segundo a norma NBR 10.004, nas seguintes classes: Classes I (Resíduo Perigoso), II A (Resíduo Não Perigoso Não-Inerte) e II B (Resíduo Não Perigoso Inerte).

O Quadro 20 que segue apresenta a classificação dos tipos de resíduo a serem gerados na fase de implantação e operação do RMB e suas fontes de geração.

**Quadro 20 - Identificação do tipo de resíduo gerado e respectivas fontes de geração.**

| Tipo  | Fonte de geração                         | Resíduo gerado                                   | Fase                  |
|---|--|--|-----------------------|
| Classe I – Resíduos Perigosos                   | Escritório                               | Lâmpadas fluorescentes, cartuchos de impressoras | Instalação e operação |
|   | Ambulatório                              | Resíduo hospitalar                               | Instalação e operação |
|   | Oficinas de manutenção                   | Materiais contaminados com óleos e lubrificantes | Operação              |
| Classe IIA – Resíduos não perigosos não inertes | Escritório, guarita e portaria           | Papel, metal, plástico                           | Instalação e Operação |
|   | Refeitório                               | Restos de comida, papel, plástico e metal        | Instalação e operação |
|   | Sanitários                               | Papel higiênico e papel toalha                   | Instalação e operação |
|   | Limpeza do solo e supressão de vegetação | Resíduos vegetais (folhas e galhos)              | Instalação            |
|   | Almoxarifado                             | Embalagens de papelão, plástico, papel e madeira | Instalação e operação |
|   | Atividades de forma e desforma           | Madeira  | Instalação            |
| Classe IIB – Resíduos Não Perigosos Inertes     | Atividades de concretagem                | Entulho misto                                    | Instalação            |

##### 4.4.3.4.3.2 Sistema de Gerenciamento

Com relação aos resíduos sólidos comuns gerados no sítio do RMB, os mesmos serão separados conforme sua classificação e depois encaminhado à destinação adequada. Esta

separação poderá ser feita na origem, sendo que, caso isto ocorra, as várias classes de resíduos deverão ser embaladas em recipientes de cores diferentes conforme padronização existente em norma.

No núcleo de logística, no norte do empreendimento, está implantado o prédio de resíduos sólidos, onde será realizada a triagem e o armazenamento dos resíduos de todo o empreendimento, exceto do núcleo de produção e pesquisa.

O gerenciamento dos resíduos sólidos será estruturado em duas fases: construção e operação. No entanto, as etapas a serem seguidas para essas fases são similares, quais sejam:

- Classificação dos resíduos;
- Segregação e acondicionamento inicial;
- Coleta;
- Armazenamento temporário;
- Transporte;
- Destinação final;
- Registro, monitoramento e controle.

### *Classificação*

Os resíduos serão classificados considerando a proposta da NBR 10.004 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, especificamente o disposto no Art. 13 da Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

### *Segregação e acondicionamento inicial*

- Segregação

O descarte de resíduos nas unidades operacionais e administrativas ocorrerá de forma seletiva, obedecendo às características e classes dos resíduos gerados, em contentores coloridos conforme código de cores padronizadas internacionalmente e requeridas pela Resolução CONAMA Nº 275/2001.

A triagem será realizada, preferencialmente, na origem, conforme sua classe, observando ainda que:

- Os resíduos de saúde serão obrigatoriamente segregados na fonte e no momento da geração, de acordo com suas características;
- A segregação, ou seja, a separação física dos resíduos perigosos ocorrerá no momento da geração, de modo a evitar a contaminação cruzada;
  - ✓ Além da separação entre classes, os resíduos perigosos serão segregados de acordo com suas características e incompatibilidades químicas, de forma a evitar a ocorrência de efeitos indesejáveis como fogo e liberação de gases tóxicos, entre outros.
- O manuseio de resíduos será realizado de forma segura, com Equipamento de Proteção Individual apropriado.

- Acondicionamento inicial

De maneira geral, devem ser adotados os seguintes critérios de instalação dos pontos de acondicionamento inicial:

- Os resíduos serão coletados e levados diretamente para um depósito com estruturas adequadas para o recebimento de resíduos, a fim de aguardar a destinação final em lugar devidamente licenciado pelo órgão ambiental.
- Todas as unidades administrativas, operacionais e de manutenção disporão de cestos seletivos e contêineres de resíduos:
  - ✓ Conforme as condições técnicas oferecidas pela localização da unidade, em que seja inviável a remoção do resíduo gerado para o Depósito Intermediário de Resíduos, poderão ser criados pontos de acúmulos de resíduos, devidamente identificados, para posterior transporte e destinação final;
  - ✓ Em condições especiais, materiais como madeiras e ferros em volumes acentuados deverão ser acondicionados em recipientes e coletores com dimensões apropriadas nas unidades até sua remoção, o mais breve possível, diretamente para o destino/tratamento final, locais esses devidamente licenciados por órgão ambiental competente;
  - ✓ A disposição de todos os resíduos será configurada de modo que não gere acúmulo de água.

### *Coleta*

A movimentação de resíduos no âmbito interno das instalações deverá ser realizada de maneira cuidadosa, verificando-se, antes da movimentação, as condições da embalagem (pontos de corrosão ou furos em embalagens/ recipientes configurando risco de vazamento ou rompimento) e arrumação da carga (risco de queda e tombamento).

- O transporte de resíduos na área das instalações fixas será realizado com a utilização de caminhões caçambas, caminhões basculantes, veículos utilitários, etc., de acordo com o volume, tipo e peso dos resíduos.

### *Armazenamento temporário*

Para o correto armazenamento temporário de resíduos serão observadas todas as recomendações das seguintes normas da ABNT, incluindo o uso de equipamentos de proteção e combate a emergências:

- NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos;
- NBR 11174 - Armazenamento de Resíduos Classe IIA - não inertes e Classe IIB - inertes;
- NBR 17505-1 - Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis.
- NBR 12235 - Armazenamento de resíduos perigosos.

Além disso, serão observados os seguintes aspectos:

- Local afastado de curso d'água;
- Sinalizado;
- Fácil acesso, porém restrito;
- Base impermeabilizada;
- Sistema para contenção de líquidos;
- Coberto, porém arejado;
- Dotado de aterramento elétrico;
- Baía de separação dos resíduos sólidos;
- Todos os compartimentos deverão ser identificados e sinalizados de acordo com a Resolução CONAMA 275/01;
- Resíduos incompatíveis deverão ser mantidos em locais separados, com separação sinalizada conforme as cores recomendadas pela CONAMA 275/01;
- As áreas para armazenamento temporário de resíduo classe I (perigosos), classe IIA (não inerte) e classe IIB (inerte), devem ser dimensionadas de acordo com a demanda prevista para cada classe específica;
- Os resíduos especialmente perigosos deverão ser armazenados temporariamente, de forma segura e obedecendo a natureza e a compatibilidade química das substâncias que contêm ou daquelas que lhes deram origem, a fim de evitar ou reduzir os riscos de reações químicas indesejáveis entre resíduos incompatíveis;
- O local de armazenamento será operado e mantido de forma a minimizar a possibilidade de fogo, explosão, derramamento ou vazamento dos resíduos perigosos que possam constituir ameaça à saúde humana e ao meio ambiente, sendo dotado inclusive de equipamento de combate a incêndio;
- Serão dotados de kit mitigação (Conjunto de tambor de 50 ou 100 l com material absorvente; areia, serragem, palha de arroz ou vermiculita, pá específica e saco para coleta dos resíduos);
- Os resíduos serão organizados de maneira a não configurar entulhamento;
- As unidades serão constantemente limpas, desratizada e desinfetada, livre de ações de animais;
- Não será permitido o acúmulo de água junto aos resíduos.

### *Transporte*

No caso de transporte externo de resíduos, será exigida do transportador a observância da Legislação Ambiental e das Normas Técnicas pertinentes ao tipo de resíduo, assegurando assim o transporte adequado dos resíduos para o destino correto.

### *Destinação final*

O RMB, especialmente em sua fase de instalação, irá praticar ações de reuso e reciclagem de materiais, sempre que possível.

A destinação final dos resíduos gerados durante as atividades de construção atenderá a Resolução CONAMA nº 307/02, que classifica os resíduos da obra civil conforme sua destinação final.

- Os resíduos inertes e de demolição deverão ser reutilizados na própria obra;
- Os resíduos comuns gerados nos canteiros de obra serão destinados para aterro sanitário ou para incineração por empresa especializada e licenciada.
- Os resíduos sólidos perigosos Classe I serão enviados para co-processamento/incineração por empresa especializada e licenciada ou aterro industrial licenciado;
- Os resíduos recicláveis serão processados (re-segregados, prensados, enfardados, etc.) de maneira a maximizar o reaproveitamento dos materiais, separando-se a fração de contaminantes que possam causar rejeição do material por parte dos recicladores e diminuindo o volume do material para otimizar os custos com transporte destes materiais.

De maneira geral, será dada atenção especial sobre a possibilidade da reutilização de materiais. Com relação aos resíduos orgânicos provenientes do refeitório, quando da operação do RMB, os mesmos serão encaminhados para a Central de Compostagem, que estará locada no interior do RMB.

Com relação aos lodos gerados nas estações de tratamento (ETA, ETE e ETI), os mesmos serão analisados quanto a sua composição para sua classificação conforme a NBR 10.004. A partir dos resultados será providenciada a destinação final adequada.

Todos os demais resíduos sólidos gerados pelo RMB que não puderem ser reutilizados serão encaminhados para destinação final adequada, conforme características dos mesmos.

#### 4.4.4 QUANTIFICAÇÃO DO TERMO FONTE OPERACIONAL E SISTEMA GERAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E REJEITOS SÓLIDOS RADIOATIVOS

##### **4.4.4.1 Fontes de Geração de Efluentes e Resíduos Sólidos**

A liberação de radionuclídeos de um reator nuclear de pesquisa (termo-fonte) para o meio ambiente depende dos seguintes fatores:

- Inventário dos produtos de fissão e de outros radionuclídeos de interesse presentes no núcleo do reator;
- Fração de radionuclídeos liberada do combustível, bem como a forma física e química das substâncias radioativas liberadas;

- Retenção dos radionuclídeos no Sistema de Resfriamento Primário (SRP);
- Desempenho do confinamento (por exemplo, da taxa de vazamento, eficiência dos filtros, deposição em superfícies, etc.).

A maior fonte de radionuclídeos no Empreendimento RMB é o núcleo do reator, onde os produtos de fissão acumulam-se nos Elementos Combustíveis (EC) durante a operação do reator. Esses radionuclídeos constituem a fonte de contaminação mais importante tanto nos EC no núcleo do reator como nos EC queimados alojados nos cestos da Piscina do Reator (PIR) e da Piscina de Serviço (PIS) no Prédio do Reator (PR), da Piscina de Estocagem dos Combustíveis Queimados (PECQ), e dos cascos de estocagem dos EC queimados na Área de Estocagem de Cascos e Tambores (AECT) no Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens (PECQMI).

Várias barreiras de segurança são utilizadas para impedir a migração dos produtos de fissão para o meio ambiente, como a matriz do combustível e seu revestimento, o inventário de água desmineralizada das diversas piscinas e o confinamento do PR e do PECMII. Também, procedimentos operacionais são observados durante o transporte dos EC queimados pelo canal de transferência dos EC entre as diversas piscinas (PIR, PIS e PECQ) e através de cascos de transporte da PECQ para a AECT.

O revestimento do combustível é projetado para resistir às condições operacionais e as condições de estocagem com uma margem de segurança. Entretanto, no caso de falha de um elemento combustível, ele é armazenado debaixo d'água minimizando um possível espalhamento da contaminação. Tanto um Monitor de Elementos Combustíveis Falhados (MECF) como um Monitor de Líquido Ativo (MLA) estarão disponíveis no PR para detectar EC falhados.

Outras fontes de radiação relevantes são: combustíveis e materiais irradiados nos dispositivos de irradiação; alvos de urânio (miniplacas de urânio-alumínio disperso em alumínio) para produção de Mo-99; e amostras ativadas que são irradiadas em cápsulas especiais projetadas para resistir às condições do núcleo do reator (fluxo de nêutrons e aquecimento gama) assim como os requisitos de transporte (i.e. acelerações do Sistema de Transferência Pneumática entre Prédios - STPP).

Além disso, diferentes componentes no PR poderão conter líquidos ativados e podem ser considerados como fontes de radiação, como, por exemplo, o Tanque do Refletor (TQ1), o Tanque de Decaimento do Nitrogênio (TDN), o Tanque de Armazenagem de Água Pesada (TQ2), o Tanque de Armazenagem das Resinas Exauridas, etc.

Também, componentes ativados removidos do núcleo, tais como barras de controle queimadas, serão armazenados na Piscina de Serviço (PIS) ou na Piscina de Manuseio de Itens Irrradiados (PMII) e gerenciados como rejeito sólido.

Existem várias outras fontes que são capazes de serem dispersas nas piscinas e no SRP, e mais tarde no ar, tais como: a) Produtos de ativação; b) Produtos de corrosão; e c) Produtos de fissão da superfície contaminada do revestimento das placas combustíveis dos EC. As

concentrações dessas fontes na água da piscina são calculadas a partir de sua produção e transporte e comparadas com valores medidos em instalações similares.

Outras fontes de contaminação, de menor importância, são as fontes de calibração empregadas na planta e a fonte de nêutrons utilizada principalmente na primeira partida do reator. Elas têm características de resistência a vazamentos testadas pelos seus fornecedores.

A seguir são descritas genericamente as fontes de efluentes e resíduos radioativos por prédios. Maior precisão de informação será obtida nos relatórios de Segurança (RPAS-relatório Preliminar de Análise de Segurança, e RFAS - Relatório Final de Análise de Segurança) após finalização dos projetos básico e executivo do Empreendimento.

#### 4.4.4.1.1 Prédio do Reator

O gerenciamento de rejeitos no Prédio do Reator (PR – N01) deverá garantir a segurança do trabalhador envolvido nas atividades, do público em geral, e a minimização do impacto ambiental potencial. O PR deverá ter meios para monitorar, amostrar, controlar, segregar e classificar os rejeitos radioativos e não radioativos. A segregação e a classificação do rejeito serão desenvolvidas de acordo com procedimentos estabelecidos e em documentos da qualidade apropriados para a operação com rejeitos.

Na segregação e classificação, os seguintes itens serão observados: 1) Separação de áreas de acordo com o risco potencial de contaminação; 2) Drenos, redes e vasos para segregação de líquidos; 3) Ventilação dedicada ou sistemas de remoção para as áreas onde gases são produzidos; 4) Vasos e procedimentos para segregação de rejeitos sólidos; 5) Áreas dedicadas para segregação de sólidos e classificação dos rejeitos.

A geração de rejeitos será considerada a partir da etapa de projeto, através da seleção de materiais apropriados, levando em consideração todos os possíveis caminhos da geração de rejeitos e fornecendo todas as instalações necessárias para o gerenciamento. Controles técnicos e administrativos serão utilizados para reduzir o volume e a atividade do rejeito gerado.

A partida, operação e manutenção de todos os sistemas do PR atenderão aos princípios da redução dos rejeitos, estabelecendo controles rigorosos e procedimentos para as operações dentro do saguão do reator e a minimização da geração de água contaminada.

Os princípios da redução de rejeitos incluem a segregação de rejeitos na fonte, limitação das áreas onde as operações com materiais radioativos são conduzidas, limitação da contaminação em cada área e recuperação de itens para reutilização quando apropriado.

Nas operações de manutenção, a água das tubulações do SRP, piscinas e sistemas relacionados será armazenada para reaproveitamento.

Monitores ambientais serão fornecidos nas áreas onde gases radioativos são gerados. Alarmes de alta atividade nestes monitores iniciarão ações para minimizar as emissões.

As possíveis fontes de rejeitos sólidos no PR são: a) cápsulas de alvos irradiados; b) dispositivos de irradiação e componentes utilizados no reator; c) barras absorvedoras de nêutrons; d) rejeitos do Sistema de Ventilação (SV) (filtros, filtros HEPA e peneiras moleculares); e) materiais de limpeza e itens de proteção individual do pessoal; f) resinas de troca iônica exauridas; h) itens de processos contaminados; i) rejeitos gerais (não radioativos).

As possíveis fontes de rejeitos radioativos líquidos são: a) rejeito líquido do Sistema de Produção de Água Desmineralizada (SPAD); b) líquido dos drenos do Sistema de Água de Ventilação c) água desmineralizada, considerada rejeito, e recuperada da drenagem de grandes equipamentos em operações de manutenção; d) bacias de água e líquidos de chuveiros; e) líquidos da drenagem dos pisos; f) líquidos provenientes de um improvável Acidente de Perda de Refrigerante Primário (APRP).

Os rejeitos gasosos consistem de efluentes de material em suspensão no PR. Esses gases são produzidos por diferentes fontes: a) elementos radioativos gasosos ou compostos das piscinas, sistemas de refrigeração, instalações de irradiação e instalações experimentais; b) elementos radioativos dos materiais em suspensão produzidos em áreas de descontaminação.

A geração estimada por ano de operação de rejeitos sólidos e líquidos e emissões de materiais em suspensão durante a fase de operação do reator é fornecida abaixo. Os valores anuais são estimativos da utilização antecipada da instalação e foram baseados em valores do Reator OPAL utilizado como base para referência de reator de pesquisa assemelhado./colocar referência do RAS do OPAL/ Valores definitivos serão obtidos após o fechamento do projeto executivo do Empreendimento e apresentados no RFAS.

#### a) Rejeitos sólidos

- I. Rejeito sólido compactável de baixa atividade: aproximadamente 5 m<sup>3</sup> antes da compactação (papel toalha, lenço de papel, panos, esfregões, luvas plásticas, roupas, frascos e tubos plásticos, etc.);
- II. Rejeito sólido não compactável de baixa atividade: aproximadamente 1 m<sup>3</sup> (componentes de alumínio ativados e cápsulas, amostras sólidas ativadas, itens contaminados do reator);
- III. Rejeito sólido não compactável de média atividade: aproximadamente um recipiente de 72 litros (componentes de metal ativados);
- IV. Filtros: Aproximadamente 90 filtros HEPA, 3 filtros de carvão ativado e 4 peneiras moleculares por ano, equivalente a cerca de 10 m<sup>3</sup> de rejeito de baixa atividade;
- V. Resinas de troca iônica: 8 litros do Circuito de Purificação e Resfriamento do Refletor (CPR). O Sistema de Purificação do Refrigerante Primário (SPRP) e o Sistema de Camada de Água Quente e Purificação (SCAQP) produzem cerca de 1100 Kg de resinas de troca iônica exauridas por ano.

- b) Rejeitos Líquidos
  - I. Aproximadamente 2.800 m<sup>3</sup> (drenagem em áreas controladas e saguão do PR e do Prédio de Sistemas Auxiliares - PSA);
  - II. Rejeitos Líquidos de Baixa Atividade: aproximadamente 150 m<sup>3</sup> (drenagem de rejeitos líquidos ativos);
  - III. Outros: 400 litros de óleo e menos de um litro de água tritiada.
- c) Rejeitos gasosos
  - I. Argônio-41: aproximadamente 4 TBq por ano;
  - II. Xenônio e criptônio: 0,6 TBq por ano;
  - III. Trítio: 37 GBq por ano.

Todos os rejeitos radioativos gerados, tratados, armazenados e transferidos de dentro do PR (N01) para o Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos (PTER – N10) serão rastreáveis. Todos os rejeitos radioativos serão identificados por um registro associado que identifica a fonte do rejeito, seu tipo, volume e principais radionuclídeos.

Os rejeitos enviados do PR para o PTER estarão de acordo com as diretrizes de segurança do RMB para movimentação e transporte seguro de materiais radioativos.

#### 4.4.4.1.1.1 Gerenciamento de Rejeitos Sólidos no Prédio do Reator

O rejeito sólido será separado na fonte e todos os procedimentos necessários e as medidas de redução de rejeitos serão seguidas rigorosamente para minimizar este tipo de rejeito.

Os rejeitos sólidos serão separados em:

- a) Sólidos não radioativos;
- b) Rejeito sólido de baixa atividade;
- c) Rejeito sólido de média atividade.

Os sólidos não radioativos serão processados através de um sistema de identificação de rejeitos no RMB antes de serem liberados para fora do sítio do RMB de acordo com procedimentos do gerenciamento de rejeitos.

Os rejeitos de baixa atividade serão armazenados temporariamente até serem transferidos para o PTER. O rejeito sólido será selado e colocado em tambores que serão etiquetados para fornecer a identificação da origem do rejeito, a taxa de dose e a quantidade de material radioativo a ser transportado para o PTER.

O rejeito sólido de média atividade será armazenado na Piscina de Serviço (PIS) do PR ou na PMII do PECMII onde uma instalação de corte estará disponível para cortar itens grandes em pequenos pedaços para um armazenamento mais eficiente. Os rejeitos sólidos de média atividade e de longa vida serão transferidos para o PTER em recipientes blindados para tratamento e armazenagem.

### *Rejeitos Sólidos - Itens Específicos*

- Cápsulas de Diferentes Materiais

Cápsulas de diferentes materiais serão irradiadas nas instalações de irradiação pneumáticas no PR. Os tipos mais comuns são de alumínio de alta pureza, alumínio de alta pureza com revestimento de cádmio, polietileno de alta pureza e titânio. As cápsulas de titânio e as cápsulas revestidas de cádmio são 100% recicláveis. As cápsulas de polietileno não são reutilizadas e tornam-se rejeitos sólidos de baixa atividade. As cápsulas de alumínio são reutilizadas por um número limitado de vezes e sofrem descontaminação antes de serem reutilizadas. Quando necessário, as cápsulas irradiadas serão abertas e descontaminadas no Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes (PPRPF).

- Dispositivos de Irradiação

Existirão vários dispositivos de irradiação no Prédio do Reator. Os termopares descartados e outros materiais serão armazenados na PIS ou na PMII até que sejam removidos para o PTER, possivelmente em caixas de alumínio de 72 litros, usando um casco de transferência blindado.

No caso dos dispositivos de irradiação danificados, eles serão desmontados e transferidos para a PIS ou para a PMII. Após decaimento, eles serão cortados com uma ferramenta de corte e removidos no mesmo tipo de recipiente acima para o PTER.

- Guias de Feixe de Nêutrons

Os tubos guias dos feixes de nêutrons serão substituídos a cada dez anos e estima-se que serão rejeitos sólidos de média atividade. Existirá uma área de armazenamento de concreto pesado, dentro do prédio do reator, onde os tubos guias dos feixes de nêutrons serão armazenados durante a vida do reator. Eles serão removidos e transferidos para esta área de armazenagem por meio de um casco de transferência móvel especialmente projetado para este procedimento.

- Fonte de Nêutrons Frios

Um contêiner a vácuo e um conjunto mecânico constituem a Fonte de Nêutrons Frios (FNF) que pode ser construída de alumínio e aço inoxidável. O alumínio é degradado pela radiação de forma que o conjunto mecânico deve ser substituído a cada 10 anos aproximadamente. Uma vez removido, seus componentes podem ser armazenados na PIS ou na PMII para decaimento. Dois conjuntos de cápsulas podem ser armazenados totalizando um decaimento de 20 anos antes da disposição final. A seção de alumínio pode ser cortada debaixo d'água (na instalação de redução de volume) e separada da parte de aço inoxidável. Essas partes podem ser cortadas mais tarde em seções menores para caber na caixa de alumínio. O Co-60 pode estar presente nos componentes de aço e de alumínio, de forma que eles constituem rejeitos sólidos de média atividade após 10 anos de

decaimento. Os filtros de carvão para purificação do óleo nos circuitos da FNF deverão ser substituídos a cada 3-4 anos. O volume estimado é de 400 litros.

#### *Instalações de Rejeitos na PIS*

A PIS terá instalações que permitem armazenar os seguintes itens:

- a) Elementos Combustíveis queimados (quantidade equivalente a 10 anos de operação do reator);
- b) Dispositivos de irradiação danificados e dispositivos de irradiação substituídos para decaimento radioativo por um ano;
- c) Instalações para corte e redução de tamanho;
- d) Espaço suficiente para armazenar pelo menos uma caixa de alumínio de 72 litros para armazenagem e remoção de rejeitos sólidos de atividade média usando um casco de transferência blindado.

#### *Barras Absorvedoras de Nêutrons*

Todas as barras absorvedoras de nêutrons serão substituídas a cada 10 anos aproximadamente. As barras absorvedoras são de Ag-In-Cd. Quando as barras estão queimadas, elas são removidas e armazenadas na PIS ou na PMII em posições projetadas para contê-las. Quando os níveis de atividade das barras absorvedoras de nêutrons diminuem a valores aceitáveis para transporte por cascos de transferência, as barras de controle são cortadas na PIS ou na PMII com uma ferramenta de corte e colocadas na caixa de alumínio para transferência para o PTER.

#### *Células Quentes*

Nenhuma produção de rejeito é esperada nas células quentes em operação normal no PR, uma vez que elas são utilizadas apenas para carregar e descarregar as amostras radioativas ou as miniplacas combustíveis para a produção de molibdênio, que são, então, transferidas para outros laboratórios fora do PR.

#### *Rejeitos do Sistema de Ventilação*

Os filtros HEPA são utilizados para minimizar a emissão de efluentes gasosos. Os filtros são substituídos rotineiramente e estes filtros usados contêm baixos níveis de radioatividade e são classificados como rejeitos de baixa atividade.

Os filtros de carvão ativados são utilizados principalmente nas instalações que produzem materiais em suspensão radioativos. Os filtros de carvão ativados para retenção de iodo consistem de carcaças, da mesma dimensão que os filtros HEPA, construídas em aço inoxidável que podem ser reutilizadas.

### *Materiais de Limpeza*

Os materiais de limpeza e itens de proteção individual serão rejeitos de baixa atividade que serão colocados em recipientes etiquetados e transferidos para o PTER.

### *Resinas Exauridas*

As resinas de troca iônica são usadas para manter a qualidade da água nos sistemas do reator. Quando as resinas esgotam a sua capacidade de troca, elas têm que ser substituídas. Existem dois tanques para armazenar resinas exauridas do Sistema de Purificação do Refrigerante Primário (SPRP) e do Sistema de Camada de Água Quente e Purificação (SCAQP). Estes tanques permitem o decaimento da atividade das resinas antes que elas sejam transferidas do PR. A utilização de dois tanques permite a segregação do rejeito gerado como exigido pelas operações com rejeito. Os tanques são blindados (proteção radiológica) por paredes e teto de concreto.

O descarregamento das colunas é feito através da circulação de água em qualquer dos tanques de armazenagem disponíveis. A água que flui do Sistema de Armazenagem e Manuseio de Resinas Exauridas (SAMRE) conduzem as resinas para o tanque. Essa circulação é proporcionada por uma bomba centrífuga até que toda carga da resina exaurida seja mantida no tanque para decaimento radioativo. Para isso, um controle lógico atua sobre as válvulas para permitir um fluxo da coluna desejado para o tanque de armazenamento selecionado. As válvulas que atuam são fornecidas com intertravamentos e alarmes para indicar a sua operação correta.

O mesmo processo também se aplica para descarga das resinas após decaimento. As resinas exauridas após decaimento são transferidas a tanques blindados móveis para posterior transferência ao PTER para condicionamento e armazenagem. A contagem do número de resinas exauridas é conduzida por meio de um registrador de descargas nos tanques.

O PR será também guarnecido com um Sistema de Manuseio de Resinas que manipulam as resinas exauridas do Circuito de Purificação do Refletor (CPR). Os leitos de resinas do CPR são recipientes removíveis. O sistema tem dois leitos, de forma que, quando a substituição é exigida, um dos leitos está em operação enquanto o outro decai. Após um tempo de decaimento adequado, o leito pode ser removido e levado para a sala de armazenagem seca por mais um ano.

#### 4.4.4.1.2 Gerenciamento de Rejeitos Líquidos

O PR é projetado para minimizar a produção de rejeitos líquidos. Sistemas coletores permitem a segregação do rejeito líquido de acordo com o nível de atividade.

A maioria dos rejeitos líquidos gerados no PR é rejeito de baixa atividade e aceitável para descarregamento através da linha de baixa atividade para tratamento posterior no PTER.

Um vazamento de água pesada é improvável pelo projeto do Sistema de Água Pesada (SAP). Os efluentes contendo água pesada, que provavelmente contém trítio, são coletados separados dos outros líquidos, armazenados e transferidos separadamente para o PTER. O volume esperado durante operação normal é pequeno.

Um monitor de vazão de rejeitos líquidos é instalado nos tanques de armazenagem de rejeitos líquidos temporários no PR. Ele monitora a atividade do líquido que chega aos tanques. O registro é automático e o sinal é transmitido para um sistema de armazenamento de dados centralizado junto com a data, a hora e a atividade. O sistema permite a detecção de qualquer descarga que exceda os limites admissíveis para uma determinada linha e permitirá ao operador efetuar uma ação corretiva imediata.

#### *Quantificação do Rejeito Radioativo Líquido*

A descarga total de rejeitos líquidos no PR é da ordem de 3.000 m<sup>3</sup>/ano. Esse volume inclui os rejeitos radioativos de baixa atividade e os rejeitos líquidos não radioativos que é o de maior volume.

#### *Descrição do Sistema de Coleta*

O gerenciamento dos rejeitos líquidos trata todos os efluentes líquidos ativos ou potencialmente ativos, água de drenagem, água de drenagem de APRP ou água de reposição geradas nas piscinas ou em qualquer lugar dentro do PR.

O conceito básico a ser adotado pelo projeto será a separação dos efluentes líquidos a serem descartados em três correntes:

- a) Rejeito líquido potencialmente radioativo;
- b) Rejeito líquido de baixa atividade;
- c) Esgotos (para a rede de coleta do Empreendimento).

Além disso, existirá duas outras redes coletoras e retentoras de líquidos adicionais.

- a) Água desmineralizada, recuperada da drenagem de grandes equipamentos nas operações de manutenção;
  - b) Água derramada em um evento de APRP.
- Linha de Rejeitos Líquidos Potencialmente Radioativos

Os rejeitos líquidos de drenos são normalmente não radioativos. Entretanto, desde que eles estão dentro de áreas controladas, podem conter alguma radioatividade. Então, eles são drenados através de uma rede individual e coletados em um tanque de rejeito líquido potencialmente radioativo. Essa linha coleta efluentes com atividades menores do que ou igual aquelas permitidas pelo critério de atividade desta linha para posterior entrega a uma planta de tratamento líquido no PTER.

Os drenos de pisos têm ralos que não armazenam líquidos e estão conectados a rede de coleta. Os drenos localizados dentro das áreas de processo são geralmente fechados e podem ser abertos quando necessário.

A rede coleta líquidos dos seguintes drenos:

- a) Drenos de equipamentos com qualidade de água compatível com os valores admitidos na linha de líquidos potencialmente radioativos;
  - b) Drenos de ventiladores;
  - c) Drenos do piso (abertos manualmente quando necessário);
  - d) Drenos das lavagens de mãos;
  - e) Drenos de chuveiros de emergência.
- Linha de Rejeitos Líquidos de Baixa Atividade

Essa linha coleta rejeito líquido de baixa atividade que inclui:

- a) Drenos dos equipamentos de descontaminação;
- b) Descarga de retrolavagem de filtros;
- c) Água das piscinas coletadas em drenos de equipamentos de processo;
- d) Coleta de vazamentos das piscinas.

Os tanques coletores de rejeitos líquidos potencialmente radioativos e de baixa atividade terão detectores de atividade gama on-line que monitorarão a vazão de entrada, mantendo registros do tempo e da atividade descarregada.

- Coleta da Água da Piscina do Reator

Durante períodos de manutenção, a água de refrigeração pode ser descarregada na Piscina de Recarga. A superfície desta piscina é mantida limpa durante todo o tempo de forma a não degradar a qualidade da água que retornará ao sistema. Desde que a água é reciclada para a PIR e para a PIS, ela não é considerada rejeito líquido.

- Drenagem Durante um APRP

O sistema de emergência para coleta de água quando da ocorrência de um Acidente de Perda de Refrigerante Primário (APRP) estará localizado dentro do PR. O sistema será projetado para minimizar os efeitos provocados pela inundação da área. A água é conduzida para a Piscina de APRP. Caso este volume não seja suficiente, ocorre um transbordamento para a Piscina de Recarga que aumenta a capacidade de reter o líquido derramado. A prática normal é manter as piscinas no nível mais baixo possível. A água coletada em uma emergência, como num APRP, é reciclada. Essa água não é rejeito líquido desde que não é descarregada.

- Sala da Água Pesada

A Sala da Água Pesada é projetada para conter qualquer vazamento de água pesada. O piso da área é projetado como uma piscina, coletando todo o volume de água pesada no caso de derramamento de líquido acidental. Os drenos do piso, conectados a duas tubulações de drenagem, conduzem o líquido derramado para o Tanque de Armazenagem da Água Pesada (TQ2). Durante operação, o Tanque do Refletor (TQ1) é mantido a uma pressão que na hipótese de um vazamento hipotético a água leve entra no sistema refletor.

As amostragens de água pesada são conduzidas por um sistema especialmente projetado que impede vazamentos de líquidos e gases. Esse sistema tem uma bomba de vácuo capaz de condensar e resfriar a água pesada contida na forma gasosa, retornando-a para o TQ2.

- Critérios para Descarga de Rejeitos Líquidos

O critério de descarga para as linhas de rejeito líquido potencialmente radioativo e para a linha de rejeito líquido de baixa atividade serão especificados por normas de gerenciamento de rejeitos. Serão definidos os limites de radioatividade a serem descarregados nas duas linhas e estabelecidos os níveis mais altos de atividade a serem descarregados com aprovação escrita. Exemplos de parâmetros estabelecidos para a liberação de rejeitos líquidos de baixa atividade são:

- Atividade Beta (incluindo trítio) = 1 MBq por dia;
- Atividade alfa= 50 KBq por dia.

As quantidades de radioatividade que podem ser descarregadas na linha de rejeito líquido potencialmente ativo podem ser limitadas a um décimo daquelas listadas acima para a linha de rejeito líquido de baixa atividade.

Normalmente, a vazão de efluentes de rejeitos líquidos não radioativos e de rejeitos líquidos de baixa atividade será medida on-line e, independentemente, por um monitor de radiação gama na entrada dos tanques de armazenagem correspondentes. Se são detectados líquidos que podem potencialmente exceder os limites permitidos, eles serão gerenciados por um conjunto de válvulas que os desconectam da linha.

Adicionalmente, os detectores dedicados do Monitor de Efluentes Líquidos (MEL) medem a atividade dos líquidos que são descarregados dos dois tanques de armazenagem para a instalação de tratamento de rejeitos líquidos no PTER. O MEL possuirá sinais de alarme local e remoto que comandará o fechamento da conexão entre os tanques e a instalação de tratamento quando a atividade ultrapassa valores limites pré estabelecidos. Na instalação de tratamento no PTER, após ser tratada, a água é mantida em tanques de espera e analisada quando a sua radioatividade e outros contaminantes. Após atender a critérios de descarga estabelecidos, a água é descarregada no sistema de esgoto.

- Fontes de Nêutrons Frios (FNF)

É estimado que, após 10 anos de operação contínua,  $7,4 \times 10^{11}$  Bq de trítio estarão presentes no circuito de deutério da Fonte de Nêutrons Frios (FNF). Para manipular esse deutério, será fornecida uma conexão com um circuito de recombinação de deutério. As massas envolvidas são tais que, após recombinação, a atividade estimada, por exemplo, para o reator OPAL será contida em cerca de 80 litros de água pesada.

#### 4.4.4.1.1.3 Gerenciamento de Rejeitos Gasosos

As áreas onde o rejeito radiativo gasoso é gerado durante operação normal terão filtragem absoluta e, onde aplicável, filtros de carvão ativado nos pontos de saída da ventilação.

Os gases serão coletados principalmente em três áreas:

- a) Saguão do Reator e Sala de Processos (do confinamento);
- b) Sala da Água Pesada;
- c) Outras áreas controladas.

A Sala da Água Pesada e as células quentes acima das piscinas possuem sistemas de monitoração e ventilação próprios, descarregando na chaminé do PR.

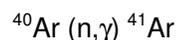
A monitoração de efluentes gasosos permite a medida on-line de materiais em suspensão, trítio, gases nobres e concentrações de iodo na chaminé do PR, assim como a espectrometria gama dos efluentes. Se as concentrações máximas estabelecidas são excedidas, o confinamento é isolado pelo Sistema de Proteção do Reator (SPR). Monitores na chaminé e nas áreas fornecem uma monitoração contínua dos rejeitos de materiais particulados gerados.

#### *Quantificação do Rejeito Gasoso*

Os itens a seguir apresentam os rejeitos gasosos produzidos pelo reator:

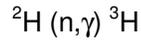
- a) Argônio-41 e outros gases nobres (isótopos de criptônio e xenônio);
- b) Trítio e vapor d'água tritiada;
- c) Material em suspensão (aerossóis);
- d) Iodo.

O argônio-41 é produzido do argônio-40, constituinte do ar atmosférico (nitrogênio, oxigênio, argônio) dissolvido na água da piscina, que é ativada pela seguinte reação:



Pequenas quantidades de iodo radioativo e gases nobres poderão ser produzidos como produtos de fissão na água da PIR devido a pequenas quantidades de contaminação superficial pelo urânio no revestimento das placas combustíveis.

O trítio é gerado pela ativação do deutério presente na água pesada, tanto no refletor como na Fonte de Nêutrons Frios (FNF). A reação de ativação é:



### *Descrição do Sistema de Rejeitos Gasosos*

O PR é dividido em várias zonas de acordo com o perigo potencial de contaminação do ar. Essas salas com potencial para geração de rejeito gasoso têm critérios para renovação de ar e purificação através de filtros. O fluxo de ar é direcionado de áreas com menores riscos de contaminação para áreas com maiores riscos de contaminação.

Nas salas onde não é necessário o acesso de pessoal durante a operação, o ar é confinado ou as salas são submetidas a um tratamento localizado independente, como, por exemplo, a Sala da Água Pesada.

A radioatividade no ar produzida em áreas dentro do confinamento será extraída pelo Sistema de Ventilação (SV) por meio de ventiladores de exaustão. O ar exaurido passa através de filtros HEPA que retêm as partículas maiores do que 0,3 µm com uma eficiência de 99,95% e é liberado através da chaminé. Se o Sistema do Monitor de Efluentes Gasosos (MEG) detecta a presença de iodo radioativo na chaminé, o gás é tratado após circular através de filtros para absorver iodo.

Monitores para detecção da radiação gama estão localizados em pontos radiológicos representativos do PR. Este sistema alarma localmente se os valores de atividade são excedidos.

Há uma monitoração de trítio com detectores fixos para medição constante da concentração de trítio na Sala da Água Pesada e alarmes se os limites são excedidos. O sistema é complementado com alarmes portáteis.

Para reduzir a produção de Ar-41, os sistemas de transferência e refrigeração dos alvos são sistemas fechados que usam nitrogênio tanto para os sistemas pneumáticos quanto para a refrigeração dos alvos. Além disso, os dispositivos de carregamento e descarregamento de alvos tem nitrogênio para reduzir a entrada de ar no sistema.

O Ar-41 produzido no reator aparece principalmente da ativação do argônio dissolvido na água que circula através do núcleo do reator. A água é impedida de manter contato com a atmosfera do confinamento pela camada de água quente.

No reator OPAL, foi estimado que a emissão de Ar-41 não excederá 4,23 Tbq por ano. O sistema de monitoração de efluentes gasosos tem alarme para alta atividade e registro on-line das atividades emitidas.

### *Trítio e a Sala da Água Pesada*

As instalações para o Circuito Primário de Resfriamento da Água Pesada (CPRAP) e a Caixa de luvas para manipulação de trítio, incluindo a área, o equipamento e as condições de operação são consistentes com a aplicação do princípio ALARA.

Durante operação, o Tanque do Refletor (TQ1) é mantido a uma pressão mais baixa de forma que vazamentos levariam a água leve a penetrar no TQ1 em vez da água pesada entrar na PIR. O Circuito de Purificação do Refletor (CPR) possui suas juntas soldadas e será submetido a testes de vazamento com gás hélio antes do comissionamento. Ele é refrigerado pelo Circuito Intermediário de Resfriamento da Água Pesada (CIRAP), que por sua vez é refrigerado pelo Sistema de Resfriamento Secundário (SRS). O TQ1 tem bomba de vácuo para remover a água e secar o tanque e as tubulações antes de trabalhos de reparos. A água removida é transferida para o Tanque de Armazenagem da Água Pesada (TQ2).

O deutério gerado através da radiólise é minimizado através da circulação do gás de cobertura por um recombinador catalítico, que transforma o deutério em água pesada que retorna ao sistema.

A área da água pesada é vedada, opera a uma pressão abaixo das áreas que a envolvem e tem um monitor de área para trítio.

O sistema moderador da FNF é projetado com requisitos de alta vedação. Uma cobertura ou uma barreira dupla com uma manta de hélio e nitrogênio permite detecção de vazamentos de deutério.

A área dedicada para o Sistema de Purificação e Resfriamento da Água Pesada, projetada para evitar a liberação de trítio no meio ambiente, tem um sistema de ventilação dedicado que retém o trítio e o ar direcionado para o Sistema de Ventilação do PR. Em operação normal, a área descarrega através da chaminé somente o que vaza do fluxo de ar da Sala da Água Pesada, enquanto a presença de trítio e a atividade no ar dentro da sala é monitorada constantemente através de um monitor de trítio, que se reporta ao Sistema de Monitoração e Controle (SMC) do reator.

O circuito de ventilação é fechado periodicamente, formando um circuito fechado que circula o ar para reter o trítio presente no ar. O trítio como água é retido parcialmente no sistema de condensação e no resto dos filtros. A concentração de trítio na Sala da Água Pesada varia na forma de uma curva dente de serra após um ano, enquanto sua liberação através da chaminé é limitada pelo número de ciclos de purificação no circuito fechado em um ano.

Peneiras moleculares são tratadas como rejeitos sólidos de meia-vida e enviados para o PTER. A atividade específica mais alta esperada para o trítio nas peneiras moleculares é 3,7 MBq/g quando a atividade específica de água pesada é de 370 GBq Kg<sup>-1</sup>.

Os sistemas de ventilação que manipulam trítio na instalação são projetados para manter os níveis de trítio abaixo de valores limites estabelecidos com base em norma. A emissão anual estimada de trítio deve ser baseada nos períodos de operação e manutenção do Sistema da Água Pesada (SAP). O valor real deverá ser determinado quando a experiência operacional estiver definida em um número de anos.

#### 4.4.4.1.1.4 Inventário de Radionuclídeos

A Tabela 7 apresenta os radioisótopos relevantes contidos em um elemento combustível de  $U_3Si_2-Al$  com uma densidade de  $4,8 \text{ gU/cm}^3$  imediatamente após atingir 50% de queima em operação no núcleo do RMB. Estes valores são calculados com o código ORIGEN, para as características de fluxo neutrônico médio do núcleo do reator. A potência de operação utilizada foi de 30 MW. Desde que o inventário foi obtido para um elemento combustível do RMB, ele pode ser utilizado como base para os cálculos de operação normal do reator. É estimado um consumo anual de 60 elementos combustíveis e de 3000 elementos combustíveis ao longo de 50 anos de operação.

Como visto nos itens anteriores, existem várias fontes que são capazes de serem dispersas nas piscinas e no SRP, e mais tarde no ar, tais como: a) Produtos de ativação; b) Produtos de corrosão; e c) Produtos de fissão da superfície contaminada do revestimento das varetas combustíveis dos EC. A concentração dessas fontes na água da piscina são calculadas a partir de sua produção e transporte e comparadas com valores medidos em instalações similares.

Em virtude da não haver ainda dados finais sobre o termo fonte do RMB em condições de operação normal para os produtos de ativação (projeto básico ainda em andamento), a estimativa do termo fonte radioativo, para operação normal, foi baseada nos dados do reator OPAL. Como esse reator funciona a uma potência de 20 MW e o RMB deverá funcionar até uma potência de 30 MW, foi assumido que os valores da concentração de radionuclídeos na PIR (Tabela 8) e os valores postulados liberados anualmente pela chaminé (termofonte) (Tabela 9) são os valores do reator OPAL multiplicados por um fator igual a 1,5 de forma a se levar em conta a diferença das potências de operação de cada reator nuclear de pesquisa.

A Tabela 8 contém os nuclídeos relevantes para a liberação por evaporação da superfície da piscina do reator e não contém outros radionuclídeos, como o Na-24 e o N-16. A principal questão radiológica com o N-16 está relacionada com a radiação direta desde que ele é um isótopo de meia vida muito curta e não é liberado no ar. Os cálculos para o N-16 visam obter a sua concentração em vários pontos do SRP para estimar o tamanho do Tanque de Decaimento do Nitrogênio (TDN) assim como a blindagem da sala que contém esse tanque. Também de relevância é o Ar-41 produzido por ativação neutrônica do ar. Esse isótopo é minimizado evitando a presença do ar em áreas com fluxos de nêutrons relevantes, tais como os sistemas pneumáticos que serão movimentados por gás nitrogênio, mas sua atividade é obtida através da ativação do ar dissolvido na água da PIR.

Cálculos adicionais são feitos para determinar a concentração nos componentes da água pesada. O trítio produzido no TQ1 pela ativação do deutério pode ser liberado para a Sala da Água Pesada através de perdas na água durante atividades de manutenção. Como visto, anteriormente, as características da sala, o projeto do sistema e os aspectos de construção garantem que as liberações de trítio serão desprezíveis.

Outros líquidos ou fontes gasosas que podem dispersar produtos radioativos no ambiente são controlados por meio de drenos e pelo Sistema de Ventilação (SV).

**Tabela 7 - Inventário dos Nuclídeos no Elemento Combustível do RMB imediatamente Após Atingir uma Queima de 50% na operação a 30 MW.**

| Nuclídeo | Concentração (átomos/barn.cm) | Meia-Vida     | Atividade (Bq) |
|----------|-------------------------------|---------------|----------------|
| H-1      | 8,74827E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| H-2      | 3,36683E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| H-3      | 2,65480E-12                   | 1,23300E+01 a | 2,4217E+06     |
| He-3     | 4,00369E-15                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| He-4     | 1,51645E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Al-27    | 3,61485E-02                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| He-4     | 1,62316E-06                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Th-230   | 2,14942E-11                   | 7,53800E+04 a | 3,2072E+08     |
| Th-232   | 1,22197E-12                   | 1,40500E+10 a | 9,7824E-04     |
| Pa-231   | 2,48422E-12                   | 3,27600E+04 a | 8,5291E+07     |
| Pa-233   | 1,28656E-13                   | 2,69670E+01 d | 1,9600E+12     |
| U-232    | 1,39005E-12                   | 6,89000E+01 a | 2,2692E+05     |
| U-233    | 8,17239E-11                   | 1,59200E+05 a | 5,7739E+08     |
| U-234    | 1,81249E-05                   | 2,45500E+05 a | 8,3039E+08     |
| U-235    | 1,14870E-03                   | 7,03800E+08 a | 1,8358E+07     |
| U-236    | 1,88778E-04                   | 2,34200E+07 a | 9,0661E+07     |
| U-237    | 8,28552E-07                   | 6,75000E+00 d | 5,0427E+14     |
| U-238    | 8,98258E-03                   | 4,46800E+09 a | 2,2612E+07     |
| Np-237   | 5,76604E-06                   | 2,14400E+06 a | 3,0249E+07     |
| Pu-236   | 2,43451E-12                   | 2,85800E+00 a | 9,5809E+06     |
| Pu-237   | 1,02086E-12                   | 4,52000E+01 d | 9,2785E+07     |
| Pu-238   | 5,73377E-07                   | 8,77000E+01 a | 7,3536E+10     |
| Pu-239   | 7,06449E-05                   | 2,41100E+04 a | 3,2957E+10     |
| Pu-240   | 1,43812E-05                   | 6,56400E+03 a | 2,4643E+10     |
| Pu-241   | 6,92676E-06                   | 1,43500E+01 a | 5,4292E+12     |
| Pu-242   | 1,03718E-06                   | 3,73300E+05 a | 3,1250E+07     |
| Pu-243   | 6,72491E                      | 4,95600E+00 h | 1,3379E+13     |
| Pu-244   | 2,10242E-11                   | 8,00000E+07 y | 2,9559E+00     |
| Am-241   | 3,31017E-08                   | 4,32200E+02 a | 8,6144E+08     |
| Am-242m  | 4,67934E-10                   | 1,41000E+02 a | 3,7327E+07     |
| Am-243   | 6,46445E-08                   | 7,37000E+03 a | 9,8656E+07     |
| Cm-242   | 5,60927E-09                   | 1,62800E+02 d | 1,4155E+11     |
| Cm-243   | 4,70984E-11                   | 2,91000E+01 a | 1,8204E+07     |
| Cm-244   | 5,30700E-09                   | 1,81000E+01 a | 3,2978E+09     |
| Cm-245   | 8,46265E-11                   | 8,50000E+03 a | 1,1198E+05     |
| Cm-246   | 3,79156E-12                   | 4,76000E+03 a | 8,9592E+03     |
| Cm-247   | 9,89698E-15                   | 1,56000E+07 a | 7,1357E-03     |
| H-1      | 3,56194E-07                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| H-2      | 1,00445E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |

| Nuclídeo | Concentração (átomos/barn.cm) | Meia-Vida     | Atividade (Bq) |
|----------|-------------------------------|---------------|----------------|
| H-3      | 1.15369E-07                   | 1.23300E+01 a | 1,0524E+11     |
| He-3     | 3.50384E-10                   | 0.00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| He-4     | 3.70179E-07                   | 0.00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Li-6     | 1,91701E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Li-7     | 8,91631E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Be-9     | 4,67297E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| B-11     | 3,55915E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| N-14     | 2,03025E-15                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| N-15     | 2,28780E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Ge-72    | 2,72726E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Ge-73    | 1,08413E-09                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Ge-74    | 3,61200E-09                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| As-75    | 1,07264E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Ge-76    | 3,10343E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Se-76    | 1,01736E-10                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Se-77    | 6,91847E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Se-78    | 2,09460E-07                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Br-79    | 1,72848E-13                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Se-80    | 1,27335E-06                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Kr-80    | 1,93360E-12                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Br-81    | 2,01421E-06                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Se-82    | 3,21476E-06                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Kr-82    | 1,66266E-08                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Kr-83    | 4,64543E-06                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |
| Kr-84    | 1,11067E-05                   | 0,00000E+00 s | 0,0000E+00     |

Legenda aplicada à tabela: barn-1E-24 cm<sup>2</sup>; s-segundo; h-hora; d-dia; a-ano.

Tabela 8 - Concentração de Radionuclídeos / Ajustada e Estimada na PIR do RMB a 30 MW.

| Nuclídeo | Concentração (Bqm <sup>-3</sup> ) |
|----------|-----------------------------------|
| Ar-41    | 2,3 x 10 <sup>8</sup>             |
| Cr-51    | 1,8 x 10 <sup>6</sup>             |
| Xe-135   | 3,0 x 10 <sup>6</sup>             |
| Xe-133   | 2,7 x 10 <sup>7</sup>             |
| Kr-88    | 3,0 x 10 <sup>6</sup>             |
| Kr-87    | 1,1 x 10 <sup>6</sup>             |
| Kr-85m   | 1,1 x 10 <sup>6</sup>             |
| I-133    | 1,5 x 10 <sup>6</sup>             |
| Ba-140   | 6,6, x 10 <sup>4</sup>            |
| La-140   | 1,1 x 10 <sup>5</sup>             |
| Cs-137   | 1,4 x 10 <sup>4</sup>             |
| I-131    | 5,3 x 10 <sup>4</sup>             |

**Tabela 9 - Termo-Fonte ajustado e liberado anualmente pelo RMB em condições normais de operação.**

| Nuclídeos | Liberação Anual (Bq)  |
|-----------|-----------------------|
| Ar-41     | $6,34 \times 10^{12}$ |
| Ba-140    | $2,04 \times 10^5$    |
| Cr-51     | $5,44 \times 10^6$    |
| Cs-137    | $2,73 \times 10^4$    |
| I-131     | $1,59 \times 10^7$    |
| I-133     | $5,22 \times 10^8$    |
| Kr-85m    | $3,18 \times 10^{10}$ |
| Kr-87     | $3,18 \times 10^{10}$ |
| Kr-88     | $8,47 \times 10^{10}$ |
| La-140    | $3,10 \times 10^{15}$ |
| Xe-133    | $7,41 \times 10^{11}$ |
| Xe-135    | $8,46 \times 10^{10}$ |
| H-3       | $5,70 \times 10^{10}$ |
| Sr-90     | $2,31 \times 10$      |

#### 4.4.4.1.2 Prédio de Estocagem de Combustíveis Queimados e Manuseio de Itens

A Piscina de Estocagem do Combustível Queimado (PECQ) no PECQMI tem cestos que permitem armazenar EC queimados em quantidade equivalente a 20 anos de operação do reator.

A Piscina de Manuseio de Itens Irrradiados (PMII) tem instalações que permitem armazenar os seguintes itens:

- Dispositivos de Irradiação danificados e dispositivos de irradiação substituídos para decaimento radioativo por um ano;
- Instalações para corte e redução de tamanho;
- Espaço suficiente para armazenar pelo menos uma caixa de alumínio de para armazenagem e remoção de rejeitos sólidos de atividade média oriundos do PR usando um casco de transferência blindado;
- Espaço para transferir em cascos de transporte dos EC queimados da PECQ para a Área de Estocagem de Cascos e Tambores (AECT).
- Uma plataforma removível para um casco de transporte de elementos combustíveis (EC) para repositórios de rejeitos.

A AECT tem instalações que permitem armazenar em cascos de estocagem EC utilizados em toda a vida útil (50 anos) do reator. Ela possui também uma área adicional para estocagem de pelo menos mais 10 embalados, nos quais possam ser acondicionados outros materiais de alta atividade, incluindo EC queimados de fora do RMB (exemplo: reator IEA-R1).

Os combustíveis e materiais irradiados em dispositivos de irradiação no PR não permanecerão nas células quentes do PECQMI. Após decaimento na PMII, eles serão transferidos para o Laboratório de Análise de Materiais Irradiados (LAMI – N05).

A Tabela 7, do subitem anterior, apresenta um inventário típico de um elemento combustível queimado ao sair do reator.

#### 4.4.4.1.3 Prédio do Laboratório das Guias de Nêutrons

O Prédio do Laboratório das Guias de Nêutrons (PLGN) não trabalha com material radioativo. Ele possui as guias de nêutrons, que é uma radiação, que poderá ativar materiais que estão sendo analisados nos vários equipamentos científicos ou mesmo nos componentes desses equipamentos. Devido ao baixo fluxo de nêutrons essa ativação dos materiais é relativamente baixa.

O projeto dos experimentos a serem realizados no Prédio do Laboratório das Guias de Nêutrons (PLGN) deve minimizar a utilização de alvos (ou amostras) feitos com materiais que possam produzir rejeitos radioativos. Havendo necessidade do uso de tais materiais, o projeto deve prever as blindagens necessárias para minimizar as doses de exposição resultante, bem como a instalação de instrumentos para monitorar os níveis de radiação na área (radiação gama e nêutrons) e a avaliação da dose ocupacional.

Locais passíveis de contaminação devem possuir piso e paredes com cantos arredondados, revestidos de material impermeável, para facilitar a descontaminação em casos de possíveis contaminações radioativas. Todas as blindagens devem ser dimensionadas de forma a se manter o nível de radiação no ambiente tão baixo quanto razoavelmente praticável (princípio ALARA), e de forma a causar um mínimo de interferência entre os vários equipamentos a serem instalados.

Todos os efluentes líquidos da instalação deverão ser direcionados para os tanques de coleta adequados. Efluentes eventualmente com potencial eventual de contaminação deverão ser coletados para posterior envio ao Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos (PTER).

#### 4.4.4.1.4 Prédio de Processamento de Radioisótopos e Produção de Fontes

O prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas tem como função o recebimento de amostras irradiadas no reator RMB que serão processadas ou simplesmente embaladas e despachadas para o IPEN. As várias atividades executadas no prédio são divididas em:

- Produção de Mo-99 e I-131 para uso em Medicina Nuclear, pelo processamento de alvos de U-235 de baixo enriquecimento (LEU) irradiados no reator;
- Manuseio de outros radioisótopos para uso em Medicina Nuclear: Lu-177, Y-90, Ho-166, Sm-153, W-188 entre outros;

- Enriquecimento isotópico por laser de Mo-99 produzido por irradiação de alvos contendo Mo;
- Manuseio de Ir-192 de alta taxa de dose para braquiterapia;
- Processamento de I-125 para preparo de sementes de I-125;
- Manuseio de Ir-192 para gamagrafia industrial;
- Substituição de fontes exauridas em aparelhos de gamagrafia industrial;
- Manuseio de traçadores radioativos: Br-82, Hg-203, As-75 entre outros;
- Embalagem dos radioisótopos e fontes produzidas para despacho;
- Controle de qualidade do processamento de Mo-99 e I-131.

A concepção do prédio de processamento de radioisótopos e produção de fontes radioativas envolve 3 pisos:

- Piso 1, ou porão, possui área de manuseio e armazenamento de rejeitos;
- Piso 2, térreo ou de processo, onde serão desenvolvidas as atividades de produção e manuseio, ao nível das ruas de circulação de veículos;
- Piso 3, superior ou utilidades, onde estarão instaladas as utilidades necessárias para as atividades diversas do prédio.

O prédio pode ser visto como duas grandes áreas de produção. Na primeira área encontram-se as instalações para a produção de Mo-99 e I-131. No total são dez células, sendo seis para produção de Mo-99 e I-131, uma para enriquecimento de Mo-99 por laser, e mais 3 reservadas para o desenvolvimento, no futuro, de novos processos. Nesta área é feita a dissolução química de miniplacas contendo urânio irradiado (caracterizados como alvos durante irradiação no reator). Portanto os efluentes e rejeitos gerados são aqueles provenientes de manuseio e tratamento de radionuclídeos gerados na fissão do urânio, sendo o próprio Mo-99, objetivo da produção, um dos produtos de fissão do urânio.

Na segunda área encontram-se as instalações de manuseio de radioisótopos e despacho, de preparo de fontes seladas, e de manuseio/preparo de fontes de Ir-192 e I-125 para braquiterapia. A concepção é a mesma da ala esquerda, ou seja, uma ala “quente” com 10 células, sendo 7 para processamento e mais 3 para desenvolvimento futuro e eventual expansão das atividades. No entanto os rejeitos e efluentes gerados são advindos do manuseio dos radionuclídeos produzidos no reator e manuseados nessas células.

Em termos de geração de rejeitos e controle de efluentes, são duas áreas distintas. Fisicamente as duas áreas encontram-se separadas, inclusive com sistema de ventilação e controle de emissões gasosas separadas.

Todo rejeito radioativo gerado será transferido por elevador (localizado entre as 2 alas quentes) ou por gravidade para o porão, onde serão estocados de acordo com o tipo de rejeito gerado. No caso de uso do elevador, serão utilizados embalados apropriados, devidamente blindados. No caso de transporte por gravidade, deverão ser utilizados dutos

devidamente blindados, nos quais os rejeitos serão encaminhados para recipientes apropriados, e devidamente blindados, para que possam posteriormente ser encaminhados ao Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos (PTER).

Haverá um diferencial de pressão crescente a partir do interior das celas de processamento (ponto de menor pressão), para as alas quentes e para o restante do prédio, de forma a garantir que o fluxo de ar seja sempre no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação.

Os dutos de exaustão das duas alas devem ser independentes, ambos direcionados para a chaminé do Prédio do Reator (chaminé que será utilizada pelo reator e os três laboratórios com manuseio de material nuclear e radioativo), e com instrumentação específica e apropriada para detectar eventuais liberações de radioisótopos nos respectivos processos e meios para controle, contenção e monitoração dos efluentes gasosos.

#### 4.4.4.1.4.1 Área de Processamento de Mo-99

Conforme apresentado no item 4.4.3, o Mo-99 e o I-131 são produzidos através do processamento químico dos alvos de urânio irradiados. Neste processamento são gerados rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, como mostrado na Figura 34 do item 4.4.3. Todos esses rejeitos são processados nas próprias células quentes e armazenados dentro da célula ou em tanques no subsolo do prédio. Todas as células são estanques e o sistema de ar, com filtros adequados, retém o material radioativo de forma a somente liberar alíquotas de ar dentro dos limites de radioatividade permitidos. Os rejeitos sólidos de alta atividade serão armazenados na célula e depois transferidos para recipientes estanques que permitirão, com uso de blindagens adequadas, ser armazenados no PECQMI – N03. Os rejeitos de baixa e média atividade serão armazenados no próprio prédio e posteriormente transferidos adequadamente para o PTER.

O processo a ser utilizado no RMB para produção de Mo-99 ainda está em desenvolvimento, e está baseado em processos utilizados por fornecedores mundiais que usam alvos de urânio-alumínio de baixo enriquecimento. A seguir é realizada uma estimativa de inventário dos vários tipos de rejeito que serão manuseados na instalação. A base de cálculo é a atividade semanal estabelecida como meta do RMB, ou seja, 1000 Ci de Mo-99, atividade esta relacionada ao sexto dia de decaimento radioativo. É apresentado o que ocorre durante a irradiação do alvo no que diz respeito à geração de radionuclídeos e caracterização radiológica dos rejeitos radioativos esperados na produção. Valores definitivos e com características dos equipamentos utilizados no processo serão obtidos ao final do projeto executivo e apresentado no Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS).

O código ORIGEN (Bowman, 2010), um dos módulos de análise de depleção do SCALE<sup>□</sup>, realiza cálculos detalhados da geração isotópica dependente do tempo e de depleção para 1946 nuclídeos, para fissão em alvos de urânio e para análise de ativação. Os resultados aqui apresentados são baseados nos seguintes parâmetros:

- Alvo composto por placas contendo 2,5g de U-235 (U a 20% de enriquecimento), e 20,6g de Al (liga Al-1050);
- Tempo de irradiação de 7 dias no reator;
- Fluxo neutrônico de  $1E+14$  n/cm<sup>2</sup>.s;

1000 Ci de Mo-99 relacionada ao sexto dia de decaimento corresponde a uma atividade de 4560 Ci no instante de retirada do reator (meia vida do Mo-99 é 66 horas, seis dias de decaimento corresponde a 2,18 meias vidas). (Obs: 1 Curie (Ci) são  $3,7E+10$  Bequerel (Bq)).

Nos dados a seguir, considerou-se a produção de aproximadamente 4560 Ci de Mo-99 e 1138 Ci de I-131; ou seja, uma campanha de irradiação e processamento de 16 alvos. A sequência operacional considera 12 horas após o Fim da Irradiação (EOB) como período de resfriamento dos alvos, e 24 horas como o tempo necessário para o processamento dos mesmos.

A Tabela 10 a Tabela 12 apresentam as atividades calculadas após 36 horas do EOB. Essas atividades são apresentadas para rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, e contemplam os elementos radioativos de ativação (estruturais e do urânio), e a fissão do urânio. As frações de separação dos rejeitos radioativos gerados provêm de estudos baseados em processos similares no mundo e na experiência dos grupos do IPEN envolvidos no desenvolvimento do projeto do RMB. O rendimento de separação considerado foi de 85% para o molibdênio e 95% para o iodo.

**Tabela 10 - Atividades de produtos de ativação, estimadas após 36h do EOB.(Bq)**

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| Na 24    | 2,75E+11 | 0,0005     | 0          | 0,9995     | Fe 55    | 5,52E+08 | 1          | 0          | 0          |
| Si 31    | 8,52E+05 | 1          | 0          | 0          | Fe 59    | 3,83E+08 | 1          | 0          | 0          |
| P 32     | 1,32E+04 | 1          | 0          | 0          | Co 60    | 2,65E+05 | 1          | 0          | 0          |
| Ca 45    | 7,11E+05 | 1          | 0          | 0          | Ni 63    | 5,76E+05 | 1          | 0          | 0          |
| Ca 47    | 9,08E+04 | 1          | 0          | 0          | Cu 64    | 5,10E+10 | 1          | 0          | 0          |
| Sc 46    | 1,85E+07 | 1          | 0          | 0          | Cu 67    | 9,57E+06 | 1          | 0          | 0          |
| Sc 47    | 2,57E+08 | 1          | 0          | 0          | Zn 65    | 1,14E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Sc 48    | 4,46E+07 | 1          | 0          | 0          | Zn 69    | 4,34E+08 | 1          | 0          | 0          |
| Cr 51    | 2,19E+07 | 1          | 0          | 0          | Zn 69m   | 4,05E+08 | 1          | 0          | 0          |
| Mn 54    | 2,12E+08 | 1          | 0          | 0          | Zn 71m   | 1,35E+04 | 1          | 0          | 0          |
| Mn 56    | 1,04E+08 | 1          | 0          | 0          |          |          |            |            |            |

**Tabela 11 - Atividades dos transurânicos, estimadas após 36h do EOB.(Bq)**

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| Th231    | 3,96E+06 | 1          | 0          | 0          | Np236m   | 6,20E+04 | 1          | 0          | 0          |
| Th234    | 4,31E+05 | 1          | 0          | 0          | Np238    | 2,79E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Pa232    | 1,99E+04 | 1          | 0          | 0          | Np239    | 1,52E+14 | 1          | 0          | 0          |
| Pa234m   | 4,31E+05 | 1          | 0          | 0          | Pu238    | 3,11E+05 | 1          | 0          | 0          |

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| U234     | 2,73E+08 | 1          | 0          | 0          | Pu239    | 1,06E+08 | 1          | 0          | 0          |
| U235     | 3,13E+06 | 1          | 0          | 0          | Pu240    | 3,90E+06 | 1          | 0          | 0          |
| U236     | 4,22E+05 | 1          | 0          | 0          | Pu241    | 2,80E+07 | 1          | 0          | 0          |
| U237     | 1,25E+12 | 1          | 0          | 0          | Pu243    | 1,14E+04 | 1          | 0          | 0          |
| U238     | 1,99E+06 | 1          | 0          | 0          | Am242    | 4,88E+04 | 1          | 0          | 0          |

**Tabela 12 - Atividade dos produtos de fissão, estimadas após 36h do EOB.(Bq)**

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| H 3      | 3,63E+08 | 0          | 0          | 1          | Ru106    | 1,83E+11 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | I133     | 6,83E+13 | 0,006      | 0,0001     | 0,05       |
| Ni 66    | 1990000  | 1          | 0          | 0          | Rh106    | 1,83E+11 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | Xe133    | 1,18E+14 | 0          | 1          | 0          |
| Cu 66    | 2000000  | 1          | 0          | 0          | Rh106m   | 10500000 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | Xe133m   | 4,66E+12 | 0          | 1          | 0          |
| Cu 67    | 10500000 | 1          | 0          | 0          | Rd107    | 10900    | 1          | 0          | 0          | Cs134    | 5,59E+08 | 0,0005     | 0          | 0,9995     |
| Zn 71m   | 21900    | 1          | 0          | 0          | Rd109    | 1,94E+11 | 1          | 0          | 0          | Cs134m   | 4020000  | 0,0005     | 0          | 0,9995     |
| Zn 72    | 4,89E+08 | 1          | 0          | 0          | Ag109m   | 1,94E+11 | 0          | 0          | 1          | I135     | 4,65E+12 | 0,006      | 0,0001     | 0,05       |
| Ga 72    | 6,4E+08  | 1          | 0          | 0          | Ag110    | 83600    | 0          | 0          | 1          | Xe135    | 2,44E+13 | 0          | 1          | 0          |
| Ga 73    | 20100000 | 1          | 0          | 0          | Ag110m   | 6140000  | 0          | 0          | 1          | Xe135m   | 7,6E+11  | 0          | 1          | 0          |
| Ge 73m   | 19900000 | 0          | 0          | 1          | Pd111    | 1410000  | 1          | 0          | 0          | Cs135    | 207000   | 0,0005     | 0          | 0,9995     |
| As 76    | 12900000 | 1          | 0          | 0          | Pd111m   | 1790000  | 1          | 0          | 0          | Ba135m   | 641000   | 1          | 0          | 0          |
| Ge 77    | 7,77E+09 | 0          | 0          | 1          | Ag111    | 2,47E+11 | 0          | 0          | 1          | Cs136    | 5,64E+10 | 0,0005     | 0          | 0,9995     |
| As 77    | 1,4E+11  | 1          | 0          | 0          | Ag111m   | 1750000  | 0          | 0          | 1          | Ba136m   | 6,32E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Se 77m   | 4,49E+08 | 0          | 0          | 1          | Pd112    | 1,37E+11 | 1          | 0          | 0          | Cs137    | 9,15E+10 | 0,0005     | 0          | 0,9995     |
| Ge 78    | 28100    | 0          | 0          | 1          | Ag112    | 1,61E+11 | 0          | 0          | 1          | Ba137m   | 8,64E+10 | 1          | 0          | 0          |
| As 78    | 651000   | 1          | 0          | 0          | Ag113    | 4,49E+09 | 0          | 0          | 1          | Ba139    | 4920000  | 1          | 0          | 0          |
| Se 79    | 67100    | 0          | 0          | 1          | Cd113m   | 3920000  | 1          | 0          | 0          | Ba140    | 6,04E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Br 80    | 14200    | 0,006      | 0,0001     | 0,9939     | Cd115    | 2,29E+11 | 1          | 0          | 0          | La140    | 5,38E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Br 80m   | 13300    | 0,006      | 0,0001     | 0,9939     | Cd115m   | 1,63E+09 | 1          | 0          | 0          | La141    | 3,59E+11 | 1          | 0          | 0          |
| Br 82    | 2,92E+09 | 0,006      | 0,0001     | 0,9939     | In115m   | 2,5E+11  | 1          | 0          | 0          | Ce141    | 2,62E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Br 83    | 5,91E+08 | 0,006      | 0,0001     | 0,9939     | Cd117    | 16000000 | 1          | 0          | 0          | La142    | 15800000 | 1          | 0          | 0          |
| Kr 83m   | 2,41E+09 | 0          | 1          | 0          | Cd117m   | 42600000 | 1          | 0          | 0          | Pr142    | 1,56E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Rb 84    | 144000   | 0,0005     | 0          | 0,9995     | In117    | 98400000 | 1          | 0          | 0          | Ce143    | 9,03E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Kr 85    | 1,21E+10 | 0          | 1          | 0          | In117m   | 64800000 | 1          | 0          | 0          | Pr143    | 5,11E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Kr 85m   | 1,61E+11 | 0          | 1          | 0          | Sn117m   | 2,32E+08 | 1          | 0          | 0          | Ce144    | 3,08E+12 | 1          | 0          | 0          |
| Rb 86    | 4,81E+08 | 0,0005     | 0          | 0,9995     | Sn119m   | 29000000 | 1          | 0          | 0          | Pr144    | 3,08E+12 | 1          | 0          | 0          |
| Kr 87    | 258000   | 0          | 1          | 0          | Sn121    | 1,64E+11 | 1          | 0          | 0          | Pr144m   | 4,31E+10 | 1          | 0          | 0          |

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| Kr 88    | 1,78E+10 | 0          | 1          | 0          | Sn121m   | 5890000  | 1          | 0          | 0          | Pr145    | 2,02E+12 | 1          | 0          | 0          |
| Rb 88    | 1,98E+10 | 0,0005     | 0          | 0,9995     | Sb122    | 2,47E+08 | 1          | 0          | 0          | Pm146    | 15700    | 1          | 0          | 0          |
| Sr 89    | 1,41E+13 | 1          | 0          | 0          | Sn123    | 1,47E+09 | 1          | 0          | 0          | Nd147    | 2,41E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Y 89m    | 1,31E+09 | 1          | 0          | 0          | Sb124    | 46800000 | 1          | 0          | 0          | Pm147    | 9,92E+10 | 1          | 0          | 0          |
| Sr 90    | 9,04E+10 | 1          | 0          | 0          | Sn125    | 1,13E+11 | 1          | 0          | 0          | Pm148    | 3,2E+10  | 1          | 0          | 0          |
| Y 90     | 6,25E+10 | 1          | 0          | 0          | Sb125    | 4,45E+09 | 1          | 0          | 0          | Pm148m   | 4,53E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Y 90m    | 61800    | 1          | 0          | 0          | Te125m   | 56900000 | 1          | 0          | 0          | Nd149    | 19163040 | 1          | 0          | 0          |
| Sr 91    | 1,4E+13  | 1          | 0          | 0          | Sn126    | 250000   | 1          | 0          | 0          | Pm149    | 2,02E+13 | 1          | 0          | 0          |
| Y 91     | 1,51E+13 | 1          | 0          | 0          | Sb126    | 8,8E+09  | 1          | 0          | 0          | Pm150    | 66540800 | 1          | 0          | 0          |
| Y 91m    | 8,89E+12 | 1          | 0          | 0          | Sb126m   | 250000   | 1          | 0          | 0          | Pm151    | 5,7E+12  | 1          | 0          | 0          |
| Sr 92    | 1,96E+10 | 1          | 0          | 0          | I126     | 43100    | 0,006      | 0,0001     | 0,05       | Sm151    | 1,66E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Y 92     | 6,62E+11 | 1          | 0          | 0          | Sn127    | 21400000 | 1          | 0          | 0          | Eu152    | 27758,88 | 1          | 0          | 0          |
| Y 93     | 1,79E+13 | 1          | 0          | 0          | Sb127    | 2,88E+12 | 1          | 0          | 0          | Eu152m   | 3580416  | 1          | 0          | 0          |
| Zr 93    | 1820000  | 0,787      | 0          | 0,213      | Te127    | 2,63E+12 | 1          | 0          | 0          | Sm153    | 2,97E+12 | 1          | 0          | 0          |
| Zr 95    | 1,55E+13 | 0,787      | 0          | 0,213      | Te127m   | 2,25E+10 | 1          | 0          | 0          | Eu154    | 51474400 | 1          | 0          | 0          |
| Nb 95    | 1,48E+12 | 0,787      | 0          | 0,213      | Sb128    | 5,12E+10 | 1          | 0          | 0          | Eu155    | 2,73E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Nb 95m   | 1,04E+11 | 0,787      | 0          | 0,213      | Sb129    | 6,35E+10 | 1          | 0          | 0          | Sm156    | 3,63E+10 | 1          | 0          | 0          |
| Nb 96    | 6,85E+09 | 0,787      | 0          | 0,213      | Te129    | 3,47E+11 | 1          | 0          | 0          | Eu156    | 1,7E+11  | 1          | 0          | 0          |
| Zr 97    | 4,55E+13 | 0,787      | 0          | 0,213      | Te129m   | 4,31E+11 | 1          | 0          | 0          | Eu157    | 4,56E+10 | 1          | 0          | 0          |
| Nb 97    | 4,57E+13 | 0,787      | 0          | 0,213      | I129     | 13000    | 0,006      | 0,0001     | 0,05       | Gd159    | 9,76E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Nb 97m   | 4,31E+13 | 0,787      | 0          | 0,213      | Xe129m   | 22800    | 0          | 1          | 0          | Tb160    | 5700960  | 1          | 0          | 0          |
| Mo 99    | 1,16E+14 | 0,0057     | 0          | 0,15       | I130     | 3,28E+09 | 0,006      | 0,0001     | 0,05       | Tb161    | 1,44E+09 | 1          | 0          | 0          |
| Tc 99    | 8710000  | 0,0057     | 0          | 0,9943     | Te131    | 1,3E+12  | 1          | 0          | 0          | Dy166    | 17807360 | 1          | 0          | 0          |
| Tc 99m   | 1,12E+14 | 0,0057     | 0          | 0,9943     | Te131m   | 5,77E+12 | 1          | 0          | 0          | Ho166    | 20471360 | 1          | 0          | 0          |
| Ru103    | 1,16E+13 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | I131     | 3,84E+13 | 0,006      | 0,0001     | 0,05       | Er169    | 2192176  | 1          | 0          | 0          |
| Rh103m   | 1,15E+13 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | Xe131m   | 1,17E+11 | 0          | 1          | 0          | Er171    | 66955,2  | 1          | 0          | 0          |
| Ru105    | 1,24E+11 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | Te132    | 8,06E+13 | 1          | 0          | 0          | Tm171    | 12621,44 | 1          | 0          | 0          |

| Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h      | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ | Nuclídeo | 36h     | Fração SOL | Fração GAS | Fração LIQ |
|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|---------|------------|------------|------------|
| Rh105    | 1,61E+13 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | I132     | 8,31E+13 | 0,006      | 0,0001     | 0,05       | Er172    | 1808560 | 1          | 0          | 0          |
| Rh105m   | 3,53E+10 | 0,3868     | 0          | 0,6132     | Cs132    | 4510000  | 0,0005     | 0          | 0,9995     | Tm172    | 2120544 | 1          | 0          | 0          |

Da Tabela 13 a Tabela 16 foram calculadas com as considerações de produção já mencionadas, isto é, aproximadamente 4560Ci de Mo-99 no EOB. Nas tabelas a seguir, estão representadas as contribuições de cada isótopo na atividade total dos rejeitos radioativos.

**Tabela 13 - Nuclídeos esperados no rejeito líquido ácido, 36 horas após o EOB, atividade total 1,92E+14 Bq.**

| Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| H 3      | 2,69E+11  | Zr 93    | 3,80E+05  | Rh105    | 9,66E+12  | I130     | 1,61E+08  |
| Na 24    | 3,55E+08  | Zr 95    | 3,24E+12  | Rh105m   | 2,12E+10  | I131     | 1,88E+12  |
| Ge 73m   | 1,95E+07  | Nb 95    | 3,09E+11  | Ru106    | 1,10E+11  | I132     | 4,07E+12  |
| Ge 77    | 7,61E+09  | Nb 95m   | 2,17E+10  | Rh106    | 1,10E+11  | Cs132    | 4,42E+06  |
| Se 77m   | 4,40E+08  | Nb 96    | 1,43E+09  | Rh106m   | 6,34E+06  | I133     | 3,34E+12  |
| Ge 78    | 2,75E+04  | Zr 97    | 9,49E+12  | Ag109m   | 1,90E+11  | Cs134    | 5,47E+08  |
| Se 79    | 6,57E+04  | Nb 97    | 9,53E+12  | Ag110    | 8,19E+04  | Cs134m   | 3,93E+06  |
| Br 80    | 1,38E+04  | Nb 97m   | 9,00E+12  | Ag110m   | 6,02E+06  | I135     | 2,28E+11  |
| Br 80m   | 1,29E+04  | Mo 99    | 1,70E+13  | Ag111    | 2,42E+11  | Cs135    | 2,03E+05  |
| Br 82    | 2,84E+09  | Tc 99    | 8,49E+06  | Ag111m   | 1,71E+06  | Cs136    | 5,53E+10  |
| Br 83    | 5,76E+08  | Tc 99m   | 1,09E+14  | Ag112    | 1,58E+11  | Cs137    | 8,96E+10  |
| Rb 84    | 1,41E+05  | Ru103    | 6,95E+12  | Ag113    | 4,40E+09  |          |           |
| Rb 86    | 4,72E+08  | Rh103m   | 6,94E+12  | I126     | 2,11E+03  |          |           |
| Rb 88    | 1,94E+10  | Ru105    | 7,44E+10  | I129     | 6,36E+02  |          |           |

Os rejeitos líquidos ácidos esperados têm um volume total de aproximadamente 10 litros por campanha.

**Tabela 14 - Nuclídeos esperados no rejeito líquido básico, 36 horas após o EOB, atividade total 3,91E+12 Bq.**

| Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Na 24    | 5,49E+09  | Zr 93    | 7,75E+03  | Rh105    | 1,97E+11  | I130     | 3,28E+06  |
| H 3      | 7,25E+06  | Zr 95    | 6,62E+10  | Rh105m   | 4,32E+08  | I131     | 3,84E+10  |
| Ge 73m   | 3,97E+05  | Nb 95    | 6,30E+09  | Ru106    | 2,24E+09  | I132     | 8,31E+10  |
| Ge 77    | 1,55E+08  | Nb 95m   | 4,42E+08  | Rh106    | 2,24E+09  | Cs132    | 9,02E+04  |
| Se 77m   | 8,97E+06  | Nb 96    | 2,92E+07  | Rh106m   | 1,29E+05  | I133     | 6,83E+10  |
| Ge 78    | 5,62E+02  | Zr 97    | 1,94E+11  | Ag109m   | 3,88E+09  | Cs134    | 1,12E+07  |
| Se 79    | 1,34E+03  | Nb 97    | 1,95E+11  | Ag110    | 1,67E+03  | Cs134m   | 8,03E+04  |
| Br 80    | 2,82E+02  | Nb 97m   | 1,84E+11  | Ag110m   | 1,23E+05  | I135     | 4,65E+09  |
| Br 80m   | 2,64E+02  | Mo 99    | 3,47E+11  | Ag111    | 4,94E+09  | Cs135    | 4,13E+03  |
| Br 82    | 5,80E+07  | Tc 99    | 1,73E+05  | Ag111m   | 3,50E+04  | Cs136    | 1,13E+09  |
| Br 83    | 1,17E+07  | Tc 99m   | 2,22E+12  | Ag112    | 3,23E+09  | Cs137    | 1,83E+09  |
| Rb 84    | 2,88E+03  | Ru103    | 1,42E+11  | Ag113    | 8,98E+07  |          |           |
| Rb 86    | 9,62E+06  | Rh103m   | 1,42E+11  | I126     | 4,31E+01  |          |           |
| Rb 88    | 3,96E+08  | Ru105    | 1,52E+09  | I129     | 1,30E+01  |          |           |

**Tabela 15 - Nuclídeos esperados na saída off-gas, 36 horas após o EOB, atividade total 1,48E+14 Bq**

| Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Br 80    | 1,42E+00  | Kr 85m   | 1,61E+11  | I130     | 3,28E+05  | Xe133    | 1,18E+14  |
| Br 80m   | 1,33E+00  | Kr 87    | 2,58E+05  | I131     | 3,84E+09  | Xe133m   | 4,66E+12  |
| Br 82    | 2,92E+05  | Kr 88    | 1,78E+10  | Xe131m   | 1,17E+11  | I135     | 4,65E+08  |
| Br 83    | 5,91E+04  | I126     | 4,31E+00  | I132     | 8,31E+09  | Xe135    | 2,44E+13  |
| Kr 83m   | 2,41E+09  | I129     | 1,30E+00  | I133     | 6,83E+09  | Xe135m   | 7,60E+11  |
| Kr 85    | 1,21E+10  | Xe129m   | 2,28E+04  |          |           |          |           |

Os rejeitos gasosos deverão passar por cascata de decaimento e filtros antes de serem liberados ao meio ambiente. Normas CNEN estabelecem métodos de manuseio e limites de liberação permitidos. (CNEN-NN-3.01 – Diretrizes básicas de radioproteção, CNEN-NE-6.02 – Licenciamento de instalações radiativas e CNEN-NE-6.05 – Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas).

**Tabela 16 - Nuclídeos esperados no “bolo” retido no filtro após a dissolução dos alvos, 36 horas após o EOB, atividade total 8,01E+14 Bq.**

| Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Na 24    | 1,37E+08  | As 77    | 1,40E+11  | Cd115    | 2,29E+11  | Cs137    | 4,57E+07  |
| Si 31    | 8,52E+05  | As 78    | 6,51E+05  | Cd115m   | 1,63E+09  | Ba137m   | 8,64E+10  |
| P 32     | 1,32E+04  | Br 80    | 8,52E+01  | In115m   | 2,50E+11  | Ba139    | 4,92E+06  |
| Ca 45    | 7,11E+05  | Br 80m   | 7,96E+01  | Cd117    | 1,60E+07  | Ba140    | 6,04E+13  |
| Ca 47    | 9,08E+04  | Br 82    | 1,75E+07  | Cd117m   | 4,26E+07  | La140    | 5,38E+13  |
| Sc 46    | 1,85E+07  | Br 83    | 3,55E+06  | In117    | 9,84E+07  | La141    | 3,59E+11  |
| Sc 47    | 2,57E+08  | Rb 84    | 7,20E+01  | In117m   | 6,48E+07  | Ce141    | 2,62E+13  |
| Sc 48    | 4,46E+07  | Rb 86    | 2,41E+05  | Sn117m   | 2,32E+08  | La142    | 1,58E+07  |
| Cr 51    | 2,19E+07  | Rb 88    | 9,91E+06  | Sn119m   | 2,90E+07  | Pr142    | 1,56E+09  |
| Mn 54    | 2,12E+08  | Sr 89    | 1,41E+13  | Sn121    | 1,64E+11  | Ce143    | 9,03E+13  |
| Mn 56    | 1,04E+08  | y 89m    | 1,31E+09  | Sn121m   | 5,89E+06  | Pr143    | 5,11E+13  |
| Fe 55    | 5,52E+08  | sr 90    | 9,04E+10  | Sb122    | 2,47E+08  | Ce144    | 3,08E+12  |
| Fe 59    | 3,83E+08  | Y 90     | 6,25E+10  | Sn123    | 1,47E+09  | Pr144    | 3,08E+12  |
| Co 60    | 2,65E+05  | Y 90m    | 6,18E+04  | Sb124    | 4,68E+07  | Pr144m   | 4,31E+10  |
| Ni 63    | 5,76E+05  | Sr 91    | 1,40E+13  | Sn125    | 1,13E+11  | Pr145    | 2,02E+12  |
| Cu 64    | 5,10E+10  | Y 91     | 1,51E+13  | Sb125    | 4,45E+09  | Pm146    | 1,57E+04  |
| Cu 67    | 2,01E+07  | Y 91m    | 8,89E+12  | Te125m   | 5,69E+07  | Nd147    | 2,41E+13  |
| Zn 65    | 1,14E+09  | Sr 92    | 1,96E+10  | Sn126    | 2,50E+05  | Pm147    | 9,92E+10  |
| Zn 69    | 4,34E+08  | Y 92     | 6,62E+11  | Sb126    | 8,80E+09  | Pm148    | 3,20E+10  |
| Zn 69m   | 4,05E+08  | Y 93     | 1,79E+13  | Sb126m   | 2,50E+05  | Pm148m   | 4,53E+09  |
| Zn 71m   | 3,53E+04  | Zr 93    | 1,43E+06  | I126     | 2,58E+02  | Nd149    | 1,92E+07  |
| Th231    | 3,96E+06  | Zr 95    | 1,22E+13  | Sn127    | 2,14E+07  | Pm149    | 2,02E+13  |
| Th234    | 4,31E+05  | Nb 95    | 1,16E+12  | Sb127    | 2,88E+12  | Pm150    | 6,65E+07  |
| Pa232    | 1,99E+04  | nb 95m   | 8,17E+10  | Te127    | 2,63E+12  | Pm151    | 5,70E+12  |
| Pa234m   | 4,31E+05  | Nb 96    | 5,39E+09  | Te127m   | 2,25E+10  | Sm151    | 1,66E+09  |
| U234     | 2,73E+08  | Zr 97    | 3,58E+13  | Sb128    | 5,12E+10  | Eu152    | 2,78E+04  |
| U235     | 3,13E+06  | Nb 97    | 3,59E+13  | Sb129    | 6,35E+10  | Eu152m   | 3,58E+06  |

| Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade | Nuclídeo | Atividade |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| U236     | 4,22E+05  | Nb 97m   | 3,39E+13  | Te129    | 3,47E+11  | Sm153    | 2,97E+12  |
| U237     | 1,25E+12  | To 99    | 6,59E+11  | Te129m   | 4,31E+11  | Eu154    | 5,15E+07  |
| u238     | 1,99E+06  | Tc 99    | 4,97E+04  | I129     | 7,78E+01  | Eu155    | 2,73E+09  |
| Np236m   | 6,20E+04  | Tc 99m   | 6,36E+11  | i130     | 1,97E+07  | Sm156    | 3,63E+10  |
| Np238    | 2,79E+09  | Ru103    | 4,47E+12  | Te131    | 1,30E+12  | Eu156    | 1,70E+11  |
| Np239    | 1,52E+14  | Rh103m   | 4,47E+12  | Te131m   | 5,77E+12  | Eu157    | 4,56E+10  |
| Pu238    | 3,11E+05  | Ru105    | 4,79E+10  | I131     | 2,30E+11  | Gd159    | 9,76E+09  |
| Pu239    | 1,06E+08  | Rh105    | 6,21E+12  | Te132    | 8,06E+13  | Tb160    | 5,70E+06  |
| Pu240    | 3,90E+06  | Rh105m   | 1,36E+10  | I132     | 4,98E+11  | Tb161    | 1,44E+09  |
| Pu241    | 2,80E+07  | Ru106    | 7,07E+10  | Cs132    | 2,26E+03  | Dy166    | 1,78E+07  |
| Pu243    | 1,14E+04  | Rh106    | 7,07E+10  | I133     | 4,10E+11  | Ho166    | 2,05E+07  |
| Am242    | 4,88E+04  | Rh106m   | 4,08E+06  | Cs134    | 2,79E+05  | Er169    | 2,19E+06  |
| Ni 66    | 1,99E+06  | Pd107    | 1,09E+04  | Cs134m   | 2,01E+03  | Er171    | 6,70E+04  |
| Cu 66    | 2,00E+06  | Pd109    | 1,94E+11  | I135     | 2,79E+10  | Tm171    | 1,26E+04  |
| Zn 72    | 4,89E+08  | Pd111    | 1,41E+06  | Cs135    | 1,03E+02  | Er172    | 1,81E+06  |
| Ga 72    | 6,40E+08  | Pd111m   | 1,79E+06  | Ba135m   | 6,41E+05  | Tm172    | 2,12E+06  |
| Ga 73    | 2,01E+07  | Pd112    | 1,37E+11  | Cs136    | 2,82E+07  |          |           |
| As 76    | 1,29E+07  | Cd113m   | 3,92E+06  | Ba136m   | 6,32E+09  |          |           |

Esses rejeitos sólidos de alta atividade serão armazenados na célula e depois transferidos para recipientes estanques que permitirão, com uso de blindagens adequadas, ser armazenados no PECQMI – N03.

#### Área de Manuseio e Processamento de Radioisótopos

- Células Quentes para Manuseio de Fontes Seladas

No Prédio de Produção de Radioisótopos do RMB serão instaladas quatro celas quentes conjugadas e intercomunicadas, sendo duas para produção, uma para controle de qualidade com divisão interna em acrílico removível e uma para receber irradiadores de gamagrafia industrial e para montagem das cápsulas seladas nos portas-fonte. A primeira cela de produção receberá os lotes de <sup>192</sup>Ir, <sup>60</sup>Co e <sup>75</sup>Se, apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Principais radioisótopos utilizados em gamagrafia industrial.**

| Radionuclídeo | Atividade da fonte selada (GBq) | Meia-vida (dias) |
|---------------|---------------------------------|------------------|
| Ir-192        | 370 a 5.550                     | 73,83            |
| Co-60         | 0,37 a 11,10                    | 1.923,55         |
| Se-75         | 1.480 a 2.960                   | 119,80           |

A instalação radiativa responderá pela produção e distribuição anual das 350 fontes seladas de Ir-192 e Co-60 produzidas no RMB, além da montagem das 90 fontes seladas importadas de Se-75. A instalação responderá ainda pela vistoria dos irradiadores, cabos de comando e tubos-guia das 30 empresas privadas, e pelas atividades produtivas, pesquisa, desenvolvimento, inovação e ensino que utilizam fontes seladas (Ir-192, Co-60 e Se-75) nos Institutos e Universidades no País. Operará em consonância com a Coordenação Geral de

Instalações Médicas e Industriais – CGMI, da Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear – DRS/CNEN, no controle das fontes radioativas industriais, minimizando-se os riscos de incidentes e acidentes radiológicos no País.

A maior atividade a ser processada no Prédio de Produção de Radioisótopos do RMB será de Ir-192 industrial, totalizando 30.000Ci (1.110 TBq) por ano. As atividades por disco metálico de Ir-192, com diâmetro único de 2,7mm e pureza superior a 99,9% serão preferencialmente: Espessura de 0,25mm = 16Ci a 17Ci; Espessura de 0,15mm = 8Ci a 10Ci

Além disso, a atividade de <sup>75</sup>Se importado a ser distribuída no RMB será de 6.000Ci (222 TBq) por ano. As fontes seladas serão duplamente encapsuladas em vanádio ou titânio (interna) e aço inoxidável AISI 316L (externa).

Os rejeitos radioativos serão sob a forma de materiais sólidos (metais) e eventualmente gasosos na forma de material sólido particulado. O volume anual de rejeitos radioativos gerados dependerá do número de processamentos realizados na instalação radiativa. Os rejeitos radioativos produzidos são rejeitos de baixo nível de radiação, e temporariamente de alto nível de radiação, gerados a partir das atividades de produção.

Os possíveis rejeitos radioativos sólidos típicos gerados na instalação, como resultado do processamento de radioisótopo incluirão:

- Roupas de proteção, tais como, luvas, jalecos e aventais de papel, sapatilhas, botas, gorros e cartuchos de mascaras;
- Materiais de controle de contaminação, como sacos plásticos, papel absorvente, papel toalha e folha de alumínio;
- Filtros absolutos e de carvão ativado do sistema de ventilação das celas quentes; e
- Papéis de filtro especiais (falso tecido) provenientes dos testes de esfregaço (controle de qualidade) das fontes radioativas seladas.

As operações realizadas nas celas quentes de processamento gerarão rejeitos sólidos, constituídos principalmente de fontes seladas de Ir-192 e Co-60, em cápsulas de aço inoxidável AISI 304, soldadas pelo processo TIG (*Tungsten Inert Gas*), que não foram aprovadas nos testes de qualidade (ISO 2919 - *Radiation protection sealed radioactive sources - general requirements and classification* e ISO 9978 - *Sealed radioactive sources - leakage test methods*). As fontes seladas que não atenderem às normas ISO 2919 e ISO 9978 serão armazenadas no porão de rejeitos radioativos, do Prédio de Produção de Radioisótopos do RMB, as quais decairão em função das meias-vidas curtas, principalmente do <sup>192</sup>Ir (Tabela 17).

Os gases retirados como parte das atividades de processamento dos radioisótopos (Ir-192 e Co-60) e da soldagem das cápsulas em aço inoxidável AISI 304, pelo processo TIG serão captados nos sistemas de armadilhas e filtros. Em função da vazão no interior da cela quente ser igual ou superior a 7 m<sup>3</sup>/minuto, com diferencial de pressão de 80mmca o gás

radioativo na forma de material sólido particulado será retido nos filtros absolutos e de carvão ativado, instalados no sistema de exaustão, antes da liberação na chaminé. Em termos de licenciamento para as descargas de efluentes, a autoridade regulatória (CNEN) exige a monitoração contínua das descargas realizadas na chaminé durante a produção.

O ponto de lançamento para os gases de escape do sistema de ventilação da instalação é a chaminé. Os efluentes gasosos descarregados no sistema de ventilação são monitorados continuamente. A monitoração é feita usando-se um sistema de filtros apropriados e uma bomba de sucção acoplada a um medidor de fluxo de ar. Todo esse sistema é instalado *off line* no duto da chaminé localizado após o sistema de filtros absolutos e de carvão ativado existentes no sistema das 4 (quatro) celas quentes conjugadas e intercomunicadas da instalação.

Cada componente de interesse, particulados e gases, será coletado por um sistema de filtros posicionado em série antes da bomba de sucção. A frequência de amostragem será escolhida levando-se em conta o volume total amostrado, a operação em si e a meia-vida do radionuclídeo de interesse, além dos aspectos econômicos.

Os efluentes líquidos, tais como, água destilada contaminada com Ir-192, Co-60 ou Se-75 proveniente dos testes de imersão (controle de qualidade) das fontes radioativas seladas serão armazenados nos tanques de retenção, instalados no porão do Prédio de Produção de Radioisótopos do RMB. Antes de seu envio ao PTER, as amostras de efluentes líquidos serão analisadas por espectrometria gama e cintilação líquida para os emissores betas. Nenhuma descarga é permitida para o sistema até que as análises mostrem que os níveis estão dentro dos limites estabelecidos para lançamento, conforme norma CNEN-NE-6.05 - Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas.

- Célula Quente para Produção de I-125 para Braquetarapia

O mercado atual é de 40.000 sementes / ano (40 Ci /ano), sendo uma produção esperada de 100.000 sementes /ano (100 Ci /ano) com o RMB. Considerando 10 meses de produção por ano, seriam entregues mensalmente entre 4 a 10 Ci na forma de Iodeto de Sódio diluído em Hidróxido de Sódio.

Durante o processo de tratamento químico do radioisótopo nas células quentes espera-se (baseado em literatura e em experiência do grupo) um rendimento da ordem de 80%.

Contando-se o decaimento do I-125 (Meia-vida de 60,14 dias) espera-se uma atividade de 10,26 Ci na célula quente como rejeito. Todo o rejeito gerado nesta produção é de meia vida curta e, portanto, será gerenciado dentro da instalação. Toda a semana, antes do início do trabalho, as bombas de rejeito que estão localizadas embaixo da célula quente são verificadas, e caso tenham pouca quantidade livre para a produção, serão trocadas.

A cada semana serão operados no máximo 2,5Ci de I-125 que estarão contidos num volume máximo de 100 ml. Porém, utiliza-se para limpeza e operação da linha aproximadamente 2,5 litros de água deionizada e destilada por semana, totalizando 10 litros por mês.

Por experiência do grupo e pela literatura, sabe-se que aproximadamente 30% do rejeito I-125 volatilizam com o longo tempo, 30% permanece fixo nas vidrarias e equipamentos e os outros 40% saem como líquido de limpeza e rejeito líquido.

Assim esperam-se aproximadamente “bombonas” com no máximo 3,8 Ci de iodo a cada seis meses (40% da atividade máxima, 9,35 Ci, contando o decaimento). A troca destas bombonas será feita a cada 6 meses. Essas bombonas serão armazenadas por no máximo três anos no porão da instalação antes do descarte.

Todas as células quentes terão que ter sistemas de filtros com troca gasosa durante a operação. Os filtros são sanduíches de filtros HEPA, carvão ativado e HEPA. Assim todo o material radioativo gasoso será capturado por este filtro. Como estes filtros são garantidos pelo fabricante para durarem 1 ano, a princípio a troca dos filtros ocorrerá a cada 9 meses. O filtro será armazenado também no porão do prédio, sendo monitorado para envio ao PTER após algum tempo de decaimento radioativo.

- Célula Quente para Produção de Ir-192 de Alta Taxa de Dose para Tratamento de Câncer

A estimativa de produção atual para o mercado Brasileiro é de 300 fontes/ano, e o mercado da América Latina é de aproximadamente mais 200 fontes/ano. Considerando 10 meses de produção: entre 30 a 50 fontes / mês seriam entregues 2 vezes por mês, e cada fonte deve sair do reator com aproximadamente 15 Ci.

Durante o processo de tratamento químico do radioisótopo nas células quentes espera-se (baseado em literatura e em experiência do grupo) um rendimento da ordem de 95%, assim, ficara retido nos equipamentos dentro da célula quente e no rejeito da instalação um valor máximo de 50 Ci / mês. Assim, contando-se o decaimento do Ir-192 (Meia-vida de 73,8 dias) e o acréscimo de 50 Ci por mês teremos a célula quente com uma atividade máxima de 203 Ci.

Todo o rejeito gerado nesta produção é de meia vida curta e, portanto, será gerenciado dentro da instalação. Toda a semana, antes do início do trabalho, os depósitos de rejeito que estão localizadas embaixo da célula quente são verificados, e caso tenham pouca quantidade livre para a produção, serão trocados.

Por experiência do grupo e pela literatura, sabe-se que o irídio não volatiliza, sendo somente passível de lixiviação e arraste para o ar. Deste material, teremos 10% sendo arrastados para o filtro, 30% sendo espalhado dentro da célula quente como particulado e 60% sendo arrastado como pó nas limpezas para o depósito de rejeito. Assim esperam-se aproximadamente depósitos com no máximo 105 Ci de Ir-192 a cada seis meses (60% da atividade máxima, 175 Ci, contando o decaimento). A troca destes depósitos será feita a cada 6 meses. Esses depósitos serão armazenados por no máximo três anos no porão da instalação antes do descarte como resíduo para o PTER.

Todas as células quentes terão que ter sistemas de filtros com troca gasosa durante a operação. Os filtros necessários são do tipo HEPA. Assim todo o material radioativo

particulado que for arrastado pelos filtros será capturado. Como estes filtros são garantidos pelo fabricante para durarem 1 ano, a troca dos filtros será realizada a cada 9 meses. Quando da troca deste filtro ele será armazenado também no porão sendo monitorado para descarte pós o decaimento radioativo.

#### 4.4.4.1.5 Prédio do Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados

Como descrito no item 4.4.3, o Laboratório de Análise de Materiais Irrradiados (LAMI – N05) possui: uma linha de células quentes para análise pós-irradiação de amostras de combustíveis nucleares irradiados; uma linha de células quentes para análise pós-irradiação de materiais não nucleares (ou seja, sem material físsil ou fértil); e uma linha de laboratórios de suporte para análise microestrutural. Cada linha do laboratório possui os meios adequados de manusear, e armazenar os rejeitos gerados.

Como princípio operacional, os rejeitos sólidos gerados (rejeitos sólidos são lixas e discos de corte utilizados na preparação de amostras, além dos próprios fragmentos das amostras resultantes do processo de confecção, refabricação e de testes) serão preliminarmente estocados no próprio laboratório e, posteriormente, os rejeitos de baixa e média atividade serão enviados ao PTER para tratamento e disposição, e os rejeitos de alta atividade (amostras de combustíveis irradiados) serão acondicionados em recipientes estanques e armazenados no PECQMI – N03.

Os volumes de materiais combustíveis e não combustíveis manuseados anualmente no LAMI são reduzidos, já que o processo de teste de irradiação no reator é demorado (maior que um ano) e as análises nas células quentes também são de tempos longos de preparação e realização. São previstas campanhas anuais máximas de 2 miniplacas ou 2 minivaretas combustíveis.

Todas as células são estanques e possuem sistema de ventilação com filtros para retenção de particulados e materiais voláteis. Devido ao volume reduzido das amostras de materiais combustíveis irradiados e o tempo decorrido desde a irradiação à sua análise, o inventário gasoso radioativo será bem reduzido nas células de análise de combustíveis. Também nas células de análise de materiais metálicos haverá baixíssimo inventário gasoso radioativo.

Os rejeitos líquidos serão mínimos, compostos por fluídos refrigerantes utilizados em máquinas de corte, reagentes químicos (ácidos e solventes) utilizados nos processos de decapagem, etc. Os resíduos líquidos gerados nas células quentes serão coletados em tanques localizados na parte inferior das células, para serem recolhidos posteriormente e encaminhados para tratamento e armazenagem no PTER. Nos laboratórios associados a coleta será realizada em pequenos tanques de armazenamento provisório para posterior envio ao PTER.

Ao longo do projeto básico e projeto detalhado (executivo) serão quantificados os limites operacionais das células quentes em termos de atividade manuseada e geração de resíduos / rejeitos radioativos em vista dos dispositivos e equipamentos específicos utilizados. Isto deve compor o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS).

#### 4.4.4.1.6 Prédio do Laboratório da Radioquímica

O Laboratório de Radioquímica (LARA – N06) deve possuir, como princípio de funcionamento, os meios de manusear, segregar, monitorar e armazenar temporariamente todos os rejeitos e efluentes radioativos. Os rejeitos serão posteriormente encaminhados para o PTER.

Nas estações pneumáticas, tanto lentas como rápidas (caixa de luvas), é feito tanto o envio como a recepção das amostras a serem irradiadas no reator para posterior análise por ativação. Conseqüentemente, todas as estações pneumáticas devem ser confinadas e conter os dispositivos necessários para manipulação das amostras após a irradiação.

A área deve dispor de sistemas ativos de detecção de radiação ambiental e todo o equipamento necessário à operação das estações.

Nos Laboratórios Químicos serão preparadas as amostras a serem irradiadas, e no Laboratório Radioquímico serão manipuladas amostras, irradiadas, que não apresentem radioatividade considerável. Em ambos serão necessários capelas com fluxo laminar, bancadas (tanto de aço quanto de granito), pontos de gás (N<sub>2</sub>, GLP e ar comprimido), linha de vácuo, pias separadas para efluente comum, químico e radioativo e blindagens para manipulação e estocagem temporária de amostras. O Laboratório Radioquímico deve dispor de detectores de radiação próximos às capelas.

Os Laboratórios de Espectrometria são reservados aos sistemas de detecção, que consistem em detectores gama de alta resolução, blindagens individuais adequadas, eletrônica específica e computadores.

Na parte externa ao Laboratório, mas em área protegida contra eventos externos, deve ser prevista uma área na qual serão instalados os tanques para retenção de rejeitos radioativos líquidos.

Tendo em vista a presença de material radioativo no Laboratório Radioquímico, o sistema de ventilação deve ser projetado de forma a garantir um fluxo de ar no sentido das regiões com menor potencial de contaminação para as regiões com maior potencial de contaminação, sendo a exaustão final feita sempre a partir de áreas com maior potencial de contaminação. Podem ser utilizadas saídas de exaustão diretamente de áreas com menor potencial de contaminação, com o objetivo de minimizar o dimensionamento dos sistemas de filtragem, devendo ser analisado, caso a caso, a vantagem de sua adoção.

Todas as pias, ralos, chuveiros e outros dispositivos geradores de líquidos passíveis de contaminação, localizados ou não nas áreas controladas e supervisionadas devem estar conectados ao sistema de coleta de rejeitos líquidos radioativos.

Todos os efluentes líquidos (químicos) deverão ser direcionados para um tanque de coleta, para posterior envio ao PTER. A forma de envio do efluente para o PTER deverá ser definida posteriormente, se por meio de tubulação ou por meio do transporte de tanques de transferência, em função do volume a ser transferido.

Devem ser postas em práticas ações para manter a exposição à radiação nas áreas controladas “tão baixa quanto razoavelmente exequível” (*As Low As Reasonable Achievable* - ALARA) através de características físicas e controles administrativos.

Devem ser utilizados métodos de otimização para garantir que a exposição ocupacional é mantida ALARA no desenvolvimento e justificativa do projeto da instalação e controles físicos.

As blindagens de radiação devem ser projetadas e construídas de modo que durante a operação normal da instalação todas as doses apresentadas para os grupos de atendam a filosofia ALARA, não ultrapassando nunca os valores estabelecidos em norma.

As atividades dos rejeitos manipulados no LARA são normalmente baixas (da ordem de  $10E+5$  Bq), e o volume de rejeitos líquidos deve estar abaixo de 100 litros/mês, conforme experiência existente em laboratório semelhante no IPEN/CNEN-SP.

#### 4.4.4.1.7 Prédio de Tratamento e Estocagem de Rejeitos

Como apresentado no item 4.4.3, o Sistema de Tratamento e Armazenamento de Rejeitos (STAR) no PTER atenderá todas as instalações pertencentes ao RMB.

O STAR foi concebido para rejeitos radioativos de baixa e média atividade e incorpora os dispositivos relevantes para o tratamento, manuseio, armazenamento e transporte dos rejeitos radioativos e controle das descargas de efluentes. Estão incluídos, no escopo do STAR, todos os rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, com exceção dos efluentes gasosos que serão tratados nos equipamentos que fazem parte dos sistemas de ventilação exaustão dos edifícios do Empreendimento.

Os principais fluxos de rejeitos radioativos recebidos serão:

- a) sólido compactável - Objetos, peças e materiais compostos principalmente de borracha, couro, papel, papelão, plástico, tecido e vidro. São exemplos de rejeito compactável: luvas, vidraria em geral, papel em geral, poliestireno expandido, mangueiras plásticas, seringas, material de higiene e proteção como algodão e estopa, sapatilhas, aventais e macacões.
- b) sólido não compactável - Objetos, peças e materiais compostos de metal, madeira, PVC, PMMA, entulho, Carvão ativo seco. São exemplos de rejeito não compactável: ferramentas, chapas e tubos metálicos e de PVC, canos, filtros de ar com estrutura metálica ou de madeira, entulho e terra.
- c) sólido úmido - Resinas de troca iônica, carvão ativo úmido, lamas e precipitados químicos, tortas. São exemplos de rejeito sólido úmido: filtros do sistema de tratamento de água de reatores e concentrados de evaporador.
- d) líquido inorgânico – Soluções aquosas resultantes de processos de produção e de descontaminação. São exemplos de rejeito líquido inorgânico: soluções aquosas do processo de produção de Mo-99 por fissão.

- e) líquido orgânico – Soluções não aquosas resultantes de processos de produção e de descontaminação. São exemplos de líquido orgânico: óleos lubrificantes de bombas e equipamentos.
- f) amostra irradiada – Amostras irradiadas resultantes de processos de produção e de pesquisa e desenvolvimento. São exemplo de amostra irradiada material oriundo de experimentos no RMB e no Laboratório de Análise de Materiais Irradiados (LAMI).
- g) Gás – Gases resultantes de processos de produção e operação, cujo período de decaimento seja longo para que seja estocado na própria instalação onde foi gerado.

As instalações do STAR serão classificadas como Instalação Radiativa e seu projeto será elaborado de forma a atender aos requisitos dos regulamentos vigentes, em particular as normas CNEN-NN-3.01 – Diretrizes básicas de radioproteção, CNEN-NE-6.02 – Licenciamento de instalações radiativas e CNEN-NE-6.05 – Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas. Outras normas e recomendações aplicáveis também serão utilizadas no projeto quando pertinentes. O projeto deverá também estar de acordo com as políticas e planos de proteção radiológica do Empreendimento.

#### 4.4.5 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O Empreendimento RMB, de concepção brasileira, deverá ser projetado e construído dentro dos padrões internacionais de segurança e confiabilidade. Aliado ao local selecionado para a instalação do RMB, numa área com cerca de 200 ha, o empreendimento será desenvolvido de acordo com os princípios de metodologia LEED, que objetivam edificações sustentáveis.

No plano diretor proposto, o Empreendimento RMB possui três áreas principais para as atividades previstas na sua primeira fase, áreas para expansão futura e áreas de preservação ambiental, conforme pode ser observado na Figura 24. As três áreas principais contêm os seguintes grupos de instalações: núcleo de produção e pesquisa; núcleo de infraestrutura e apoio; e núcleo de apoio administrativo.

##### 4.4.5.1 Descrição das Áreas

###### 4.4.5.1.1 Áreas de Infraestrutura e Apoio e Administrativa

Estas áreas abrigam instalações de serviço e apoio constituídos por construções convencionais, como prédios de administração, auditórios, hotel, oficinas entre outros. Desta maneira a construção não demandará grandes esforços nas etapas de terraplenagem, fundações e grandes movimentações de terra.

A Tabela 18 apresenta informação de área construída de prédios e instalações que compõem o núcleo administrativo e de logística.

**Tabela 18 – Área construída dos prédios do núcleo administrativo e de logística**

|                       | <b>Código</b> | <b>Prédio</b>                                | <b>Área (m²)</b> |
|-----------------------|---------------|--|------------------|
| Núcleo Administrativo | A01           | Hotel  | 1.505,20         |
|                       | A02           | Restaurante                                  | 3.782,72         |
|                       | A03           | Prédio Administrativo E Biblioteca           | 3.588,35         |
|                       | A04           | Prédio Ambulatório Médico                    | 679,50           |
|                       | A05           | Prédio De Treinamento, Auditório E Exposição | 2.422,13         |
|                       | A07           | Portaria Principal                           | 793,60           |
|                       |               |  | <b>Total</b>     |
| Núcleo De Logística   | A06           | Garagem                                      | 1076,19          |
|                       | A08           | Prédio De Apoio Aos Terceirizados            | 706,79           |
|                       | I07           | Tratamento De Resíduos Sólidos               | 261,28           |
|                       | I09           | Oficinas De Manutenção Geral Do Sítio        | 1.452,67         |
|                       | I13           | Almoxarifado                                 | 1.230,93         |
|                       |               |  | <b>Total</b>     |

#### 4.4.5.1.2 Área de Produção e Pesquisa

Esta área incorpora as instalações relacionadas às atividades de produção e as instalações auxiliares, tais como: sistemas de apoio, alimentação elétrica, sistemas de refrigeração, entre outros. Tendo em vista os requisitos técnicos específicos para instalações nucleares e radiativas. Desse modo foi selecionada uma área mais ao sul do sítio, onde foram encontradas condições geológico-geotécnicas adequadas para a localização dessas instalações.

A Tabela 19 apresenta informação de área construída de prédios e instalações que compõem o núcleo de produção e pesquisa.

**Tabela 19 – Área construída dos prédios que compõem o núcleo de produção e pesquisa**

| <b>Código</b> | <b>Prédio</b>  | <b>Área (m²)</b> |
|---------------|--|------------------|
| N01           | Prédio do reator   | 7.957,96         |
| N02           | Prédio das guias de nêutrons   | 6.260,68         |
| N03           | Prédio da estocagem de combustíveis queimados e manuseio de itens irradiados | 5.719,88         |
| N04           | Prédio processamento de radioisótopos e produção de fontes                   | 4.460,00         |
| N05           | Prédio do laboratório de materiais estruturais irradiados                    | 2.890,00         |
| N06           | Prédio do laboratório de radioquímica  | 1.565,00         |
| N07           | Prédio de suporte à operação   | 1.234,88         |
| N08           | Prédio dos pesquisadores   | 6.998,59         |
| N10           | Prédio de tratamento e estocagem de rejeitos                                 | 3.637,00         |
| N11           | Prédio da cabine primária cp-01  | 1.122,56         |
| N12           | Prédio da cabine primária cp-02  | 897,96           |
| N13           | Prédio da oficina de apoio ao reator   | 3.911,39         |
| N14           | Prédio de controle de acesso à área nuclear controlada                       | 772,10           |

| Código | Prédio                         | Área (m²)        |
|--------|--------------------------------|------------------|
| N16    | Prédio dos sistemas auxiliares | 876,76           |
|        | <b>Total</b>                   | <b>48.304,76</b> |

#### 4.4.5.2 Técnicas Construtivas

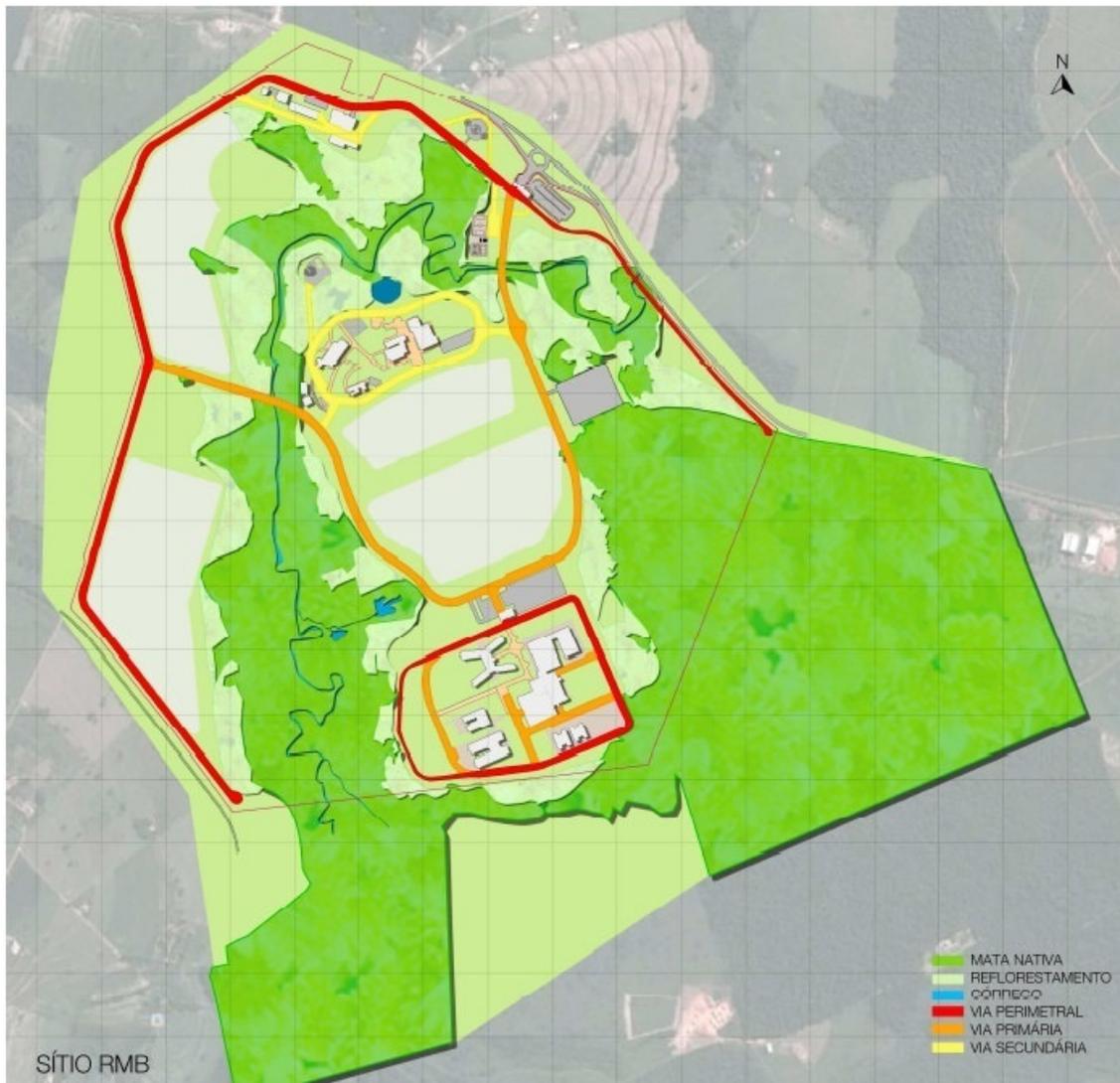
##### 4.4.5.2.1 Vias de Acesso

###### 4.4.5.2.1.1 Acesso ao RMB

O município de Iperó está localizado a aproximadamente 120 km da cidade de São Paulo. Nesta região oeste do estado podemos destacar importantes rodovias como a Raposo Tavares (SP 270) e Castelo Branco (SP280), no sentido São Paulo – Iperó, e Rodovias BR 374 e SP 079, no sentido Iperó – Campinas. Conforme indicado na Figura 24 deste documento, o acesso ao RMB ocorre através da Estrada municipal Bacaetava – Sorocaba.

###### 4.4.5.2.1.2 Vias Internas

De acordo com o conceito empregado na implantação do empreendimento RMB, o traçado das vias internas de movimentação levam em conta as necessidades de deslocamento demandadas pela produção, bem como o deslocamento de pessoal envolvido para atender as demandas internas, incluindo as pesquisas e os serviços de apoio técnico, serviços em geral e de produção. Além disso, estão sendo levados em conta no projeto a proteção das bacias hidrográficas e a redução ao mínimo necessário a supressão vegetal. A Figura 66 apresenta a proposta de vias internas para o RMB.



**Figura 66 - Sistema viário.**  
**Fonte: Intertechné, 2013.**

#### 4.4.5.2.2 Canteiro de Obras

O canteiro de obra do RMB será instalado no próprio sítio do empreendimento. Os critérios ambientais utilizados para a escolha da localização do canteiro são:

- Privilegiar áreas degradadas, demandando o mínimo de supressão de vegetação, em especial protegidas pela Lei da Mata Atlântica, Lei N° 11.428/2006 e a Lei de Proteção da Vegetação Nativa nº 12.651/2012;
- Evitar espaços preservados;
- Evitar locais em solo com características hidromórficas ou alagáveis;
- Selecionar áreas planas, demandando o mínimo de terraplanagem;

- Proposição de instalações temporárias com design que minimize a necessidade de uso de energia para iluminação e resfriamento do ar, aproveitando ao máximo a ventilação e iluminação naturais.

Novamente dentro da filosofia LEED, o canteiro de obras a ser implantado no sítio deverá possuir um sistema adequado para suprir os serviços necessários para a execução das obras, tais como:

- Fornecimento de água;
- Tratamento de esgotos sanitários;
- Energia Elétrica; e
- Drenagem de águas pluviais, visando evitar a contaminação dos recursos hídricos locais.

Os resíduos sólidos produzidos durante a construção serão adequadamente destinados conforme a legislação vigente.

#### 4.4.5.2.2.1 Terraplenagem

Para a execução dos trabalhos de terraplenagem serão atendidas as exigências normativas estabelecidas pelas normas da ABNT e quando necessárias normas da CNEN para as instalações nucleares.

As atividades de terraplanagem, envolvendo corte e aterro levarão em consideração, além dos requisitos legais, critérios de perigos e riscos de segurança do trabalho e aspectos ambientais significativos identificados neste estudo. Dessa forma, considera-se a adoção das seguintes diretrizes:

- Marcação dos limites das áreas de atuação e exclusão de atividades em áreas não autorizadas – áreas de proteção permanente, sítios arqueológicos e demais aplicáveis;
- Retirada da camada superficial do solo, sempre que necessário, com separação e destino da capa de solo orgânico e as espécies vegetais em relação ao seu potencial de aproveitamento, em conformidade com os requisitos legais locais;
- Definição de métodos de estabilidade de taludes;
- Conformação topográfica e drenagens superficiais;
- Sistemas de contenção de processos erosivos;
- Sistemas de contenção de sedimentos;
- Recuperação de áreas degradadas, incluindo a revegetação.

#### 4.4.5.2.2.2 Fundações

Em função do perfil geológico-geotécnico definido pelos levantamentos realizados e o carregamento das estruturas, a solução, de uma forma geral, será a utilização de fundações diretas no caso dos prédios nucleares e radioativos do núcleo de produção e pesquisa, e de estacas do tipo hélice contínuas para as edificações convencionais. Estas estacas são moldadas in loco, executadas mediante a introdução no terreno, por rotação de um trado helicoidal contínuo. A injeção é feita através da haste central do trado simultaneamente à sua retirada. A armadura da estaca é colocada ao término da concretagem.

#### 4.4.5.2.2.3 Estruturas (Concreto, Madeira, Metálica)

A utilização da edificação definirá a característica estrutural e o desenho arquitetônico, buscando sempre atender os requisitos estabelecidos nos critérios de projeto, além de tentar atingir a maior eficácia em termos de metodologias construtivas adequadas e materiais sustentáveis.

#### 4.4.5.2.2.4 Sistemas de Drenagem

Todas as áreas relacionadas à obra disporão de sistema de drenagem pluvial adequado às condições de solo e relevo do local, garantindo:

- Permanente condição de escoamento das águas, evitando a formação de alagamentos de qualquer natureza.
- A não ocorrência de erosão ou transporte de sedimentos para o ribeirão do Ferro e demais corpos hídricos;
- Uso de estruturas que comportem o tráfego de máquinas e equipamentos;
- Instalação de dispositivos de drenagem e contenção em todos os taludes de corte e/ou aterro, a fim de proteger as instalações e preservar o terreno contra erosão.

Drenagens superficiais serão realizadas temporariamente com o objetivo de proteção das obras e se manter a conformação de fluxo na direção e sentido originais. Assim, pretende-se também evitar a deflagração de processos erosivos e a ocorrência de assoreamento de corpos de água nas áreas de trabalho de movimentação de terra. Dessa forma, serão estabelecidos sistemas de captação e drenagem hídricos nas áreas de empréstimo ou em intervenção, onde existam solos expostos.

A drenagem superficial considerará a declividade longitudinal de encostas, a constituição dos solos e sua capacidade de coesão, de forma a evitar a geração de processos de erosão e de saturação que possam afetar a estabilidade das encostas, a abertura de ravinas de erosão na plataforma e taludes, carreamento do material de cobertura, fechamento de valas e assoreamento nas áreas efluentes.

A seleção de dispositivos de drenagem pode ser definida no projeto de engenharia com base em variáveis tais como:

- Condições locais de precipitação pluviométrica;
- Área de contribuição;
- Tempo de concentração, duração x intensidade;
- Fator “run-off”;
- Tempo de recorrência.

Como exemplo de dispositivos que poderão ser utilizados para a drenagem superficial do empreendimento, citam-se:

- Leira ou curva de nível em solo com revestimento vegetal;
- Banqueta de solo com revestimento vegetal;
- Saída lateral em locais praticáveis dos taludes de jusante dos cortes, saídas laterais executadas em curva de nível para descarga;
- Caixa de passagem e amortecimento;
- Caixa de saída com dissipadores de energia cinética;
- Canaleta contínua ou escalonada em degraus;
- Calha nos pés de taludes de corte ou aterro.

#### 4.4.5.2.2.5 Áreas de Empréstimo e Bota-fora

O projeto construtivo do RMB tem calculado os volumes de corte e aterro de forma que os mesmos sejam balanceados, evitando ou reduzindo a necessidade de utilizar áreas de empréstimo e bota-foras.

No entanto, para os casos em que sejam necessárias fontes externas de recursos minerais para a realização da obra, os mesmos serão adquiridos em jazidas comerciais, devidamente licenciadas, localizadas próximas do local, de maneira a reduzir a atividade de transporte.

Com relação aos materiais rochosos e resíduos sólidos de construção, deverão ser armazenados em uma área interna preparada no sítio visando o seu aproveitamento futuro. As eventuais sobras serão destinadas para locais previamente determinados e adequados ao recebimento.

#### 4.4.5.2.2.6 Transporte de Materiais e Equipamentos

As rodovias principais que dão acesso ao empreendimento são a Rodovia Presidente Castelo Branco; Rodovia Emereciano Prestes de Barros. O acesso direto ao empreendimento se dá pela Estrada Municipal Bacaetava – Sorocaba. Esta é uma via de mão simples e que já é alvo de projeto de duplicação pela Prefeitura de Iperó. As atividades

de transporte guardarão conformidade com a NBR 14619-1/2003. Nas áreas externas do canteiro de obras, serão adotados os seguintes procedimentos:

- Serão tomadas medidas de segurança redobradas em relação ao tráfego e sinalização nas áreas urbanas, situadas nas proximidades dos pontos de apoio logístico ao empreendimento;
- Os motoristas responsáveis pelo transporte de material nas áreas externas ao canteiro de obras serão adequadamente orientados quanto aos cuidados relativos ao trânsito em áreas que envolvam riscos para animais e pessoas;
- Os motoristas terão treinamento em direção defensiva
- Eventuais interferências com vias e/ou serviços de utilidade pública deverão ser comunicadas com antecedência para providências quanto ao remanejamento ou adequação do projeto/obras complementares.

Para a movimentação interna no canteiro, serão adotados os seguintes procedimentos:

- Os operadores de máquinas internos ao canteiro de obras deverão ser adequadamente orientados para os cuidados relativos ao trânsito de pessoal bem quanto às capacidades de carga das estradas internas;
- A distribuição do transporte ao longo do dia será organizada de forma a evitar concentração da atividade num único período;
- Os motoristas serão devidamente treinados em práticas que visem à redução de acidentes.

#### 4.4.5.2.2.7 Fontes de Energia

A energia será transmitida e fornecida pela concessionária Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL - Piratininga).

Salientam-se os cuidados a fim de garantir o uso parcimonioso e restrito ao estritamente necessário, com avisos impressos em paredes e inclusão do tema na formação dos trabalhadores da obra.

Na medida do possível, serão adotadas instalações temporárias dos canteiros com design que minimize a necessidade de uso de energia para iluminação e resfriamento do ar, aproveitando ao máximo a ventilação e iluminação naturais.

#### 4.4.5.2.2.8 Abastecimento de Água

A água destinada para os canteiros para utilização humana nos escritórios, alojamentos, sanitários e refeitórios será compatível com a demanda estabelecida pelo consumo de água per capita de 80 l/dia, considerando que não é prevista a implantação de alojamentos para os trabalhadores durante as fases de construção e montagem do empreendimento. Todo o sistema de abastecimento será protegido contra contaminação, especialmente caixas d'água

e reservatórios, através da escolha adequada de sua localização, cercas, sistema de vedação e obras similares.

- A utilização da água será parcimoniosa, conforme a finalidade específica a que se destina, e serão adotados cuidados avisos impressos em paredes e inclusão do tema na formação dos trabalhadores da obra.

#### 4.4.5.2.2.9 Sistemas de Saneamento Básico

Os efluentes orgânicos domésticos oriundos dos vestiários, administração e refeitórios do canteiro de obras serão devidamente tratados.

Para a estimativa da quantidade de efluentes orgânicos gerados, foi adotado o consumo de 80 litros/dia per capita, já que a mão de obra não ficará alojada no canteiro, considerando o tratamento de 100% da água consumida.

Todo o esgoto doméstico dos canteiros de obras será tratado por meio da instalação de Sistema de Tratamento de Esgoto Compacto, instalado no canteiro de obra, atendendo o ápice de demanda de mão de obra, com os seguintes critérios:

- No controle das condições de lançamento, será vedada, para fins de diluição antes de seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como água de abastecimento, pluviais e sistema aberto de refrigeração sem circulação.
- Atender aos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA 430/2011;
- Sistema estanque, garantindo a não contaminação do lençol freático.
- Dimensionamento de unidades por sistema será feito de acordo com o número de usuários em momento de pico, por canteiro, considerando o consumo de 80 l/dia;
- Tratamento de 100% da água consumida.

Com relação aos efluentes oleosos provenientes da oficina de lavagem dos veículos, oficina mecânica, borracharia, etc, os mesmos serão encaminhados para um sistema separador de água e óleo dotado de caixa decantadora e separador de água e óleo, antes de seguirem para o sistema de esgoto.

O óleo capturado nos sistemas separadores será removido por caminhão a vácuo, ou outros meios, acondicionado em tambor e posteriormente transportado para a Central de Resíduos da construtora e, enfim, para avaliação definição quanto ao tratamento e destino final.

Para o caso dos efluentes com resíduos sólidos sedimentáveis provenientes das atividades de concretagem e de águas pluviais que carregam sedimentos, os mesmos serão encaminhados para um tanque de decantação para realizar o tratamento dos efluentes gerados por essa atividade, devendo separar os resíduos sólidos sedimentáveis. Após essa separação, o efluente será encaminhado para o Sistema de Tratamento de Esgoto.

Os critérios adotados para o dimensionamento serão baseados na vazão do efluente gerado e o tempo de residência necessário para sedimentação dos sólidos, determinando o volume das lagoas para realização do tratamento.

Os sólidos acumulados serão removidos periodicamente e dispostos provisoriamente em pátio para secagem para reaproveitamento na obra, ou encaminhamento para aterro licenciado.

#### 4.4.5.3 Demanda de Mão de Obra

É objetivo da CNEN/IPEN incluir no processo de contratação das obras civis e de montagem eletromecânica que as empreiteiras utilizem o máximo possível de mão de obra local/regional, buscando minimizar as questões de transporte, alojamento e pressão sobre a infraestrutura de serviços locais (saúde, educação, moradias, etc.).

Tabela 20 – Estimativa do número de trabalhadores na obra/ano

| Ano | Número de trabalhadores       |  |
|-----|-------------------------------|--|
|     | Núcleo de Produção e Pesquisa | Núcleo de Apoio e Administração e Infraestrutura |
| 1   | 180                           | 100  |
| 2   | 240                           | 120  |
| 3   | 280                           | 100  |
| 4   | 180                           | 80   |

#### 4.4.5.4 Procedimentos Especiais

##### 4.4.5.4.1 Saúde Laboral

Será implantado um programa de prevenção e riscos para os trabalhadores em geral, além da ênfase aos programas de prevenção à dependência química e DST.

Todos os requisitos estabelecidos pelas normas regulamentadoras da saúde e segurança do trabalhador serão rigorosamente implantados e fiscalizados.

Tendo em vista a filosofia preventiva de trabalho essas ações serão sistemática e exaustivamente difundidas ao longo de toda implantação do RMB.

##### 4.4.5.4.2 Conservação da Vegetação

A área de instalação do RMB é dotada de remanescentes florestais que se caracterizam como a Área de Preservação Permanente do ribeirão do Ferro e fragmentos florestais que permitem conectividade com a Floresta Nacional de Ipanema (Mapa 2).

A partir das informações de layout do RMB (Figura 24), verifica-se que a limpeza do terreno atingirá principalmente a cobertura vegetal rasteira, existente no terreno. A supressão de espécies arbóreas será pontual e realizada mediante a obtenção de Autorização de Supressão de Vegetação (ASV).

O projeto conceitual do RMB tem sido elaborado de modo a reduzir ao máximo a necessidade de interferência nos fragmentos florestais existentes na área (Figura 24). Considerando o exposto, quando da elaboração do projeto executivo, o mesmo deverá seguir o conceito de não prever a instalação de edificações nos remanescentes florestais. Portanto, além de dar preferência à locação de obras e atividades de apoio em áreas com pouca cobertura vegetal, deve-se aproveitar ao máximo os acessos já existentes na área, evitando a necessidade de abertura de novos acessos.

Para os casos em que não seja possível evitar a abertura de novas estradas de acesso ou instalação de estruturas em locais com vegetação rasteira, o projeto deve propor alternativas de menor impacto, alterando quando possível o formato e desenho de instalações e até mesmo a concepção das estruturas necessárias. Busca-se assim, otimizar a área de ocupação e uso de determinada instalação e/ou atividade e reduzir a necessidade de supressão de vegetação.

## 5 TRANSPORTE DE MATERIAIS NUCLEARES E RADIOATIVOS

### 5.1 PLANO DE TRANSPORTE

#### 5.1.1 OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

O Plano de Transporte foi elaborado com o objetivo de estabelecer padrões de segurança, durante o transporte de material combustível nuclear, que permitam assegurar que o transporte de material radioativo seja mantido dentro de um nível de radiação admissível para as pessoas propriedades e meio ambiente.

Os materiais radioativos de e para o Empreendimento RMB seguirão normas específicas e não possuem um plano de transporte único.

Este plano inclui procedimentos de segurança durante carga e descarga. Inclui também procedimentos de proteção radiológica em situação normal e de emergência. É baseado nas normas: "Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica" (CNEN-NN-3.01), "Transporte de materiais radioativos" (CNEN-NE-5.01), RESOLUÇÃO 420 da ANTT e "Regulamento para a execução do serviço de transporte de produtos perigosos" aprovado pelo decreto 96.044 de 18/05/88.

Aplica-se ao transporte de Elemento Combustível Nuclear e Placas de Alvo de Urânio desde o Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN, Av. Prof. Lineu Prestes 2242 – Cidade Universitária, São Paulo, SP até o Reator Multipropósito Brasileiro, km 14 da Rodovia Sorocaba - Iperó, SP.

#### 5.1.2 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL- MATERIAL A SER TRANSPORTADO

##### 5.1.2.1 Forma Física

Cada conjunto de combustível incluiu 21 placas de combustível, contendo cada uma até 117 g de urânio. O elemento combustível é feito a partir de partículas de  $U_3Si_2$  enriquecido a  $19,75\% \pm 0,20\%$  de  $^{235}U$  em uma matriz de alumínio e revestimento em alumínio.

| Item                               | Especificação  |
|------------------------------------|--|
| <b>COMBUSTÍVEL NUCLEAR</b>         |  |
| Tipo de combustível                | $U_3Si_2$ disperso em Al                               |
| <b>ELEMENTO COMBUSTÍVEL (EC)</b>   |  |
| Dimensões da seção transversal     | 80,49 mm x 80,49 mm                                    |
| Número de placas combustíveis      | 21   |
| Comprimento ativo                  | 615 mm   |
| Largura ativa                      | 65 mm  |
| Espessura da placa combustível     | 1,35 mm (placas internas)<br>1,50 mm (placas externas) |
| Dimensões do canal de refrigeração | 2,45 mm x 70,5 mm                                      |

| Item   | Especificação                     |
|--|-----------------------------------|
| Espessura do "meat" combustível                | 0,61 mm                           |
| <b>NÚCLEO ATIVO (meat)</b>                     |                                   |
| Densidade do $U_3Si_2$                         | 12,2 g/cm <sup>3</sup>            |
| Densidade máxima do urânio no "meat"           | 4,8 g/cm <sup>3</sup>             |
| Densidade do "meat"                            | 6,5 g/cm <sup>3</sup>             |
| Fração em volume do Al na mistura              | 60 %                              |
| <b>PÓ DE <math>U_3Si_2</math></b>              |                                   |
| Composição isotópica (teor de $^{235}U$ no pó) | 19,75 ± 0,20 % em peso do U total |
| Teor de urânio total                           | ≥ 91,3 % em massa                 |
| Teor de silício                                | ≥ 7,4 % em massa                  |
| <b>PÓ DE Al</b>                                |                                   |
| Teor de Al                                     | ≥ 99,5 % em massa                 |
| <b>REVESTIMENTO (cladding)</b>                 |                                   |
| Material do revestimento                       | Liga de Al (6061)                 |
| Densidade do Al                                | 2,7 g/cm <sup>3</sup>             |

O combustível para produção de  $^{99}Mo$  é o  $UAl_x$  disperso em pó de alumínio e está na forma de placa combustível com revestimento de alumínio. O cerne (região de combustível) tem 0,76 mm de espessura, 24 mm de largura e 130 mm de altura. As dimensões externas da placa são: 1,52 mm de espessura, 30 mm de largura e 150 mm de altura. Cada placa tem 7,15 g de urânio com enriquecimento de 19,75 % ± 0,20 % de  $^{235}U$ .

A irradiação dos alvos para produção de  $^{99}Mo$  será feita em um dispositivo (RIG) que pode conter até 3 porta-alvos. Em cada porta-alvo serão colocadas 4 placas combustíveis.

### 5.1.2.2 Quantidade

O material a ser transportado com uma frequência mensal é constituído por um arranjo de 6 elementos combustíveis e até 100 placas alvo. Cada elemento combustível contém até 2457 g de urânio sendo aproximadamente 485 g de  $^{235}U$ . As 100 placas alvo contém aproximadamente 715 g de urânio sendo 141 g de  $^{235}U$ . Portanto, o total de material a ser transportado é de até 15457 g de urânio (3053 g de  $^{235}U$ ).

O conjunto a ser transportado é classificado como material físsil. Os embalados satisfazem as condições de segurança quanto a possibilidade de criticalidade.

A folha de dados do embalado para elemento combustível deverá descrever e conter as seguintes informações:

- Identificação do Embalado
- Descrição do Embalado e Conteúdo Radioativo Autorizado (conforme descrição elaborada pela autoridade competente na emissão do certificado):
  - Comprimento total
  - Diâmetro externo

- Peso nominal do cilindro
- Cavidade mínima de volume livre
- Teste de pressão

As principais funções de segurança e elementos importantes para a segurança dos embalados são:

- a contenção assegurada pelo embalado;
- a proteção radiológica assegurada pelo embalado;
- a segurança quanto a criticalidade assegurada pelo sistema de confinamento;
- a liberação de calor interna assegurada pelo embalado;
- a proteção contra impacto assegurada pelos absorvedores de impacto do embalado;
- a proteção contra incêndio assegurada pelo embalado.

### 5.1.3 RISCOS INERENTES AO TRANSPORTE

Estes riscos são a exposição à radiação direta e difusa, e contaminação e irradiação devido a um acidente de criticalidade.

#### 5.1.3.1 Risco de Irradiação

Risco de que durante o transporte se irradiem pessoas ou materiais em condições normais, como consequência de que é praticamente impossível reduzir a zero o nível de radiação emergente da embalagem, tal como se apresenta para transporte; e nos incidentes habituais de transporte nos quais o nível de radiação emergente pode ser aumentado como consequência do deslocamento da embalagem, da destruição parcial ou total da embalagem, ou como consequência da liberação do conteúdo radioativo por destruição do sistema de contenção.

#### 5.1.3.2 Risco de Criticalidade

O risco de criticalidade é característico do transporte de substâncias físséis e implica na possibilidade de que durante o transporte o(s) embalado(s) chegue(m) a conformar um conjunto crítico, seja por situações acidentais ou em situações normais, decorrente da penetração de água na embalagem; diminuição entre partes do conteúdo radioativo; ou possíveis efeitos de variação na temperatura.

### 5.1.4 CRITICALIDADE

Será determinado um número N de embalados que em qualquer forma de empilhamento e circundado por um refletor de água que cumpra com as seguintes exigências:

- 5 N embalados intactos, sem que exista nada entre eles devem ser subcríticos.
- 2 N embalados danificados que possuam moderação ótima entre eles serão subcríticos.

#### 5.1.4.1 Controle da Reatividade – Unidade Isolada

Uma unidade isolada será considerada quando um embalado para transporte for constituído por um volume com seu conteúdo mais um pacote de embalado destinado para que o conjunto apresente uma resistência estrutural e térmica adequada frente às condições acidentais de transporte.

Uma única unidade para o volume consiste do embalado com refletor de água infinito. Este caso deveria apresentar essencialmente um valor de  $k_{ef}$  idêntico ao arranjo infinito com água (SG=1) porque a água atua como um refletor infinito.

O limite de tolerância inferior (limite subcrítico) se encontra entre 0,953 e 0,961. Por conservadorismo e conveniência foi escolhido o valor de 0,95 como limite subcrítico superior para o  $k_{ef}$ . Portanto, o critério de aceitação para os resultados dos cálculos é o  $k_{ef}$  informado mais dois desvios padrões, e este resultado deve ser menor que 0,95.

O valor de  $k_{ef}$  para a condição de moderação intersticial ótima considerando que não haja penetração de água no volume transportado deverá ser determinado a cada evento de transporte para o embalado com 6 elementos combustível com 19,75% de enriquecimento de  $^{235}\text{U}$  em peso. Uma vez que este é o valor máximo apresentado para o embalado, o critério de limite subcrítico superior para  $k_{ef}$  menor que 0,95 em condições de moderação intersticial estará assegurado. Este  $k_{ef}$  mostra invariável a efeitos de espaçamento e variação da temperatura no embalado, e corresponde a um arranjo infinito de embalados com moderação intersticial ótima; portanto, são atendidas tanto as condições normais como acidentais para material físsil da classe I. Este cálculo deve ser considerado conservativo devido a ausência do material do sobre-embalado. O grau de conservadorismo do  $k_{ef}$  é estimado em 20% para o embalado.

Baseado nesta avaliação, embalado para elemento combustível com 19,75% de enriquecimento de  $^{235}\text{U}$  em peso atende às exigências regulamentadoras para o transporte de embalados contendo material físsil classe I, e possui **ISC** igual a zero para propósitos de segurança de criticalidade.

#### 5.1.5 REQUISITOS PARA EMBALADOS TIPO A, CONTENDO MATERIAL FÍSSIL

Deverão ser atendidos os requisitos de projeto prescritos, na norma CNEN-NE-5.01, para embalado Tipo A de acordo com a subseção 6.4, (ensaios exigidos: queda livre, empilhamento, jato d'água e penetração). Deverão também ser realizados os testes específicos para material físsil, ou seja, teste de canto (altura de 30 cm) e teste de vazamento, com posterior verificação da integridade do sistema de contenção da embalagem de acordo com os itens A.4.2.3.b, A.4.5.3, A.4.6 da norma acima.

## 5.1.6 TRANSPORTE

### 5.1.6.1 Característica do Recipiente de Transporte

O embalado com capacidade máxima para 6 elementos combustível e enriquecimento máximo em  $^{235}\text{U}$  de 19,75% ainda encontra-se em fase de projeto. O embalado será considerado na posição horizontal, e o conteúdo do embalado estará em estado sólido ocupando o volume correspondente à massa nominal, e grau de enriquecimento isotópico 19,75% em peso de  $^{235}\text{U}$ .

### 5.1.6.2 Condições para o Transporte

O meio de transporte a ser empregado é um veículo rodoviário sob a responsabilidade do IPEN-CNEN/SP. O veículo estará em perfeito estado de conservação mecânica e elétrica.

O carregamento do veículo será feito por pessoal habituado a manusear material nuclear, com todos os equipamentos de segurança e proteção necessários, acompanhado por técnicos de proteção radiológica lotados no Serviço de Proteção Radiológica do IPEN (empresa expedidora do material).

### 5.1.6.3 Disposição da Carga no Veículo

A carga estará disposta, no veículo, de maneira tal que não venha sofrer inundação por águas de chuva e deslocamentos durante o movimento do veículo. Um embalado para transporte de elemento combustível é um embalado que deve suportar condições acidentais sem alterar a contenção, não se considera penetração nem vazamento de água dos embalados.

A carga será disposta no veículo de tal maneira que se manterá fixa mesmo na ocorrência de impactos mecânicos. O embalado será fixado no veículo por meio de correias presas aos dispositivos de fixação do container. O transporte será executado sob uso exclusivo.

### 5.1.6.4 Dados sobre o Veículo de Transporte

As características do veículo que transportará a carga devem apresentar a seguintes informações:

- Marca:
- Modelo:
- Tipo:
- Placa:
- Velocidade média a ser desenvolvida: 70 km/h
- Velocidade máxima admitida: 80 km/h
- Empresa transportadora: IPEN-CNEN/SP

- Endereço da empresa transportadora:
  - Av. Prof. Lineu Prestes # 2242 – Cidade Universitária – São Paulo - SP
- Motorista Caminhão
  - Carteira de Habilitação:
- Motorista Van
  - Carteira de Habilitação:

## 5.2 ROTAS DE TRANSPORTE

A rota definida para o transporte do material nuclear e radioativo é apresentada a seguir, e a Figura 67 apresenta a ilustração para os trechos definidos:

- Trecho: Transporte desde o Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN, Av. Prof. Lineu Prestes n° 2242 – Cidade Universitária, São Paulo, SP até o Reator Multipropósito Brasileiro - Centro Experimental Aramar/ CEA, km 12,5 Rodovia Sorocaba-Iperó, Iperó, SP.
- Avenidas e rodovias utilizadas: Avenida das Nações (BR-116); Rodovia Presidente Castelo Branco (BR 374/ SP 280); Rodovia Emereciano Prestes de Barros (BR-478/SP-097); Estrada Municipal Bacaetava-Sorocaba.

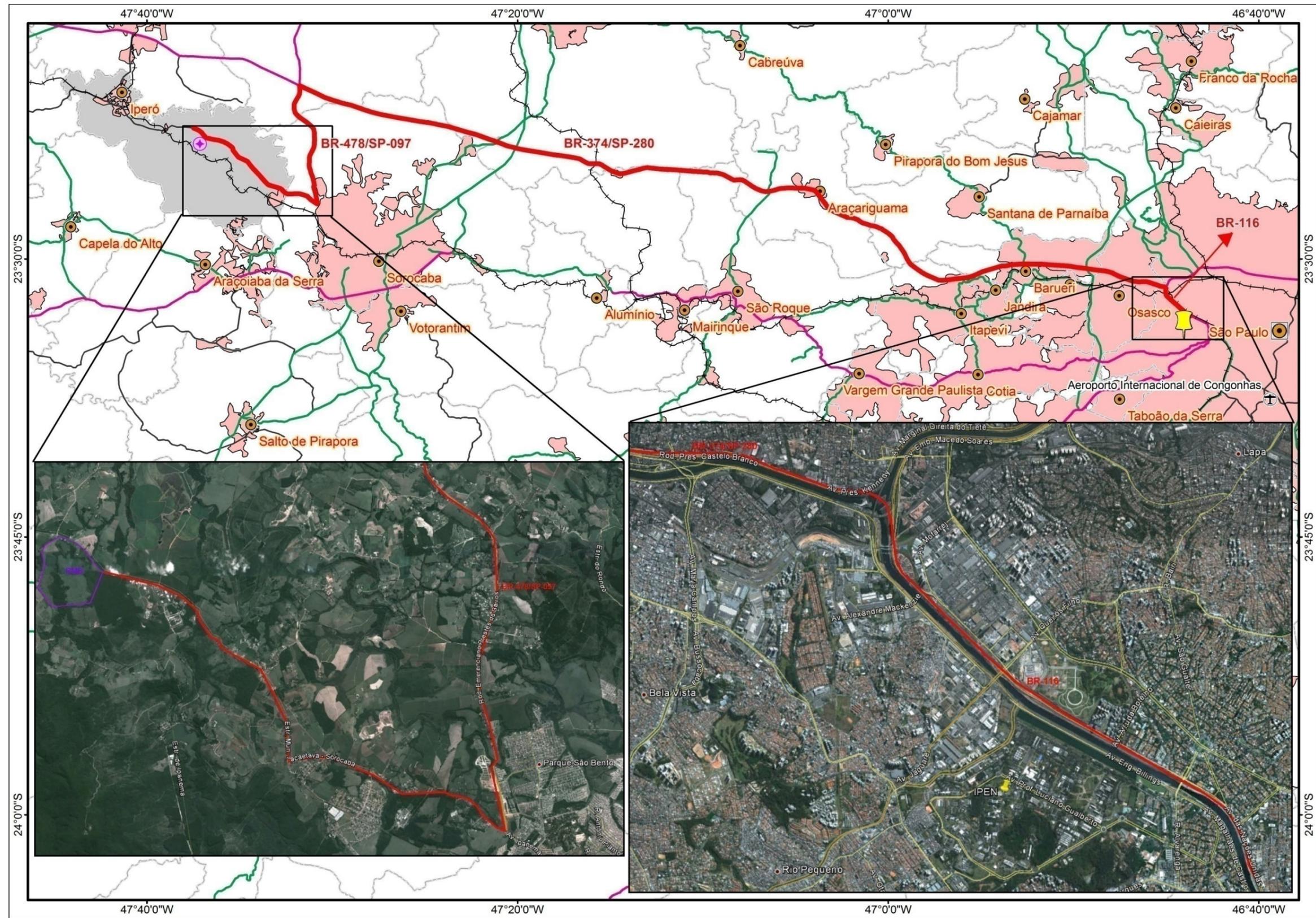


Figura 67 – Rota de transporte do material do IPEN para o RMB.

## 5.3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

### 5.3.1 RECURSOS EMPREGADOS

#### 5.3.1.1 Recursos Humanos

O transporte será acompanhado pelos técnicos em proteção radiológica, segurança física e operadores da instalação do IPEN-CNEN/SP, que coordenarão os procedimentos rotineiros de Proteção Radiológica, bem como as atividades em situação de emergência.

Cada comboio terá os seguintes participantes:

- Proteção Radiológica (GRP)
- Proteção Radiológica (GRP)
- Segurança Física
- Segurança Física
- Segurança do Trabalho (GBS/SEST)
- Operador da Instalação (CCN)
- Operador da Instalação (CCN)

Durante o transporte entre o IPEN e o RMB existirá uma equipe de emergência de prontidão nas dependências do IPEN e será constituída por técnicos de proteção radiológica.

#### 5.3.1.2 Recursos Materiais

A equipe portará dosímetro individual, e se necessário os seguintes materiais e equipamentos descritos a seguir:

- Materiais
  - Conjunto para isolamento de área contendo corda de nylon, suportes para corda, etiquetas para sinalização de área;
  - Extintores de incêndio - CO<sub>2</sub> com capacidade de 6 kg cada;
  - Máscara tipo facial - panorama com filtro B900ST.
- Equipamentos
  - Monitor tipo Geiger-Müller;
  - Monitor teletector;
  - Canetas dosimétricas;
  - Carro da emergência em regime de prontidão no IPEN-CNEN/SP.

### 5.3.2 PROCEDIMENTO RELATIVO AO CARREGAMENTO

O material a ser transportado estará acondicionado nos embalados sendo que:

- A capacidade máxima do embalado para elemento combustível: 6 elementos (quantidade transportada: 14742 g de urânio);
- A capacidade máxima do embalado para placa alvo: 100 unidades (quantidade transportada: 715 g de urânio).

Para que o embalado seja liberado para transporte, são realizadas monitorações. Após a monitoração o embalado é etiquetado. Se a embalagem apresentar contaminação será descontaminada antes de ser liberada para transporte, sendo que a contaminação não fixada nas superfícies externas não excederá em condições normais de transporte  $4 \text{ Bq/cm}^2$  ou  $10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$ .

Após a liberação, o embalado será cintado e colocado por meio de uma empilhadeira (que traciona o embalado) no veículo. Cada embalado será fechado com auxílio de parafusos, monitorado e etiquetado. A etiqueta de transporte será definida em função dos limites de NRM na superfície e IT (conforme norma CNEN-NE-5.01) e ISC.

O embalado será então fixado no veículo por meio de cintas que serão conectadas ao piso do caminhão evitando assim que eles mudem de posição durante o transporte. A carga do caminhão será limitada a 1 (um) embalado para elemento combustível e 1 (um) embalado para placa alvo.

Terminado o carregamento a equipe de Proteção Radiológica efetuará as medidas dos níveis de radiação externo ao caminhão e preencherá a Ficha de Monitoração do Veículo.

### 5.3.3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

O técnico de proteção radiológica deverá preencher os formulários de inspeção que constam no Formulário de Vistoria de Carregamento e Descarregamento, bem como acompanhar todas as operações de carga e descarga de material.

O veículo deverá dirigir-se, sem nenhuma parada prevista, para o local onde receberá ou entregará a carga contendo o material e respectiva documentação requerida pelas normas CNEN-NE-5.01 e Ministério dos Transportes:

- Ficha de Monitoração do Veículo (Figura 68)
- Formulário de Vistoria de Carregamento e Descarregamento (Figura 69)
- Declaração do Expedidor de Material Radioativo (Figura 70)
- Ficha de Emergência (Figura 71)
- Envelope de Emergência (Figura 72)

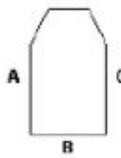
|  |   | <b>Ficha de Monitoração de Veículo</b> |                              |  |
|---|---|--|------------------------------|--|
| Expedidor:  |   |  |                              |  |
| Endereço:   |   |  |                              |  |
| Transportadora:   |   |  |                              |  |
| Endereço:   |   |  |                              |  |
| <b>CARGA</b>  |   |  |                              |  |
| MATERIAL  |   | QTD. CAIXAS                            | IT*                          |  |
|   |   |  |                              |  |
|   |   |  |                              |  |
|   |   |  |                              |  |
| TOTAL DE CAIXAS.....  |   |  | XXXXXXXXXX                   |  |
| TOTAL IT (* ÍNDICE DE TRANSPORTE).....  |   |  |                              |  |
| <b>TRANSPORTE</b>   |   |  |                              |  |
| PONTOS  | ESPECIFICAÇÃO   | TAXA DE DOSE ( $\mu$ Sv/h)             |                              | CROQUI   |
|   |   | SUPERFÍCIE                             | 2 METROS                     |  |
| A   | LATERAL ESQUERDA  |  |                              |  |
| B   | TRASEIRA  |  |                              |  |
| C   | LATERAL DIREITA   |  |                              |  |
| CABINE DO MOTORISTA:  |   | $\mu$ Sv/h                             |                              |  |
| <b>VEÍCULO</b>  |   |  |                              | <b>MONITOR UTILIZADO</b>   |
| MODELO  |   |  |                              | MARCA:   |
| PLACA   |   |  |                              | MODELO:  |
| OCUPANTES   |   |  |                              | SÉRIE:   |
| TIPO  | <input type="checkbox"/> SIMPLES <input type="checkbox"/> CONJUGADO <input type="checkbox"/> ARTICULADO |  |                              | PATRIMÔNIO:  |
| SINALIZAÇÃO   | <input type="checkbox"/> 2 ETIQUETAS LATERAIS <input type="checkbox"/> 1 ETIQUETA TRASEIRA              |  |                              |  |
| <b>TRANSPORTE</b>   |   |  | <b>PROTEÇÃO RADIOLÓGICA</b>  |  |
| RESPONSÁVEL:  |   |  | SUPERVISOR:                  |  |
| ASSINATURA:   |   |  | TÉCNICO:                     |  |
|   |   |  | LOCAL/DATA:                  |  |
| 1ª via: Transportador   |   |  | 2ª via: Proteção Radiológica |  |

Figura 68 - Ficha de Monitoração de Serviço.

| LISTA DE VERIFICAÇÃO  |                    |  |   |
|---|--------------------|--|---|
| Embalado Inspeccionado  |                    | Atende a todas exigências regulatórias.                                    | Não atende a todas as exigências regulatórias |
| Data:   | Inspeccionado por: | Data:  | Verificado por:                               |
| Ações corretivas verificadas, o embalado atende com todas as exigências regulatórias. |                    |  |   |
| Declaração do Expedidor   |                    | Embalado – Parte Interna   |   |
| Emitida conforme prescreve a norma  |                    | Possui material absorvente para resistir a impacto                         |   |
| Identificação do Material   |                    | Possui marcas de orientação  |   |
| Identificação do número UN  |                    | Verificado quanto a vazamentos   |   |
| Identificação do tipo de embalado   |                    | Contem selagem nas válvulas  |   |
| Identificação própria do material   |                    | Identificação  |   |
| Identificação do risco subsidiário  |                    | Possui todos os rótulos necessários  |   |
| Quantidade de material  |                    | Possui todas as marcas necessárias   |   |
| Identificação do sobre-embalado   |                    | Apresenta identificação visível e em boas condições                        |   |
| Embalado – Parte Externa  |                    | Se Aplicável   |   |
| Embalado em condições adequadas   |                    | Certificados de aprovação anexados   |   |
| Realizado os monitoramentos   |                    | Autorizações das autoridades regulatórias anexadas.                        |   |
| Pontos de fixação em condições de uso   |                    | Disposição no Veículo  |   |
| Especificações do embalado atende as exigências regulatórias                          |                    | Fixado de maneira correta  |   |
| Condições de Carregamento   |                    | Condições de Descarregamento   |   |
| Foram disponibilizados os meios adequados para o carregamento da carga.               |                    | Foram disponibilizados os meios adequados para o descarregamento da carga. |   |
| Foram apresentados todos os documentos necessários para o transporte da carga.        |                    | A carga apresenta-se conforme o declarado nos documentos para transporte.  |   |
| Observações:  |                    |  |   |

Figura 69 - Formulário de Vistoria de Carregamento e Descarregamento.



### TELEFONES ÚTEIS

193- Corpo de Bombeiros  
190- Policia Militar  
156- Município de São Paulo – Policiamento de Trânsito  
199 – Defesa Civil  
0xx11-3030-7000 – Meio Ambiente – CETESB 24 h – Centro de Controle  
0xx11- 3030-6000 – Meio Ambiente – CETESB

Figura 71 - Ficha de Emergência.

ESTE ENVELOPE CONTÉM INFORMAÇÕES IMPORTANTES.  
LEIA O CUIDADOSAMENTE ANTES DE INICIAR A SUA VIAGEM.

EM CASO DE EMERGÊNCIA ESTACIONE SE POSSÍVEL EM ÁREA VAZIA.  
AVISE A POLÍCIA (190) E AO CORPO DE BOMBEIROS (193). TELEFONE A CUBENAS (110), PARA SOLICITAR O DE  
CARRICAMENTO OU PARA O TELEFONE.....

**EM CASO DE ACIDENTE:**  
EMERGÊNCIA - TELEFONES PARA MAIORES INFORMAÇÕES: ESPECIFIQUE:

DOCUMENTOS QUE ACOMPANHAM ESTE EMBARQUE

NOTA FISCAL

TRANSPORTADORA

**"OUTRAS PROVIDÊNCIAS"**

- ISOLAR A ÁREA AFASTANDO OS CONJUGOS.
- SINALIZAR O LOCAL DO ACIDENTE.
- ELIMINAR OU MANTER AFASTADAS TODAS AS FONTES DE IGNICÃO:  
COMO CIGARROS, MOTORES, LANTERNAS E OUTROS.
- ATENDER AS RECOMENDAÇÕES DAS FICHAS DE EMERGÊNCIA.
- ENTREGAR AS FICHAS DE EMERGÊNCIA AOS SOCORROS  
PÚBLICOS ASSIM QUE CHEGATEM.
- AVISAR IMEDIATAMENTE AO TRANSPORTADOR, AO EXPEDIDOR  
DO PRODUTO, AO CORPO DE BOMBEIROS E À POLÍCIA.

Figura 72 - Envelope de Emergência.

#### 5.3.4 PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM CONDIÇÕES NORMAIS

##### 5.3.4.1 Monitoração Individual

A monitoração é feita por meio de dosímetros individuais durante o transporte do material radioativo, desde o seu carregamento até o seu descarregamento no local de destino.

##### 5.3.4.2 Monitoração da Radiação Emitida pelo Conteúdo Radioativo e Condição de Criticalidade

Para evitar o risco de irradiação em condições normais estabelece-se um valor máximo de taxa de dose em contato com a embalagem e outro a um metro de distância do mesmo.

No caso particular de materiais físséis cada embalado para transporte deve cumprir com as exigências de segurança relacionada com os acidentes de criticalidade. Cada conjunto de embalado deve manter subcriticalidade nas condições prováveis que se dêem durante o transporte normal e em casos de acidentes.

###### 5.3.4.2.1 Classificação do Embalado pela Criticalidade

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que a unidade isolada se manterá subcrítica tanto intacta como danificada.

O índice de segurança para criticalidade - **ISC** será estabelecido como **zero** para propósitos de segurança de criticalidade.

###### 5.3.4.2.2 Monitoração Durante a Operação de Carregamento do Veículo

Serão feitas medidas da taxa de dose na superfície e a um metro do pacote de embalado.

Serão preenchidos os formulários constantes da Norma para Transporte de Material Radioativo, CNEN-NE-5.01 (Figura 68).

##### 5.3.4.3 Monitoração após o Carregamento do Veículo

Para liberação do transporte, será efetuada a monitoração (taxa de exposição) em todo o veículo, incluindo a cabine do mesmo, sendo que caso as taxas de exposição na cabine sejam superiores a 0,02 mSv/h, os ocupantes da cabine deverão portar dosímetro individual, conforme norma, conforme prescreve a Norma CNEN-NE-5.01..Será preenchido o formulário cujo modelo encontra-se no Figura 69.

###### 5.3.4.3.1 Etiquetas para Transporte

Para estabelecer medidas operativas de segregação, serviço de carga e descarga, carga máxima por veículo são estabelecidas três categorias de embalado.

A pessoa responsável pela proteção radiológica determinará a categoria de transporte do embalado, em base à monitoração, bem como colocará as respectivas etiquetas para

transporte, cujo modelo encontra-se na Figura 73, conforme prescreve a Norma para Transporte de Material Radioativo. A necessidade de se etiquetar o embalado externamente, coerentemente com seu conteúdo radioativo é evitar riscos por ignorância ou desconhecimento.

O veículo que será utilizado no transporte também conterà as etiquetas relativas ao transporte de material radioativo constantes na Figura 74. O veículo que será utilizado no transporte conterà as etiquetas relativas ao transporte de material radioativo, corrosivo e placa para nº ONU 2977.

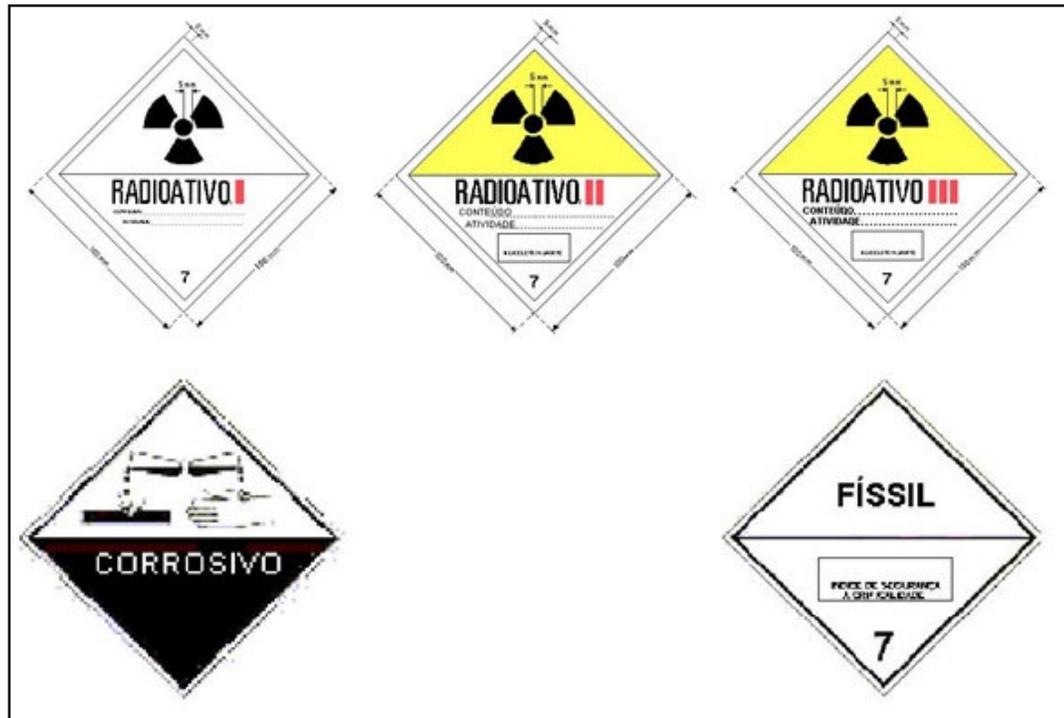


Figura 73 - Rótulos de Categoria de Risco e Índice de Segurança de Criticalidade.

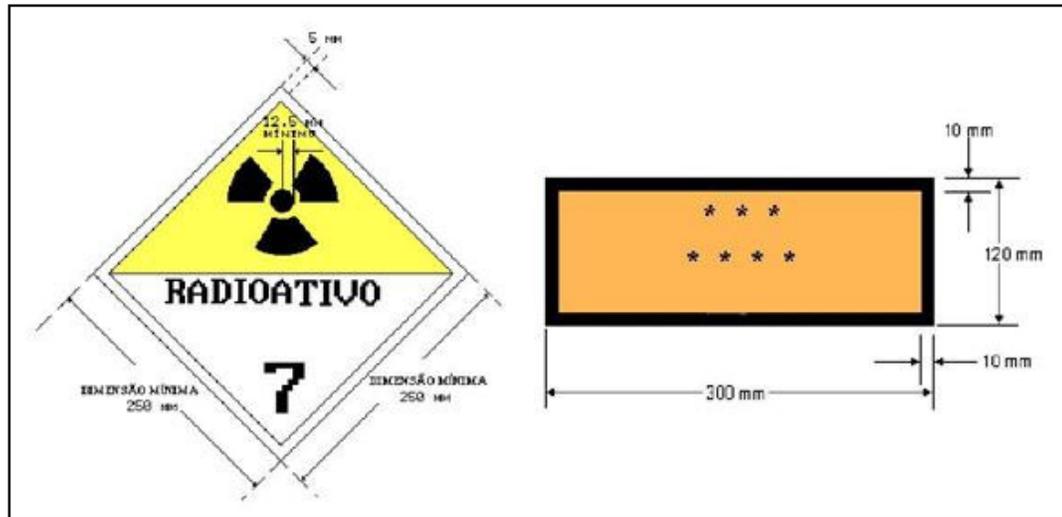


Figura 74 - Placar para Material Radioativo e Indicativo do Número ONU.

#### 5.3.4.4 Cuidados Tomados Durante as Paradas Previstas

Durante as paradas previstas será feito um revezamento de pessoal junto ao veículo para evitar a aproximação de pessoas estranhas ao transporte.

#### 5.3.4.5 Procedimentos Relativos ao Descarregamento

Na chegada do caminhão ao local de descarregamento será efetuada uma primeira avaliação das taxas de exposição e preenchido o Formulário de Vistoria do Carregamento e Descarregamento (Figura 69), pelo técnico de Proteção Radiológica.

O embalado é então transferido com o auxílio de uma empilhadeira para o local onde será aberto. O embalado é então retirado por meio de alças com o auxílio de uma empilhadeira.

#### 5.3.4.6 Procedimento de Proteção Radiológica em Relação ao Veículo

Encerrada a operação de transporte, após descarregar o cilindro, o veículo será liberado por um técnico de proteção radiológica.

##### 5.3.4.6.1 Vistoria do Veículo

Após completada a carga do veículo, este deverá passar por uma verificação que será feita pelo técnico de Proteção Radiológica da empresa expedidora, IPEN, conforme o Formulário de Vistoria de Carregamento e Descarregamento (Figura 69) e a Ficha de Monitoração do Veículo (Figura 68).

No momento da chegada do transporte ao seu destino, o técnico de Proteção Radiológica do RMB, efetuará outra verificação no Formulário de Vistoria de Carregamento e Descarregamento (Figura 69) no intuito de liberar o descarregamento do material.

### 5.3.5 COMUNICADO AS AUTORIDADES

As autoridades rodoviárias serão comunicadas sobre o transporte, a carga a ser transportada e o roteiro a ser seguido.

Em caso de ocorrer algum imprevisto, a equipe responsável pela segurança física solicitará o apoio das autoridades rodoviárias.

### 5.3.6 PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA.

Em caso de emergência serão tomadas as providências de proteção radiológica, conforme descrito na Ficha de Emergência (Figura 71); e informado imediatamente a Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear/CNEN e o IPEN-CNEN/SP.

A avaliação proposta leva em conta a possibilidade de incêndio, inundação ou colisão.

No caso de incêndio poderá ocorrer a variação do estado físico do material devido as altas temperaturas provocando contaminação radioativa no local do acidente. O procedimento a ser adotado nesta situação é isolar a área, comunicar as autoridades competentes, colher amostras de material para análise no IPEN-CNEN/SP.

No caso de inundação ou colisão devido à distribuição do embalado, o material não sofrerá qualquer dano. O procedimento a ser adotado é evitar a aproximação de pessoas estranhas à carga.

#### 5.3.6.1 Alerta e Notificação

Em caso de emergência, o trabalhador que está treinado pelo IPEN-CNEN/SP para atuar tanto em situação normal quanto em situação de emergência, coordenará as atividades e notificará imediatamente a equipe de emergência do IPEN e os órgãos competentes cujos telefones se encontram no Envelope de Emergência (Figura 72), sendo que o envelope deverá ser transportado no porta-luvas do veículo.

A equipe de emergência do IPEN passará instruções aos trabalhadores envolvidos no transporte e enviará a equipe de plantão existente para atender a situação de emergência.

#### 5.3.6.2 Medidas de Proteção em Acidentes

Junto com os documentos obrigatórios que acompanham o transporte existem as Fichas de Emergência (Figura 71), orientando quanto ao que deve ser feito e como fazer em casos de emergência, acidente ou avaria.

Nestes casos, proceder da seguinte forma:

- Adotar as medidas constantes junto a documentação (todos os participantes),

- Comunicar o fato à autoridade mais próxima, através do meio mais rápido, detalhando a ocorrência (trabalhador envolvido com o transporte).

### 5.3.6.3 Assistência Médica

Os trabalhadores envolvidos no transporte serão encaminhados ao serviço médico mais próximo, assim que for possível uma vez declarada uma situação de emergência.

### 5.3.7 REQUISITOS ADMINISTRATIVOS E RESPONSABILIDADES

As responsabilidades do expedidor, IPEN, no que diz respeito a documentação relativas ao transporte e às informações que deverão ser prestadas ao transportador, obedecerão as exigências estabelecidas na Norma CNEN NE 5.01 - Transporte de Material Radioativo - Item 8.

A responsabilidade pela Proteção Radiológica compete à Gerência de Radioproteção do IPEN-CNEN/SP, e Serviço de Radioproteção do RMB, e em caso de emergência serão acionados os canais de comunicação relativos à emergência radiológica, ou seja, telefone de emergência.

Em caso de emergência, serão comunicados:

- Telefone: 0xx-11-9982-3860
- Contato: Dr. Demerval Leonidas Rodrigues (ou substituto)

### 5.3.8 PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE

#### 5.3.8.1 Exigências Gerais

Todas as atividades relativas à implementação do plano de transporte de materiais físeis seguirão os requisitos estabelecidos nas seguintes normas:

- CNEN NN 3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.
- CNEN NE 5.01 - Transporte de Material Radioativo.
- Regulamento para Execução do Serviço de Transporte de Produtos Perigosos - Aprovado pelo Decreto 96044 de 18/05/88.

#### 5.3.8.2 Organização

Dentro da estrutura organizacional do IPEN-CNEN/SP as atividades de proteção radiológica estão sob a responsabilidade da Gerência de Radioproteção - GRP.

### **5.3.8.3 Certificado de Avaliação do Embalado**

A inspeção do embalado será efetuada pelo técnico de controle da qualidade e seu parecer deve ser apresentado na planilha de dados do cilindro que faz parte da documentação exigida para o transporte, que deverá ser fornecida pelo expedidor, IPEN.