

**Mario Hugo Dias da Silva Botelho**

**ESTRUTURA CONCEITUAL PARA O LICENCIAMENTO NUCLEAR  
DO COMPLEXO RADIOLÓGICO DO SUBMARINO BRASILEIRO  
COM PROPULSÃO NUCLEAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para  
obtenção da certificação de Especialista pelo  
Programa de Pós-Graduação em Proteção  
Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria da  
Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da  
Silva

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2016

## Ficha Catalográfica

Botelho, Mario Hugo Dias da Silva

Estrutura Conceitual para o Licenciamento Nuclear do Complexo Radiológico do Submarino Brasileiro com Propulsão Nuclear/ Mario Hugo Dias da Silva Botelho. – Rio de Janeiro-IRD, 2016.

X, 57 f. : il. ; 29cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Lato-Sensu) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Referências bibliográficas: 56-57 f.

1. Complexo Radiológico. 2.Licenciamento Nuclear  
3.Submarino com Propulsão Nuclear. 4. Proteção Radiológica.

**Mario Hugo Dias da Silva Botelho**

**ESTRUTURA CONCEITUAL PARA O LICENCIAMENTO NUCLEAR  
DO COMPLEXO RADIOLÓGICO DO SUBMARINO BRASILEIRO  
COM PROPULSÃO NUCLEAR**

Rio de Janeiro, 25 de agosto de 2016.

---

Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva – IRD/CNEN

---

Prof. M.Sc. Nilo Garcia da Silva - SESER /CNEN

---

Prof. M.Sc. Paulo Roberto Ferreira - IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me concedido a inspiração e força de vontade para realizar este trabalho da melhor maneira possível.

Aos meus pais Mario e Simone, por terem me concedido a vida e sempre me incentivarem a realizar todos os meus sonhos e ambições.

À minha namorada Gabriella, por todo incentivo, confiança, amor e paciência ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Francisco Cesar Augusto da Silva pela ajuda, ensino e confiança no meu trabalho.

A todos os professores, pesquisadores e funcionários do Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Aos meus colegas de turma, por toda cooperação, companheirismo e colaboração ao longo do curso.

Ao meu antigo chefe, Ricardo Ibsen, e meu novo chefe, João Ricardo Lessa, por me conceder a oportunidade de fazer este curso e incentivar o meu aprendizado e conhecimento.

Aos meus colegas de trabalho, Vivian, Marco André, Ian, Leandro, Ronaldo, Nádía e Salazar, por todo o auxílio e companheirismo ao longo do curso.

## **RESUMO**

Atualmente não existe no Brasil bases navais para dar suporte à submarinos com propulsão nuclear. Com os recentes investimentos do país para obter esta tecnologia, esta sendo construída a base naval de Itaguaí. A base naval de Itaguaí só terá material nuclear e radioativo em uma parte isolada denominada, Complexo Radiológico. Torna-se fundamental a elaboração de uma estrutura de licenciamento nuclear para o Complexo Radiológico, tendo em vista que este é um processo de licenciamento inédito no Brasil e enfrentará diversas dificuldades. Este trabalho apresenta uma proposta para essa estrutura de licenciamento nuclear, assim como propostas de conceitos básicos dos principais documentos de proteção radiológica necessários no processo de licenciamento.

Palavras chaves: Complexo Radiológico, Licenciamento Nuclear, Submarino com Propulsão Nuclear, Proteção Radiológica.

## **ABSTRACT**

Currently does not exist in Brazil naval bases to support submarines with nuclear propulsion. With recent investments in the country to obtain this technology the naval base of Itaguaí is being built. The naval base of Itaguaí will only have nuclear and radioactive material in an isolated part called , Radiological Complex. It is essential to create a nuclear licensing structure for the Radiological Complex, given that this is an unprecedented licensing process in Brazil and will face several difficulties. This work presents a proposal for such nuclear licensing structure, as well as proposals for basic concepts of the main documents of radiological protection required in the licensing process.

**Keywords:** Radiological Complex, Nuclear Licensing, Nuclear Propulsion Submarine, Radiological Protection.

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	1
1.2 JUSTIFICATIVA .....	2
<b>2. COMPLEXO RADIOLÓGICO DO SUBMARINO BRASILEIRO COM PROPULSÃO NUCLEAR .....</b>	<b>3</b>
2.1 HISTÓRICO E CRIAÇÃO .....	3
2.2 IMPORTÂNCIA E OBJETIVO .....	4
2.2.1 Aspecto Estratégico .....	4
2.2.2 Aspecto Tecnológico .....	4
2.3 INFRAESTRUTURA DE APOIO E LOCALIZAÇÃO .....	5
2.4 DESCRIÇÃO DO COMPLEXO RADIOLÓGICO.....	7
2.5 DESCRIÇÃO DO MATERIAL RADIOATIVO E NUCLEAR DO COMPLEXO RADIOLÓGICO .....	7
<b>3. PANORAMA DE BASES NAVAIS DE SUPORTE A SUBMARINOS NUCLEARES NO MUNDO .....</b>	<b>10</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
<b>5. PRINCIPAIS NORMAS PARA O LICENCIAMENTO NUCLEAR DO COMPLEXO RADIOLÓGICO .....</b>	<b>14</b>
5.1 LICENCIAMENTO DE INSTALAÇÕES NUCLEARES, NE 1.04 .....	14
5.2 DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA, NE 3.01 .....	16
5.3 SERVIÇOS DE RADIOPROTEÇÃO, NE 3.02 .....	17
5.4 CERTIFICAÇÃO DA QUALIFICAÇÃO DE SUPERVISORES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA, NE 7.01 .....	18
5.5 CONTROLE DE MATERIAIS NUCLEARES, NN 2.02 .....	20
5.6 SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE USINAS NUCLEOELÉTRICAS, NE 1.26 .....	21
5.7 OUTRAS NORMAS RELEVANTES .....	23
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
6.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA CONCEITUAL DO LICENCIAMENTO NUCLEAR DO COMPLEXO RADIOLÓGICO .....	25
6.2 ASPECTOS FUNDAMENTAIS SOBRE O PLANO DE PROTEÇÃO RAIOLÓGICA .....	27
6.2.1 Responsabilidades .....	29
6.2.2 Programa de Monitoração Radiológica Ocupacional .....	33
6.2.3 Programa de Monitoração Radiológica Ambiental .....	35
6.2.4 Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos .....	36
6.2.5 Programa de Monitoração de Efluentes Radioativos .....	37
6.2.6 Programa de Controle Médico Ocupacional .....	37
6.2.7 Progama de Treinamento de Pessoal .....	38
6.2.8 Programa de Garantia de Qualidade .....	38
6.2.9 Programa de Controle de Material Nuclear e Radioativo .....	39
6.3 ASPECTOS FUNDAMENTAIS SOBRE O PLANO DE EMERGÊNCIA .....	39
6.4 ASPECTOS FUNDAMENTAIS SOBRE O PLANO DE PROTEÇÃO FÍSICA .....	41
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área Sul da Base Naval de Itaguaí.....	6
Figura 2 - Base Naval de Davenport da Inglaterra.....	10
Figura 3 - Base Naval de Norfolk dos Estados Unidos.....	11
Figura 4 - Base Naval de San Diego dos Estados Unidos.....	11
Figura 5 - Relação das áreas de atuação da norma NE 7.01.....	19
Figura 6 - Símbolo de Radiação Ionizante.....	35



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Limites de Dose CNEN.....	28
--------------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PROSUB - Programa de Desenvolvimento de Submarinos

CR - Complexo Radiológico

SN-BR - Submarino com Propulsão Nuclear Brasileiro

MB - Marinha do Brasil

UFEM - Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas

S-BR - Submarino convencional Brasileiro

EBN - Estaleiro e Base Naval de Itaguaí

DCNS - Direction des Constructions Navales et Services

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

PPR - Plano de Proteção Radiológica

LABGENE - Laboratório de Geração de Energia Núcleo Elétrica

TNP - Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares

EC - Elemento Combustível

IOE - Indivíduo Ocupacionalmente Exposto

RPAS - Relatório Preliminar de Análise de Segurança

RFAS - Relatório Final de Análise de Segurança

ALARA - Tão Baixas Quanto Razoavelmente Exequível

EPI - Equipamento de Proteção Individual

SPR - Supervisor de Proteção Radiológica

AUMAN - Autorização para Utilização de Material Nuclear

PMRA - Programa de Monitoração Radiológica Ambiental

PGQ - Programa de Garantia de Qualidade

SPF - Serviço de Proteção Física

# 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Programa de Desenvolvimento de Submarinos elaborado pelo Ministério da Defesa (MARINHA DO BRASIL, 2016a), “O projeto e construção do submarino com propulsão nuclear brasileiro SN-BR visa atender às diretrizes estabelecidas na Estratégia Nacional de Defesa, acrescentando uma nova dimensão ao Poder Naval de nosso País. A posse deste meio naval contribuirá significativamente para assegurar a soberania nas águas jurisdicionais brasileiras, garantindo ao Brasil inegáveis capacidades de dissuasão e negação do uso do mar. Nos submarinos com propulsão nuclear, a fonte de energia é um reator nuclear, cujo calor gerado vaporiza água, possibilitando o emprego desse vapor em turbinas que podem acionar geradores elétricos ou o próprio eixo propulsor. Diferentemente dos submarinos convencionais, os nucleares dispõem de elevada mobilidade e, assim, são fundamentais para a defesa distante em águas oceânicas (águas profundas). Com isso, a autonomia (tempo fora da base) dos submarinos com propulsão nuclear é limitada apenas pela resistência física e psicológica das tripulações e estoque de mantimentos”.

Segundo o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB) (MARINHA DO BRASIL, 2016b), “Em 2010 foram iniciadas o conjunto de obras que constitui a infraestrutura industrial de apoio ao PROSUB, cujo propósito é capacitar o Brasil a produzir e operar submarinos convencionais e com propulsão nuclear”. Uma dessas obras é o Complexo Radiológico (CR), que “é a área em que serão feitas as trocas do combustível nuclear. Equivale a um prédio de 16 andares interligado a duas docas secas, específicas para os submarinos com propulsão nuclear e dois cais de apoio. Há ainda uma unidade móvel, feita em estrutura metálica, totalmente blindada, para acesso ao reator instalado dentro do submarino”.

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar um projeto de estrutura conceitual para o Licenciamento Nuclear do CR, que será utilizado para trocas do combustível nuclear do Submarino Brasileiro com Propulsão Nuclear (SN-BR).

Além disso, serão elaborados, neste trabalho, os conceitos básicos dos principais documentos de proteção radiológica e segurança de fontes nucleares e radioativas. Estes documentos são exigidos na estrutura de licenciamento nuclear proposta.

## **1.2 Justificativa**

Atualmente o Brasil não possui bases navais capazes de prover os recursos que um submarino com propulsão nuclear necessita. Um investimento forte vem sendo feito nessa área com o intuito de o país obter a tecnologia para projetar um submarino com propulsão nuclear.

Encontra-se em construção a base naval de Itaguaí, que tem o propósito de dar suporte futuramente a diversos submarinos projetados pelo Brasil, inclusive submarinos com propulsão nuclear.

A base naval de Itaguaí abrigará um local denominado, CR, onde serão feitas todas as fainas de suporte para o submarino com propulsão nuclear. O CR lidará diretamente com materiais radiativos e nucleares, portanto é fundamental que se estabeleça uma estrutura conceitual para o licenciamento do mesmo.

Estas novas instalações garantirão ao Brasil uma elevação de seu status internacional, já que poucos países no mundo possuem submarinos com propulsão nuclear e conseqüentemente bases navais para apoiá-los.

## **2. COMPLEXO RADIOLÓGICO DO SUBMARINO BRASILEIRO COM PROPULSÃO NUCLEAR**

### **2.1 Histórico e Criação**

Em 2008 o Brasil aprovou por decreto, nº 6.703, a estratégia nacional de defesa. Uma das prioridades da estratégia nacional de defesa é assegurar que a Marinha do Brasil (MB) tenha meios para negar o uso do mar a qualquer força inimiga que se aproxime do país. Neste decreto é explicitado que o Brasil fará a negação do uso do mar através de uma frota robusta de submarinos, tanto convencionais, quanto com propulsão nuclear (PROSUB, 2013). Com isso, foi criado o PROSUB.

O PROSUB tem como objetivo principal proteger o patrimônio natural e garantir a soberania brasileira no mar. Para isso, este programa conta com a produção de quatro submarinos convencionais e o primeiro submarino com propulsão nuclear do hemisfério sul. Além disso, o PROSUB conta com o desenvolvimento de toda uma infraestrutura de apoio à estes submarinos. Esta infraestrutura engloba os Estaleiros, a Base Naval, o CR e a Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas (UFEM) (PROSUB, 2013).

Neste mesmo ano de 2008, em 23 de dezembro, o Brasil assinou um acordo de parceria estratégica com a França. Este acordo foi firmado pelos respectivos presidentes e prevê cooperação na área de defesa. Dentre os diversos contratos assinados, alguns foram destinados a capacitar a MB a projetar e construir os submarinos convencionais brasileiros (S-BR) e os SN-BR, com total transferência de tecnologia na parte convencional, porém não havendo transferência de tecnologia na área nuclear. Este acordo alavancou o PROSUB e deu início aos primeiros projetos (PROSUB, 2013).

Em 2010, com os contratos assinados e os primeiros aportes financeiros da MB, foi dado início as obras de construção de um complexo de 750 mil metros quadrados onde futuramente estará situada toda a infraestrutura de apoio a construção e manutenção dos submarinos (MARINHA DO BRASIL, 2016c).

Em março de 2013 foi inaugurada a UFEM e atualmente se encontra em fase de construção o Estaleiro e Base Naval de Itaguaí (EBN), que é onde estará situado o CR.

## **2.2 Importância e Objetivo**

O desenvolvimento do SN-BR e suas infraestruturas de apoio envolvem aspectos de grande importância para o País: o estratégico e o tecnológico.

### **2.2.1 Aspecto Estratégico**

Nos submarinos com propulsão nuclear, a fonte de energia é um reator nuclear, cujo calor gerado vaporiza a água, possibilitando o emprego desse vapor em turbinas que podem acionar geradores elétricos ou o próprio eixo propulsor. Com essa diferença no "combustível", os submarinos com propulsão nuclear possuem fonte virtualmente inesgotável de energia e acumulam diversas vantagens sobre um submarino convencional, tais como: a elevada mobilidade, autonomia e desenvolver altas velocidades (PROSUB, 2013).

Visto isso este tipo de submarino desafia os mais modernos sistemas de detecção da atualidade e é, por isso, considerado um dos meios navais mais eficientes na dissuasão. Também é o meio mais capacitado a monitorar áreas marítimas distantes, condição adequada aos interesses estratégicos brasileiros de defesa do país e de sua enorme plataforma continental repleta de riquezas ("Amazônia Azul") (MARINHA DO BRASIL, 2016c).

### **2.2.2 Aspecto Tecnológico**

Um dos aspectos mais notáveis do PROSUB diz respeito ao salto tecnológico que o País dará. Este salto é decorrente de um grande processo de transferência de tecnologia, do fortalecimento da indústria nacional e da melhoria da qualificação técnica de profissionais.

A transferência de tecnologia já havia sido contemplada dentre os contratos assinados entre Brasil e França em 2008. A empresa responsável por essa transferência de tecnologia é a "Direction des Constructions Navales et Services" (DCNS). A DCNS é um grupo francês com mais de 350 anos de experiência na construção de navios de guerra e uma das líderes mundiais neste setor, o que garante ao Brasil a transferência de uma das mais modernas e sofisticadas tecnologias na construção de submarinos (MARINHA DO BRASIL, 2016c).

Além disso, foi estabelecido pela MB que os equipamentos e sistemas adquiridos ao longo dos projetos e das construções, deveriam ser fabricados o máximo possível no Brasil,

o que acarreta em uma movimentação econômica e estimula a indústria nacional. Portanto, estes projetos terão uma importância sem igual do ponto de vista tecnológico, garantindo ao Brasil a capacidade de desenvolver e construir seus próprios submarinos no futuro, de forma independente (PROSUB, 2013).

### **2.3 Descrição da Infraestrutura de Apoio e Localização**

As infraestruturas de apoio aos submarinos são todas as instalações que darão apoio a construção ou a manutenção do S-BR e SN-BR. As infraestruturas são a UFEM e o EBN.

A UFEM é o local onde serão realizadas as primeiras etapas de construção do submarino. Nesta instalação, que já se encontra em operação, acontece o alinhamento e união de algumas das subseções que formarão o submarino, a fabricação de peças estruturais, tubulações, dutos e suportes, assim como a montagem de materiais e equipamentos nas seções. O EBN é um complexo de instalações, que se encontra atualmente em construção e conta com estaleiros, oficinas, prédios administrativos, depósitos de rejeitos radioativos, etc. Ele é dividido em área norte da base naval e área sul da base naval, estas duas áreas são separadas por um morro e interligadas por um túnel (MARINHA DO BRASIL, 2016b).

A área norte da base naval é responsável pelo controle de acesso ao empreendimento, além de abrigar um terminal rodoviário, um batalhão de defesa nuclear, biológica, química e radiológica e escritórios administrativos (MARINHA DO BRASIL, 2016b).

A área sul da base naval é responsável pela montagem, lançamento, operação e manutenção dos submarinos. Ela pode ser dividida em quatro grandes áreas: estaleiro de manutenção, estaleiro de construção, base naval e CR (MARINHA DO BRASIL, 2016b).



Figura 1 – Área Sul da Base Naval de Itaguaí

Fonte: Disponível em: <<https://www1.mar.mil.br/prosub/sites/www1.mar.mil.br/prosub/files/painel8.jpg>>.

Acesso em: 07 de jul. 2016.

A escolha da localização do EBN é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento, já que será a localização de uma base naval militar estratégica e também uma base nuclear, onde estarão os combustíveis do reator do SN-BR e o próprio SN-BR, quando estiver em manutenção.

Foi escolhida a Ilha da Madeira, em Itaguaí, para ser construído o EBN. Dentre os aspectos estratégicos da escolha os mais destacados são (PROSUB, 2013):

- O fato de a Baía de Sepetiba ter uma alta profundidade, possibilitando a movimentação de navios de grande porte, e ter um contorno geográfico que dê maior segurança.
- Localização próxima a rodovia BR-101.
- Próxima a base aérea de Santa Cruz, que dará suporte e proteção ao empreendimento.
- Próxima ao Porto de Itaguaí, facilitando o recebimento de materiais por vias marítimas.
- Próxima a Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. – NUCLEP, uma empresa única no Brasil, especializada em metalurgia pesada, onde serão produzidas as partes estruturais mais complexas dos submarinos, como o casco. Portanto, a proximidade com o EBN facilita a logística de transporte destes elementos pesados.



Além disso, foram considerados os aspectos relativos a uma instalação nuclear, como a baixa densidade de população no entorno do EBN e o fato de possuir rotas de fuga em caso de acidente.

#### **2.4 Descrição do Complexo Radiológico**

O interesse deste trabalho está na área dentro dos empreendimentos de infraestrutura onde estarão situados qualquer material nuclear e radioativo. Esta área foi segregada dentro do EBN e foi denominada como CR.

O CR é situado dentro da área sul da base naval e é nele onde estará localizado tudo relativo a materiais radioativos e nucleares, tais como: depósito de rejeitos, elementos combustíveis novos, etc. Este complexo contará também com duas docas secas onde serão realizadas as trocas de combustível nuclear. Esta troca será feita através de um “mobile”, unidade móvel e totalmente blindada para acesso ao reator nuclear do SN-BR.

Todos os materiais nucleares estarão localizados dentro do CR, portanto, segundo a norma CNEN 1.04 (CNEN, 2002), ele é caracterizado como instalação nuclear, conseqüentemente é exigido todo um processo de licenciamento nuclear do CR.

Tendo em vista que este tipo de instalação é a primeira no Brasil, o processo de licenciamento se torna complexo e inédito e vai ficar a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

No capítulo 6a deste trabalho será elaborada uma estrutura conceitual para o Licenciamento Nuclear do CR, dando foco para alguns documentos de proteção radiológica, como o Plano de Proteção Radiológica (PPR) do complexo.

#### **2.5 Descrição do Material Radioativo e Nuclear do Complexo Radiológico**

Como citado anteriormente, o Brasil firmou um acordo de cooperação com a França para a construção dos S-BR, SN-BR e suas infraestruturas de apoio. Este acordo não prevê a transferência de tecnologia na área nuclear. Toda tecnologia nuclear para a construção e projeto será desenvolvida no próprio país.

A MB possui o Programa Nuclear da Marinha, que tem como objetivo o domínio de todas as etapas do ciclo do combustível nuclear e o desenvolvimento do Laboratório de Geração de Energia Núcleo Elétrica (LABGENE) e de seu reator. Este programa é de

fundamental importância para a construção do SN-BR e do CR, já que é nele onde será desenvolvida toda tecnologia do combustível e do reator nuclear.

Atualmente se encontra em desenvolvimento o LABGENE. O reator nuclear que esta sendo desenvolvido para o LABGENE será similar ao reator do SN-BR, portanto o objetivo primordial deste laboratório é validar e ensaiar todas as condições possíveis para uma planta propulsora (PROSUB, 2013).

O domínio das etapas do ciclo combustível já foi atingido e é um processo totalmente nacional. O ciclo engloba as seguintes etapas:

- Mineração e Beneficiamento para transformar em yellowcake;
- Conversão do yellowcake em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ );
- Enriquecimento do  $UF_6$ ;
- Reconversão do  $UF_6$  em  $UO_2$ ;
- Fabricação do elemento combustível, feita de pastilhas de  $UO_2$ .

Poucos países no mundo são capazes de realizar todas estas etapas do ciclo combustível, em especial a etapa de enriquecimento de urânio. Esta etapa consiste em aumentar a concentração do isótopo físsil ( $U^{235}$ ) para um valor maior do que o encontrado naturalmente (0,7%) (MARINHA DO BRASIL, 2016d).

O Brasil detém a complexa tecnologia de enriquecimento de urânio por ultracentrifugação. Esta etapa e também a etapa de conversão será realizada no Centro Experimental de Aramar, próxima ao LABGENE. Pelo fato do país ser um dos países signatários do Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares (TNP) não se deve esperar um enriquecimento acima de 20% para os Elementos Combustíveis (EC) que serão utilizados no SN-BR, já que enriquecimentos acima deste valor são considerados para fins não pacíficos.

O principal material nuclear/radioativo que estará presente no CR serão os EC. O EC novo ficará armazenado no CR esperando que o submarino esteja no dique para que se realize a troca de combustível. O EC usado ficará armazenado em uma piscina própria para isso, semelhante as piscinas das usinas de Angra. Estes combustíveis já utilizados são extremamente perigosos, pois possuem diversos produtos de fissão que também são radioativos.

O CR abrigará também um depósito temporário e unidades de tratamento de rejeitos radioativos sólidos, líquidos e gasosos. Os rejeitos são provenientes do tratamento da água de refrigeração do reator do SN-BR e de qualquer material que esteja contaminado com um isótopo radioativo.

Tendo em vista que estes serão os principais e mais relevantes materiais nucleares e radioativos presentes no CR e que os EC usados são de alto nível de radioatividade, o processo de licenciamento deve levar em conta a proteção física e radiológica de todos estes materiais, analisando acidentes e incidentes que possam ocorrer com os mesmos. Assim, o processo de licenciamento da instalação garantirá o uso seguro dos materiais nucleares/radioativo e que não haja altos riscos para nenhum indivíduo e nem para o meio ambiente.

### 3. PANORAMA DE BASES NAVAIS DE SUPORTE À SUBMARINOS NUCLEARES NO MUNDO

Atualmente apenas cinco países no mundo possuem submarino com propulsão nuclear: Rússia, Estados Unidos, Inglaterra, França e China. Além destas grandes potências, a Índia se encontra em fase de testes do seu primeiro submarino com propulsão nuclear. Portanto, estes são os únicos países com bases navais capacitadas à dar suporte a este tipo de submarino.

Todos estes países possuem marinhas de grande relevância mundial, em especial os Estados Unidos, que possui atualmente a maior marinha do mundo e conseqüentemente o maior número de bases navais.

Algumas bases de grande relevância mundial são mostradas nas Figuras 2, 3 e 4:



Figura 2 – Base Naval de Devonport da Inglaterra

Fonte: Disponível em: < <https://www.babcockinternational.com/Case-Studies/Naval-base-managementDevonport>>. Acesso em: 10 de jul. 2016.



Figura 3 – Base Naval de Norfolk dos Estados Unidos

Fonte: Disponível em: < <http://www.nbcnews.com/science/environment/military-bases-brace-slow-motionwar-climate-change-n124761>>. Acesso em: 10 de jul. 2016.



Figura 4 - Base naval de San Diego dos Estados Unidos

Fonte: Disponível em <[https://en.wikipedia.org/wiki/Naval\\_Base\\_San\\_Diego](https://en.wikipedia.org/wiki/Naval_Base_San_Diego)>. Acesso em 10 de jul. 2016.

É importante destacar que em toda base naval nuclear no mundo, o processo de licenciamento não é feito pelo órgão responsável pelo regulamento nuclear. Por se tratar de uma base militar de importância estratégica, o processo de licenciamento fica a cargo do órgão de defesa de cada país. Contudo, geralmente os regulamentos do órgão nuclear são seguidos.

Os tipos de materiais radioativos e nucleares presente nas bases de todo o mundo são basicamente os mesmos: rejeitos radioativos e o combustível nuclear. Em alguns submarinos com propulsão nuclear não é necessário a troca do combustível, mesmo assim para a segurança radiológica é necessário avaliar as circunstâncias em que a base esta abrigando o submarino e conseqüentemente o combustível nuclear.

Estas bases navais são classificadas como instalações nucleares no mundo todo, com isso diversas medidas de proteção radiológica são seguidas. As medidas têm como objetivo

manter tão baixa quanto razoavelmente exequível a exposição a radiação do indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) e o indivíduo do público.

Os Estados Unidos lançou em 2011 um relatório, Report NT-11-2 (DEPARTMENT OF THE NAVY, 2011), sobre exposição ocupacional a radiação em suas plantas nucleares navais e suas unidades de apoio. Este relatório apresenta diversos aspectos da proteção radiológica adotada por eles em suas bases navais. Dentre estes aspectos, vale a pena destacar:

- Um sistema de prestação de contas e inventário de material radioativo, para assegurar que não há material radioativo perdido ou colocado em um local errado que possa gerar exposição à algum indivíduo.
- Todo material radioativo é marcado com o símbolo apropriado e seu nível de medida de radiação.
- O material radiativo retirado do submarino é posto em plástico amarelo que é utilizado somente para isto. Todo trabalhador da base deve ser treinado para identificar este plástico amarelo e tomar as medidas pertinentes se ele estiver fora de lugar.
- Acesso as áreas de radiação são controlados por avisos e barreiras.
- Monitoração nos arredores das áreas de radiação.
- Requisitos de treinamento e uso de dosímetros individuais para entrar nestas áreas.
- Calibração regular dos equipamentos de medição.
- Treinamento e retreinamentos frequentes de todos os trabalhadores.
- Monitoração interna e exames periódicos frequentes.
- Áreas com doses acima de 1 mSv/h são chamadas de área de alta radiação e são trancadas ou guardadas.
- As conformidades da proteção radiológica são checadas frequentemente pelo próprio pessoal de proteção radiológica da instalação e também por um pessoal externo.

O limite de dose efetiva para corpo inteiro adotado para estas instalações americanas é de 30 mSv em três meses, não podendo ultrapassar 50 mSv ao ano. Até 2011, não houve relato de nenhum indivíduo ter ultrapassado estes limites, além dos níveis de dose terem diminuído ao longo dos anos. Isto mostra que as medidas de proteção radiológica adotada por estas instalações vêm se mostrando eficientes.

## 4. METODOLOGIA

A próxima etapa deste trabalho será elaborar um projeto de estrutura de licenciamento para o CR e estabelecer conceitos básicos dos principais documentos de proteção radiológica e segurança de fontes nucleares.

Para o desenvolvimento de uma estrutura conceitual para o processo de licenciamento nuclear do CR foi feito primeiramente um estudo de quem seria o órgão responsável pelo licenciamento e de todas as normas relevantes para este processo.

Após o estudo detalhado das normas foi elaborado o projeto de licenciamento, baseado em todos os aspectos normativos estudados e conhecimento adquirido academicamente e profissionalmente. É importante destacar que nunca ocorreu o licenciamento de uma instalação como essa no Brasil, portanto a proposta de estrutura conceitual é inédita.

Com a estrutura de documentos para o licenciamento nuclear estabelecida na estrutura conceitual alguns destes documentos serão abordados. Os documentos abordados serão de alta relevância para a proteção radiológica e segurança de fontes nucleares do CR.

Serão descritos os seus conceitos básicos, estrutura e principais aspectos relevantes dos documentos abordados.

Por fim, serão apresentadas as principais conclusões em relação aos resultados desenvolvidos no trabalho e serão apresentadas algumas recomendações de aprofundamento e continuação do trabalho.

## **5. PRINCIPAIS NORMAS PARA O LICENCIAMENTO NUCLEAR DO COMPLEXO RADIOLÓGICO**

Atualmente não há no Brasil nenhuma base naval com materiais nucleares e radioativos, portanto não houve até hoje a necessidade de licenciamento nuclear para nossas bases, o EBN será o primeiro com essa necessidade. Para que o CR, que é o local onde terá material nuclear e radioativo, seja construído e opere, será necessário todo um processo de licenciamento da instalação.

Como já citado neste trabalho, em todos os outros países do mundo o licenciamento nuclear das bases navais está a cargo dos respectivos órgãos de defesa de cada país. No Brasil o órgão responsável por todo o processo de licenciamento nuclear do CR é a CNEN. Esta abordagem diferenciada vem da confiança no órgão regulador do nosso país, que desde sua criação em 1956 vem mostrando um trabalho de alta competência como agência reguladora nuclear.

A CNEN possui diversas normas e posições regulatórias com a finalidade de mostrar as obrigatoriedades e procedimentos técnicos para que uma prática esteja devidamente dentro dos critérios estabelecidos. Dentre estas normas e posições regulatórias da CNEN serão apresentadas neste capítulo as principais para a regulamentação e o processo de licenciamento nuclear do CR.

Nas normas são apresentadas diversas definições adotadas pela CNEN, é importante que os documentos gerados no processo de licenciamento do CR estejam de acordo com todas as definições apresentadas pela agência reguladora. Com esta consonância nas definições será mais fácil o entendimento entre regulador e requerente, facilitando o processo de licenciamento.

### **5.1. Licenciamento de Instalações Nucleares, NE 1.04**

A primeira norma a ser abordada é a NE 1.04 (CNEN, 2002), que trata do Licenciamento de Instalações Nucleares. Esta norma tem um critério de exclusão de extrema relevância para este trabalho: “1.2.1.1 Excluem-se aquelas atividades relacionadas com reatores nucleares utilizados como fonte de energia em meio de transporte, tanto para propulsão como para outros fins.”. A CNEN não possui norma específica para bases navais nucleares, contudo o CR se enquadra na definição de instalação nuclear dada pela CNEN. Além disso, o CR possui diversas outras instalações dentro de sua área que não englobam o



reator de propulsão do SN-BR. Portanto, apesar de pelo critério de exclusão o licenciamento do CR não estar incluído na NE 1.04, é sugerida a utilização de diversos itens, que são relevantes para o licenciamento do CR.

De acordo com a NE 1.04 o processo de concessão de licenças para instalações nucleares apresenta as seguintes etapas: aprovação do local, licença de construção, autorização para utilização de materiais nucleares, autorização para operação inicial, autorização para operação permanente e cancelamento da autorização para operação. Cada etapa no processo de licenciamento da instalação nuclear tem suas diversas exigências de documentos e requerimentos especificados nesta mesma norma.

Na primeira etapa, a autorização do local, é exigido um Relatório do Local como documento fundamental. Este relatório deve conter diversas características gerais sobre o projeto e a operação da instalação, e também informações detalhadas sobre a localização da instalação.

Na etapa de licença de construção os documentos fundamentais exigidos são: o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) e o Plano Preliminar de Proteção Física. O RPAS é um documento bem extenso com diversos itens a serem abordados principalmente relativos a segurança da instalação.

A terceira etapa é a de autorização para utilização de material radioativo. Nesta etapa, o fundamental é o cumprimento da NE 2.02, “Controle de Material Nuclear, Equipamento Especificado e Material Especificado”.

A autorização para operação é dividida em autorização para operação inicial e permanente. Para a autorização inicial é necessário o Plano de Proteção Física e o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS). Estes documentos são a finalização dos documentos preliminares apresentados na licença de construção. Se tudo estiver de acordo com o regulamento é fornecido então a autorização de operação permanente. Toda autorização para operação emitida pela CNEN inclui especificações técnicas, derivadas da análise e da avaliação das especificações técnicas propostas pelo requerente.

Por fim a última etapa é o cancelamento da autorização, que deve prever a desmontagem da instalação e sua descontaminação.

Também é destacado nesta norma as obrigações que a organização operadora da instalação possui e que é facultado o requerente da licença fazer qualquer tipo de alteração no RPAS e RFAS sem a consulta prévia a CNEN.

## 5.2. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, NE 3.01

Segundo a norma NN 3.01 (CNEN, 2014), o objetivo da mesma é: "estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante". O CR se enquadra no campo de aplicação desta norma, pois haverá manuseio, posse e utilização de fontes na instalação. Todas as exposições, tanto potenciais como normais, para público e IOE's devem estar de acordo com esta norma o que é fundamental para garantir a proteção dos indivíduos em relação aos perigos da radiação ionizante.

Nesta norma são estipuladas as responsabilidades básicas do titular (responsável legal pela instalação) e empregador (responsável pelos empregados). Em síntese, estes são os principais responsáveis pela instalação e qualquer consequência negativa que uma má administração da proteção radiológica possa gerar. Portanto, o titular e empregador do CR precisará estabelecer um sistema de proteção radiológica e garantir a implementação, cumprimento e documentação deste sistema.

Alguns requisitos gerais devem ser atendidos para o cumprimento desta norma, tais como:

- Considerar todas as ações e etapas envolvidas, até o descomissionamento da instalação.
- As fontes devem ser mantidas em condições de segurança, prevenindo roubos e avarias.
- As fontes devem ter segurança e proteção, do tipo barreiras múltiplas, de acordo com a probabilidade de exposições potenciais.

Dos requisitos administrativos exigidos é importante destacar:

- O titular deve manter a estrutura de proteção radiológica de acordo com o porte da instalação.
- A estrutura de proteção radiológica deve contar com pelo menos um supervisor de proteção radiológica habilitado pela CNEN. As responsabilidades do supervisor englobam garantir o cumprimento do PPR e o treinamento dos trabalhadores da instalação.
- O titular deve submeter a CNEN o plano de proteção radiológica que deve ser aprovado pela mesma. O PPR deve conter uma série de informações descrita nesta norma.

Esta norma também apresenta os três princípios básicos da proteção radiológica. Estes princípios são fundamentais e é necessário que todos os envolvidos tenham plena consciência deles. São eles:

- Justificação – Nenhuma prática deve ser autorizada a menos que produza um benefício para a sociedade ou para o indivíduo exposto à radiação.
- Limitação de Dose – Este princípio estabelece limites de dose efetiva e dose equivalente para os IOE's e para o público, que não poderão ser excedidos. Estes limites são apresentados nesta mesma norma.
- Otimização – Este princípio estabelece que as exposições à radiação ionizante sejam tão baixas quanto razoavelmente exequível (ALARA), tendo em conta fatores econômicos e sociais. A CNEN exige que seja demonstrada a otimização da prática na maior parte dos casos.

O titular em sua gestão deve fomentar e manter uma cultura de segurança para que sirva de exemplo para todos os trabalhadores da instalação e contribua para aprimorar a segurança da fonte.

A norma ainda apresenta uma série de regras importantes de áreas relativas ao Plano de Proteção Radiológica, as áreas de: exposição ocupacional, classificação de áreas, monitoração individual e de área, saúde ocupacional, registros ocupacionais, controle de visitantes e exposição do público. Estas regras serão aplicadas quando discutido neste trabalho a proposta dos fundamentos do Plano de Proteção Radiológica para o CR.

Além disso, alguns fundamentos de intervenção são apresentados. Estes fundamentos são essenciais para o desenvolvimento do Plano de Emergência, uma das exigências para o processo de licenciamento da CNEN.

Existem 11 posições regulatórias da norma NE 3.01, que descrevem mais detalhadamente alguns assuntos citados nesta norma.

### **5.3. Serviços de Radioproteção, NE 3.02**

A NE 3.02 (CNEN, 1988) tem como objetivo apresentar os requisitos para implantação e funcionamento dos serviços de proteção radiológica. A norma se aplica tanto em instalações nucleares como instalações radioativas, portanto é totalmente aplicável ao CR.

Segundo esta norma é fundamental que a instalação tratada neste trabalho tenha um serviço de proteção radiológica único e diretamente ligado a direção, para que assim nenhum assunto pertinente a proteção radiológica seja negligenciado.

O serviço de proteção radiológica deve contar com diversas adequações nas instalações e equipamentos, tais como: arquivamento de documentos, vestiário para troca de vestimentas, monitoração individual, monitoração de área, monitoração ambiental e equipamentos de proteção individual (EPI's).

Os funcionários deste tipo de serviço são: supervisores de proteção radiológica, técnicos de nível superior, técnicos de nível médio e auxiliares. Todos estes funcionários, com exceção dos auxiliares devem possuir familiaridade com a instalação e seus serviços, e possuir curso de proteção radiológica reconhecido pela CNEN.

Nesta norma são estabelecidos todos os deveres do serviço de proteção radiológica, que são descritos com especificidade na mesma. Estes deveres são:

- Controle de trabalhadores.
- Controle de áreas.
- Controle do meio ambiente e da população.
- Controle de fontes de radiação e rejeitos.
- Controle de equipamentos.
- Treinamento de Trabalhadores.
- Registro de dados e preparação de relatórios.

É fundamental o cumprimento destes deveres para que seja garantida a regulamentação da proteção radiológica de acordo com esta norma. Estes deveres devem ser estabelecidos individualmente para cada instalação e são apresentados seus detalhes no respectivo plano de proteção radiológica.

O supervisor de proteção radiológica responsável pelo serviço deve garantir a CNEN total acesso a instalação, arquivos, registros, pessoal e equipamentos. Além disso, deve fornecer aos inspetores toda informação e colaboração considerada relevante para os objetivos das inspeções.

#### **5.4. Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica, NE 7.01**

A NE 7.01 (CNEN, 2016) estabelece os requisitos necessários para a certificação dos Supervisores de Proteção Radiológica (SPR) e à renovação da certificação. Além disso, esta norma mostra a classificação e área de atuação dos SPR's.

Os SPR's possuem uma série de responsabilidades estabelecidas na NE 7.01, das suas principais responsabilidades destacam-se:

- Manter a conformidade com as normas e as condições específicas autorizadas pela CNEN.

- Manter sempre o titular da instalação informado sobre todos os itens relativos a segurança e proteção radiológica.
- Treinar, orientar e avaliar o desempenho dos IOE's em relação a segurança e proteção radiológica.
- Garantir o cumprimento e a atualização do plano de proteção radiológica.
- Garantir planos e procedimentos para o uso, manuseio, acondicionamento, transporte e armazenamento das fontes de radiação.
- Atuar de acordo com o plano de emergência, nestas situações.

O principal interesse nesta norma é o tipo de certificado necessário para o SPR que irá atuar no CR. A área e a classificação que o SPR deverá se enquadrar também deve ser adaptada, já que a CNEN ainda não tem uma área específica para este tipo de instalação.

As opções de classificação e área de atuação são apresentadas na Figura 5:

Sigla	Áreas de Atuação da Classe I	Tempo de Experiência (h)
I-EI	Usina de Enriquecimento Isotópico	2.000
I-FC	Usina de Fabricação de Elemento Combustível	2.000
I-FQ	Instalação de Processamento Físico e Químico de Materiais Irradiados	2.000
I-MM	Mina e Usina de Beneficiamento Físico e Químico de U e Th	2.000
I-PH	Usina de Produção de UF <sub>4</sub> e UF <sub>6</sub>	2.000
I-RP	Reator Nuclear de Pesquisa e Unidades Críticas e Subcríticas	300
I-UN	Usina Nucleoelétrica	400 <sup>[a]</sup>
I-PR	Instalação com Acelerador de Partículas para Produção de Radioisótopos	400
I-AI	Instalação com Acelerador para Fins Industriais ou Inspeção de Cargas	400
I-GP	Instalação Industrial de Grande Porte com Irradiador de Cobalto	400
I-IR	Instalação de Gamagrafia Industrial e ou de Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios X (V > 600 kV)	300
I-RF	Instalação de Radiofarmácia Industrial ou Centralizada	400
I-RT	Instalação de Radioterapia	350
I-SC	Instalação de Calibração de Instrumentos com Fontes de Radiação	300
I-MI	Mina e Usina de Beneficiamento Físico, Químico e Metalúrgico de Minérios Com U ou Th Associados	300
I-DR	Depósito Intermediário ou Depósito Final de Rejeitos Radioativos: Gerência de Rejeitos	300
Sigla	Áreas de Atuação da Classe II	Tempo de Experiência (h)
II-FM	Instalação na Área de Medicina Nuclear	200
II-MN	Instalação com Medidor Nuclear Fixo ou Móvel	100
II-PP	Instalação com Serviço de Perfilagem de Poços	200
II-RI	Instalação de Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios X (V ≤ 600 kV)	200
II-TI	Instalação com Serviço com Traçador Radioativo Industrial	100
II-DI	Depósito Inicial de Rejeitos Radiativos da Classe 2 <sup>[b]</sup> : Gerência de Rejeitos	200
II-TR	Serviço de Transporte de Material Radioativo	100

[a] horas efetivas em área controlada  
[b] conforme a classificação estabelecida na Norma CNEN NN 8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação

Figura 5- Relação das áreas de atuação da norma NE 7.0 Disponível em: Norma-NE-7.01 (CNEN, 2016).

Dentre as opções apresentadas na Figura 5, a que mais tem proximidade com o CR seria a de Classe I - Usina Nucleoelétrica, pois no CR também haverá troca de combustível e armazenamento de combustíveis nucleares. A principal diferença entre os dois tipos de

instalação vem do fato de o reator nuclear não estar sempre presente na base, ele só estará presente nas trocas de combustíveis e paradas para manutenção do SN-BR. Contudo, esta representa uma alternativa conservativa, se mostrando a opção mais adequada.

Adotando a área como a de uma usina nucleoeletrica, são observadas algumas exigências a mais que o candidato a SPR deve comprovar, de acordo com a NE 7.01:

- I - treinamento nas seguintes áreas: tópicos avançados de proteção radiológica; programa de otimização ALARA (tão baixo quanto razoavelmente exequível); sistemas básicos de usinas nucleares; operação de equipamentos de monitoração; trabalhos de parada para recarga; plano de emergência; avaliação e mitigação de acidentes; e
- II - experiência em atividades de segurança e proteção radiológica durante duas paradas para recarga de cada usina em que irá atuar, de acordo com programa de treinamento pré-estabelecido."

No caso do cumprimento desta exigência alguma adequações devem ser feitas, pois a comprovação da experiência em troca de combustíveis não poderá ser feita no CR, já que a instalação é nova e inédita no país. Esta experiência deverá ser comprovada em instalações semelhantes fora do país ou nas usinas nucleares de Angra.

## **5.5. Controle de Materiais Nucleares, NN 2.02**

A NN 2.02 (CNEN, 1999) estabelece os princípios gerais e requisitos básicos para controle do material nuclear. Esta norma é aplicável em todo território nacional, portanto esta incluindo o controle do material nuclear do CR. Além disso, ela estabelece os requisitos que devem ser cumpridos para a concessão da Autorização para Utilização de Material Nuclear (AUMAN), um dos requisitos de licenciamento exigidos na NE 1.04.

Segunda esta norma a AUMAN do CR deve ser requerida junta a licença de construção. O requerimento deve ser acompanhado de informações necessárias ao atendimento do Questionário Técnico. Estas informações devem conter no mínimo: procedimentos de controle de material nuclear; e dados de processo e projeto, relevantes para o controle.

O sistema de controle de material nuclear deve consistir, em termos gerais, de:

- Áreas de balanço de material;
- Dispositivos de contenção e equipamentos de vigilância;
- Sistema de medição;
- Registros e relatórios;

- Identificação de perdas e determinação do material não contabilizado; □ Outros procedimentos aplicáveis.

É importante que no início do controle todo material nuclear seja contabilizado no inventário de áreas de balanço. Além disso, durante a operação da instalação um inventário físico deve ser mantido rotineiramente e enviado um cronograma do mesmo à CNEN. Este procedimento tem como objetivo determinar o material não contabilizado.

Um sistema de medidas adequado também deve ser estabelecido, para que possam ser determinadas as variações e incertezas do inventário de material nuclear. Uma série de exigências deste sistema é apresentado na NN 2.02.

Registros da contabilidade e da operação são exigidos com uma série de requisitos. Os relatórios rotineiros são: de variação de inventário, de balanço de material, lista de inventário físico e nota concisa. Além disso, relatórios especiais podem ser exigidos. Todos os relatórios devem ser submetidos a CNEN.

Uma série de pessoas responsável por cada área do controle de material nuclear é exigido. Dispositivos de contenção e vigilância são exigidos para garantir a segurança do material. As inspeções realizadas pela CNEN podem ser anunciadas ou não anunciadas e o operador deve permitir acesso dos inspetores a qualquer momento.

A norma abordada nessa seção é de grande importância para o CR, já que representa os requisitos de uma das etapas do processo de licenciamento.

## **5.6. Segurança na Operação de Usinas Nucleoelétricas, NE 1.26**

Ao longo deste capítulo foram assumidas aproximações de que o CR seria como uma usina nucleoelétrica. Estas aproximações foram feitas pela falta de normas específicas da CNEN para bases navais nucleares e a semelhança com estas usinas. No entanto, a assunção feita é extremamente conservativa, pois o CR representa um risco menor que o de uma usina nucleoelétrica, pelo fato dele não ter um reator nuclear fixo e nem com tanta potência. A abordagem da NE 1.26 (CNEN, 1997) é fundamental para o CR, tendo em vista a assunção feita.

Esta norma estabelece os requisitos necessários para que as atividades da operação de uma usina, o CR para este trabalho, não acarretam risco indevido à saúde e à segurança da população e do meio ambiente. Além disso, apresenta uma série de itens que a organização operadora deve estabelecer antes da operação.

Em síntese a norma detalha diversos critérios que deverão ser atendidos e estabelecidos pela organização operadora antes do início do comissionamento e da operação. Os critérios detalhados nesta norma são:

- Instruções e procedimentos, obedecendo às seguintes especificações técnicas: limites de segurança; valores limites de ajuste dos dispositivos técnicos de segurança; condições limites para operação; requisitos de inspeções e testes periódicos; controles administrativos e efluentes radioativos;
- Programa detalhado de testes;
- Estrutura organizacional com número suficiente de gerentes e pessoal qualificados, técnica e administrativamente;
- Deveres e responsabilidades de todas as funções do pessoal envolvido na operação da usina;
- Instruções e procedimentos de operação de sistemas e componentes importantes para a segurança;
- Programa de manutenção, testes, exames e ensaios e inspeções periódicas;
- Atividades associadas com manuseio dos elementos combustíveis;
- Procedimentos para as modificações ou alterações técnicas de projeto de estruturas, sistemas e componentes;
- Plano de Proteção Radiológica para assegurar que as atividades envolvendo exposição de pessoal à radiação sejam planejadas, supervisionadas e executadas para manter as exposições segundo o princípio ALARA;
- Programa de gerenciamento de rejeitos radioativos e de liberação de efluentes;
- Plano de Emergência Local, para atender a situações de emergência que possam conduzir a uma liberação significativa de material radioativo para o meio ambiente;
- Programa de Garantia de Qualidade, detalhado na norma NE-1.16;
- Programa de Proteção Física, detalhado na norma NE 2.01;
- Programa de Proteção contra Incêndio, detalhado na norma NE 2.03.

O plano de proteção radiológica deve ser implementado por um SPR e estar estabelecido antes da chegada dos elementos combustíveis na instalação. Deve-se manter atualizados os seguintes itens do plano:

- Acompanhamento e registro das doses individuais dos IOE's;
- Manutenção dos instrumentos e equipamentos de monitoração e proteção pessoal;



- Mapeamento, sinalização e monitoração de áreas quanto aos níveis de radiação;
- Aspectos de proteção radiológica nos diversos procedimentos de manutenção e operação;
- Programas e procedimentos relativos à monitoração do meio ambiente;
- Programas e procedimentos relativos à monitoração e descontaminação de pessoal, equipamentos e estruturas;
- Garantia da conformidade com a norma NE-5.01 "Transporte de Materiais Radioativos";
- Programa de treinamento dos trabalhadores; □ Controle médico dos trabalhadores.

A NE 1.26 também estabelece uma reavaliação periódica de todo estes requisitos de segurança.

### **5.7. Outras Normas relevantes**

As normas apresentadas nas seções anteriores são as mais gerais, com importância para a regulamentação e o licenciamento do CR. Diversas outras normas mais específicas precisam ser conhecidas e analisadas para que se tenha informações mais detalhadas dos requisitos a serem seguidos. Algumas destas normas são:

- NE 1.10, "Segurança de Sistemas de Barragem de Rejeitos Contendo Radionuclídeos".
- NN 1.16, "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações".
- NE 1.18, "Conservação Preventiva em Usinas Nucleoelétricas".
- NE 1.21, "Manutenção de Usinas Nucleoelétricas".
- NE 1.22, "Programas de Meteorologia de Apoio de Usinas Nucleoelétricas".
- NE 1.25, "Inspeção em Serviço em Usinas Nucleoelétricas".
- NE 1.28, "Qualificação e Atuação de Órgãos de Supervisão Técnica Independente em usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações".
- NE 2.01, "Proteção Física de Unidades Operacionais na Área Nuclear".
- NN 2.03, "Proteção contra Incêndio em Usinas Nucleoelétricas".
- NE 5.02, "Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Elementos Combustíveis de Usinas Nucleoelétricas".
- NE 5.03, "Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Itens de Usinas Nucleoelétricas".

- NN 8.01,"Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação".
- NN 8.02,"Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação".

## **6. RESULTADOS**

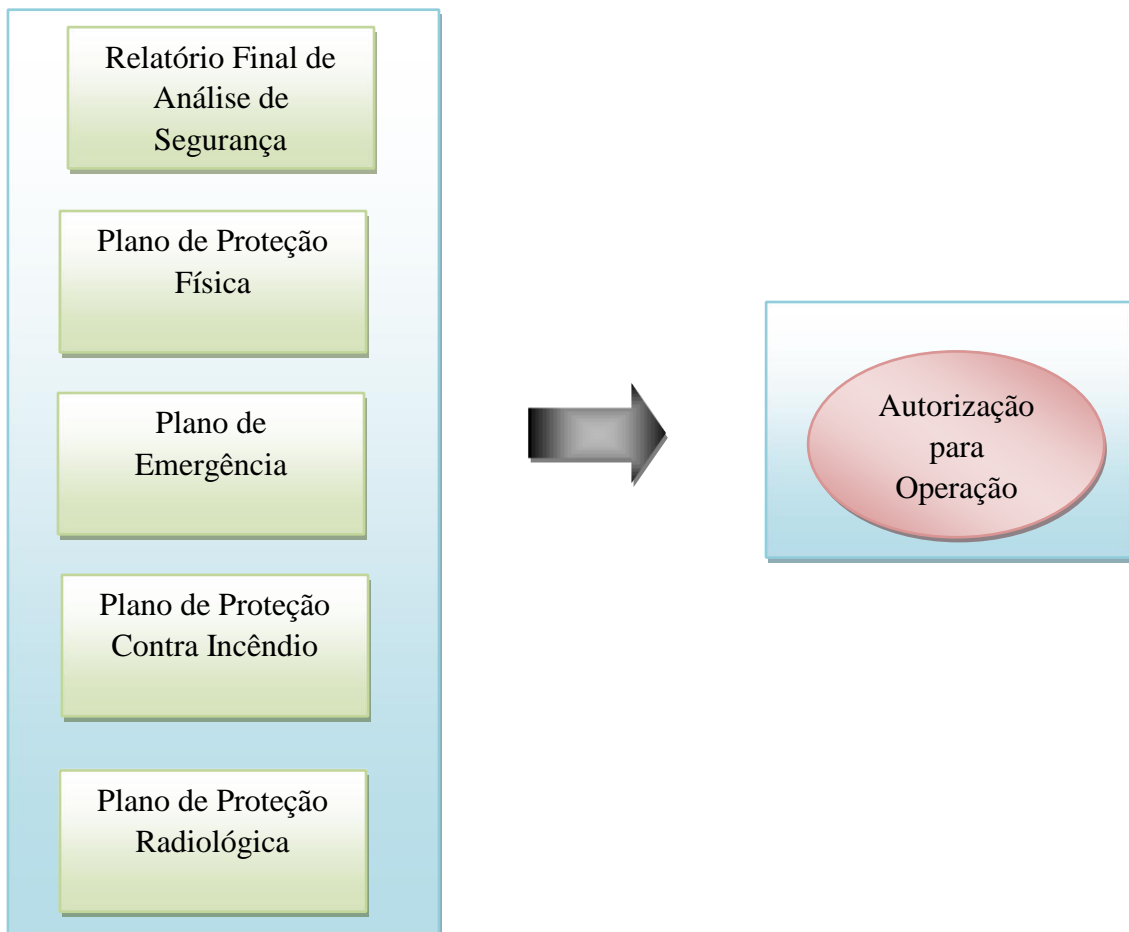
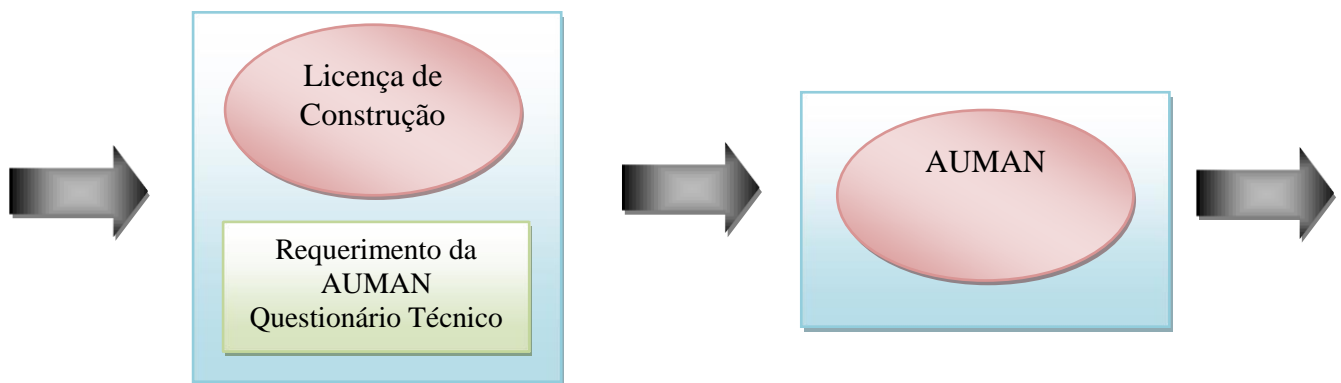
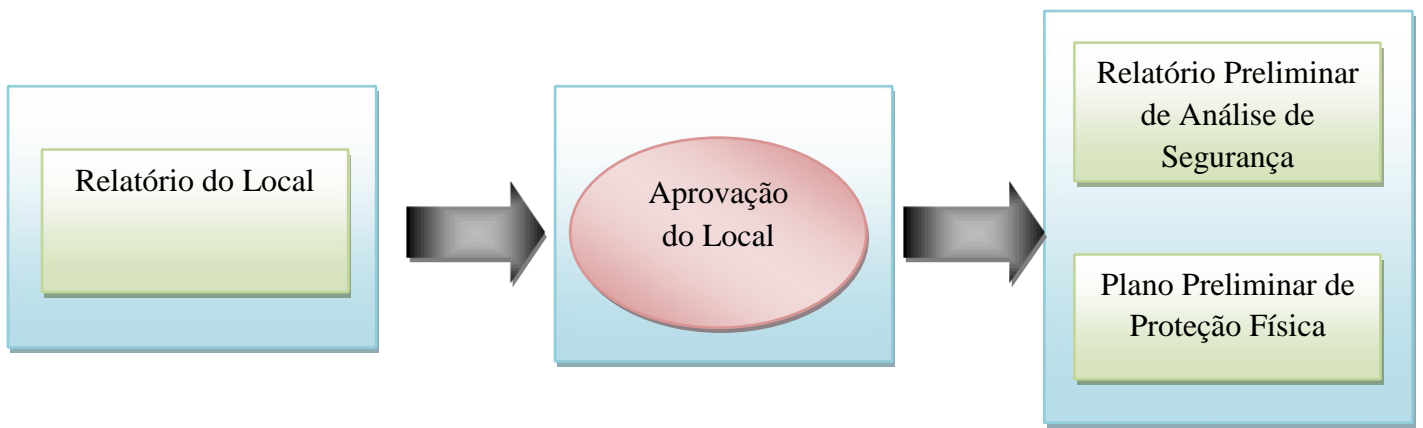
### **6.1. Descrição do Projeto da Estrutura Conceitual do Licenciamento Nuclear do Complexo Radiológico.**

Pelo fato de a CNEN nunca ter licenciado uma instalação como o CR muitos desafios e questionamentos precisam ser feitos de como este processo de licenciamento funcionará. Neste capítulo será apresentada uma proposta de estrutura conceitual para o licenciamento nuclear do CR, baseado nas normas que existem hoje da CNEN e foram apresentadas no capítulo anterior.

Como foi discutido anteriormente o CR radiológico será a única localidade no EBN que deterá material radioativo e nuclear. Tendo isto em vista, é necessário um isolamento com barreiras físicas e de segurança orgânica entre o CR e o resto do EBN, para que assim somente o CR necessite de licença da CNEN.

O CR possuirá diversas semelhanças a uma usina nucleoeletrica. No entanto, o risco é muito menor, pois a potência de um reator utilizado para propulsão de submarino é muito menor que a potência para a geração de energia elétrica. Devido a falta de normas da CNEN especificas para o caso tratado e a semelhança conservativa com uma usina nucleoeletrica, a estrutura conceitual proposta para o licenciamento do CR é baseada nas normas para usinas nucleoeletricas, em principal a norma NE 1.04, "Licenciamento de Instalações Nucleares".

Para o atendimento da norma NE 1.04 e as demais normas tratadas neste trabalho, foi elaborada uma proposta de relação de documentos para a realização de todas as etapas do processo de licenciamento do CR. O fluxograma abaixo mostra os documentos exigidos em cada etapa deste processo.



A proposta de estrutura para o licenciamento do CR apresentada acima foi baseada em um estudo das normas já discutidas neste trabalho. Segundo esta proposta os documentos finais exigidos para a autorização da operação são: RPAS, Plano de Proteção Física, Plano de Emergência, Plano de Proteção Contra Incêndio e PPR. Algumas propostas de diretrizes básicas para alguns destes documentos serão apresentadas nos próximos capítulos.

## **6.2. Aspectos Fundamentais sobre o Plano de Proteção Radiológica**

Como já discutido neste trabalho, o CR é uma instalação nova e inédita no país. Neste capítulo é proposta uma estrutura, junto com algumas diretrizes básicas para o PPR desta instalação. Esta proposta representa apenas conceitos básicos do PPR, que ainda devem ser desenvolvidos e detalhados.

O PPR proposto tem como objetivo garantir uma adequada segurança e proteção radiológica, atendendo as normas estabelecidas pela CNEN. Para isso este documento deve seguir fundamentalmente os três requisitos básicos de proteção radiológica, apresentados na norma NE 3.01, "Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica" (CNEN, 2014).

- **Justificação das Práticas:** Nenhuma prática ou fonte associada a essa prática é aceita sem que produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o detrimento correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos.
- **Limitação de dose:** A exposição normal dos indivíduos é restringida de forma que nem a dose efetiva total, nem a dose equivalente total, nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na Tabela 1, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN.

Tabela 1 - Limites de dose CNEN.

<b>Limites de Dose Anuais [a]</b>			
Grandeza	Órgão	IOE	Público
Dose efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv[b]	1 mSv[c]
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv[b]	15 mSv
	Pele[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e Pés	500 mSv	-

Fonte: Norma-CNEN-3.01 (CNEN,2014)

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup>de área, na região mais irradiada.

Os valores de dose efetiva se aplicam à soma das doses efetivas, causadas por exposições externas, com as doses efetivas comprometidas (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

As mulheres grávidas ocupacionalmente expostas devem se enquadrar dentro dos limites de dose do público.

- **Otimização:** Em relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, a proteção é otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível, tendo em vista os fatores econômicos e sociais. Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses nos indivíduos decorrentes de exposição às fontes estão sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte. Como condição limitante do processo de otimização da proteção radiológica no CR deve ser adotado o valor máximo de 0,3 mSv para a restrição da dose efetiva anual média para indivíduos do grupo crítico, referente à liberação de efluentes.

A demonstração da otimização de um sistema de proteção radiológica do CR deve sempre ocorrer, a menos que a dose efetiva anual média para qualquer IOE não excede 1mSv.

É proposto como estrutura básica para o PPR, que ele seja dividido nos seguintes tópicos (IRD, 2013a):

- Responsabilidades.
- Programa de Monitoração Radiológica Ocupacional.
- Programa de Monitoração Radiológica Ambiental.
- Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos.
- Programa de Monitoração de Efluentes.
- Programa de Controle Médico Ocupacional.
- Programa de Treinamento de Pessoal.
- Programa de Garantia de Qualidade.
- Programa de Controle de Material Nuclear e Radioativo.

#### **6.2.1. Responsabilidades.**

Todo o pessoal que trabalha dentro do CR possui responsabilidades. As responsabilidades em sua grande parte estão estabelecidas pela CNEN em suas normas, em principal a NE 3.01.

O titular do CR será um diretor futuramente nomeado. As responsabilidades básicas do diretor do CR estão estabelecidas na NE 3.01, são elas:

- Implantar, implementar e documentar um sistema de Proteção radiológica, em consonância com a natureza e extensão dos riscos associados com as práticas e intervenções sob sua responsabilidade, em conformidade com normas aplicáveis estabelecidas pela CNEN;
- Determinar as medidas e os recursos necessários para garantir o cumprimento das diretrizes de Proteção radiológica, assegurar que os recursos sejam fornecidos e que essas medidas sejam implementadas corretamente;
- Rever, continuamente, tais medidas e recursos, identificar quaisquer falhas e deficiências na sua aplicação, corrigi-las e evitar suas repetições, bem como verificar regularmente se os objetivos de Proteção radiológica estão sendo alcançados;
- Estabelecer mecanismos para facilitar a troca de informação e cooperação entre todas as partes interessadas com relação à Proteção radiológica, incluindo a segurança das fontes;

- Manter os registros apropriados relativos ao cumprimento de suas responsabilidades;
- Tomar as ações necessárias para assegurar que os IOE's estejam cientes de que sua segurança é parte integrante de um programa de Proteção radiológica, no qual os IOE's possuem obrigações e responsabilidades tanto pela sua própria proteção como pela de terceiros.

No caso de falhas no cumprimento de qualquer requisito da Norma NN 3.01, o diretor do CR deve:

- Investigar as causas e consequências;
- Adotar as medidas apropriadas para evitar a repetição de falhas semelhantes;
- Comunicar à CNEN, na forma e nos prazos por ela estabelecidos, as causas e as ações corretivas ou preventivas adotadas ou que devam ser adotadas. Esta comunicação será em caráter de urgência, sempre que uma situação de emergência tiver sido iniciada, esteja se desenvolvendo ou em vias de se desenvolver; e,
- Adotar quaisquer outras ações especificadas pela CNEN.

O diretor do CR também possui responsabilidades no PPR da instalação, as principais são:

- 1) Garantir que seja fornecido todos os meios e recursos necessários para a execução e cumprimento do PPR.
- 2) Estabelecer as medidas e técnicas básicas necessárias para garantir a segurança das fontes nucleares e a proteção radiológica.
- 3) Nomear pelo menos 2 SPR de classe I-UN e seus substitutos para o CR, para que assim não haja sobrecarga de trabalho e os supervisores consigam exercer suas funções.
- 4) Criar a estrutura e nomear o chefe do Serviço de Proteção Radiológica.
- 5) Esteja em ligação direta com o chefe do Serviço de Proteção Radiológica e inteiramente inteirado dos assuntos relativos a segurança e proteção radiológica.
- 6) Esteja sempre em contato com a CNEN relatando qualquer tipo de incidente, acidente ou situações fora da normalidade que gerem qualquer tipo de dose.

O Serviço de Proteção Radiológica do CR deverá segundo a norma NE 3.02 desempenhar as seguintes atividades:

- controle de trabalhadores;



- controle de áreas;
- controle do meio ambiente e da população;
- controle de fontes de radiação e de rejeitos;
- controle de equipamentos;
- treinamento de trabalhadores; e
- registros de dados e preparação de relatórios.

Para que sejam desempenhadas essas atividades o chefe do Serviço de Proteção Radiológica do CR, deterá as seguintes responsabilidades:

- 1) Gerenciar, planejar e supervisionar as atividades do Serviço de Proteção Radiológica.
- 2) Implementar todos os Planos e Programas relativos a proteção radiológica do CR.
- 3) Manter estreita relação com o diretor do CR, garantindo a passagem de informação e o assessoramento ao diretor.
- 4) Executar e rever trimestralmente o PPR.
- 5) Emitir relatório sobre qualquer situação que fuja da operação normal e gere alguma dose a qualquer indivíduo.
- 6) Gerenciar e controlar os rejeitos radioativos e a liberação de efluentes.
- 7) Assessorar a área de Recursos Humanos na seleção e alocação de pessoal em assuntos relacionados à Proteção radiológica.
- 8) Participar sempre das atividades no CR relacionadas a exposição a radiação ionizantes, mesmo quando não rotineiras.
- 9) Manter o registro de dose de todo IOE do CR.
- 10) Gerenciar o Inventário de Fontes Radioativas, Material Nuclear, Equipamentos Geradores de Radiação Ionizante e Instrumentação de Proteção radiológica do CR.
- 11) Gerenciar as atividades de chegada e armazenamento de material nuclear.
- 12) Designar responsável por controlar o acesso de áreas onde será armazenado material nuclear.
- 13) Garantir todos os meios e equipamentos necessários para cumprimento do PPR do CR.

O CR terá no mínimo dois SPR de classe I-UN devidamente qualificados pela CNEN. A responsabilidade primordial dos SPR é fazer cumprir o PPR do modo mais eficiente possível.

Segundo a norma NE 3.01 e a RESOLUÇÃO CNEN N° 111 as responsabilidades e deveres dos SPR são:

- Assessorar e informar a direção da instalação sobre todos os assuntos relativos à Proteção radiológica;
- Zelar pelo cumprimento do plano de Proteção radiológica aprovado pela CNEN;
- Planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do serviço de Proteção radiológica, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de Proteção radiológica;
- Coordenar o treinamento, orientar e avaliar o desempenho dos IOE's, sob o ponto de vista de proteção radiológica;
- Manter sob controle, em conformidade com requisitos de normas específicas e condições autorizadas pela CNEN: as fontes de radiação; os rejeitos e efluentes radioativos; as condições de Proteção radiológica dos IOE's e do público; as áreas supervisionadas e controladas; e os equipamentos de Proteção radiológica e monitoração da radiação;
- Comunicar, por escrito, imediatamente, ao titular da instalação, a ocorrência de irregularidades constatadas com fontes de radiação e as ações necessárias para garantir a Proteção radiológica da instalação, em cumprimento às normas da CNEN;
- Treinar, orientar e avaliar o desempenho dos IOE's, sob o ponto de vista de Proteção radiológica;
- Atuar em situações de emergência radiológica, de acordo com o previsto no plano de emergência, investigando e implementando as ações corretivas e preventivas aplicáveis;
- Comunicar à CNEN, no prazo de trinta dias, seu desligamento de qualquer instalação na qual atue como supervisor de Proteção radiológica;
- Estabelecer por escrito, manter atualizado e verificar a aplicação do plano de Proteção radiológica da instalação, bem como dos procedimentos para o uso, manuseio, acondicionamento, transporte e armazenamento de fontes de radiação;
- Estabelecer, avaliar e manter atualizados e disponíveis para verificação, em decorrência da competência regulatória da CNEN, os registros e indicadores referentes ao serviço de Proteção radiológica da instalação; e

- Manter-se atualizado sobre conceitos e tecnologias relacionados à segurança nuclear e à Proteção radiológica, assim como sobre as normas e regulamentos aplicáveis.

No CR um dos SPR será responsável pelo controle de material nuclear.

Os trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante durante seu expediente no CR também terão responsabilidades e deveres. Cabem a todos os IOE's as os seguintes deveres:

- Seguir as regras e procedimentos aplicáveis a segurança e proteção radiológica especificados, incluindo treinamentos.
- Fornecer ao Serviço de Proteção Radiológica toda informação relativa as suas exposições a radiação ionizante, tanto ocupacional quanto médica.
- Evitar e impedir qualquer ação intencional que gerem situações que contrariem os regulamentos da CNEN.
- Permanecer sempre nas áreas com menor nível de radiação enquanto estiver aguardando qualquer pessoa, instrução ou equipamento.
- Usar corretamente dosímetros individuais e equipamentos de proteção individual, quando necessário.
- Acompanhar as respectivas doses recebidas, para que não sejam ultrapassados os níveis de dose operacional.
- Monitorar-se ao sair de uma área contaminada ou área controlada.
- Comunicar imediatamente qualquer situação anormal ao SPR.  
Minimizar a geração de rejeitos radioativos.

### **6.2.2 Programa de Monitoração Radiológica Ocupacional**

O Programa de Monitoração Radiológica Ocupacional estabelece as diretrizes de monitoração externa e interna dos IOE's; e classificação e monitoração de áreas. As condições estabelecidas neste programa são aplicadas a todos os IOE's dentro do CR, mesmo que não sejam funcionários diretos da instalação.

Todo IOE que trabalha no CR deve utilizar um dosímetro externo de corpo inteiro durante a permanência em áreas sujeitas a exposição externa. Os dosímetros de corpo inteiro devem ser utilizados mesmo em trabalhos fora da instalação que gerem a possibilidade de exposição.

Caso o IOE tenha um risco potencial de exposição nas extremidades é obrigatório o uso de dosímetros de extremidades tipo anel ou pulseira.

A monitoração individual interna deve ser realizada através de medidas de bioanálise “in vivo” e “in vitro”. A contaminação interna pode ocorrer pelas possíveis vias de contaminação: ingestão, inalação ou contato com a superfície do corpo.

O IOE deve realizar a monitoração interna quando há um risco potencial de contaminação interna, tanto dentro do CR quanto em algum trabalho externo. Em casos que não haja contaminação potencial a monitoração interna é feita anualmente.

Todas as doses da monitoração externa e interna devem ser registradas, armazenadas em um banco de dados individual de cada IOE e fiscalizadas para que não ultrapasse os níveis de dose operacionais estabelecidos. O registro individual de dose deve ser fornecido para cada IOE.

Todas as áreas devem ser classificadas como área controlada, área supervisionada ou área livre. Esta classificação deve ser baseada no levantamento dos campos de radiação, tipo e atividade de radionuclídeos, tipo de trabalho executado e modo de operação de cada área dentro do CR.

As áreas classificadas como controladas são aquelas cujo o nível de taxa de dose é superior à 3  $\mu\text{Sv/h}$  ou caso haja um risco potencial de exposição à radiação.

As áreas controladas devem possuir itens para reforçar a segurança e proteção radiológica:

- Controle de acesso.
- Barreiras físicas para restringir o acesso.
- Instrumentos para monitoração de contaminação na saída.  
Alarmes visuais e sonoros de níveis de radiação.
- Equipamentos de proteção individual e de segurança.

Além disso, é primordial a identificação da área como controlada e a sinalização com símbolo de radiação ionizante estabelecido na norma NE 3.01 da CNEN e apresentado na Figura 6:



Figura 6 – Símbolo de Radiação

Fonte: Disponível em < <https://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&site=imghp&tbm>>. Acesso em: 25 de jul. 2016

As áreas supervisionadas são aquelas no entorno de áreas controladas com alto risco potencial de exposição. As áreas supervisionadas devem possuir identificação, sinalização e controle de acesso.

O SPR deve realizar uma monitoração de área com periodicidade estabelecida a fim de garantir que esteja tudo sobre controle. Além da monitoração periódica do SPR, os IOE's devem realizar uma monitoração de área diariamente em seus postos de trabalho. Todos os equipamentos utilizados na monitoração interna, monitoração externa e monitoração de área devem ser calibrados anualmente e testados regularmente.

### **6.2.3. Programa de Monitoração Radiológica Ambiental**

O Programa de Monitoração Radiológica Ambiental (PMRA) estabelece procedimentos adotados para assegurar que o material radioativo manuseado no CR não seja emitido indevidamente para o meio ambiente.

Assim como todos os programas deste PPR o PMRA busca a otimização para que os níveis de radiação no meio ambiente sejam tão baixos quanto razoavelmente exequíveis.

São realizadas medições dos campos de radiação e dos radionuclídeos no meio ambiente e então os resultado são interpretados para avaliar e controlar a exposição do individuo do publico, em especial o grupo crítico. São enviados a CNEN os relatórios das interpretações dos resultados. Além disso, qualquer aumento no nível esperado de radiação no meio ambiente deve ser imediatamente comunicado a CNEN.

Devem ser monitorados neste PMRA: água, ar, solo, vegetação, biota aquática, gado e efluentes líquidos. As monitorações são feitas nas proximidades do CR em locais pré-estabelecidos. Deve-se também selecionar alguns pontos para medir o nível de radiação gama, através da fixação de dosímetros TLD.

É importante que o PMRA seja aplicado na fase pré-operacional do CR para que se tenham os dados para uma futura comparação dos níveis de radiação da área.

#### **6.2.4. Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos**

O Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos tem como objetivo fazer com que o CR opere de modo que o impacto radiológico seja mantido dentro dos limites estabelecidos na norma NE 3.01. Os rejeitos devem ser controlados e gerados na menor proporção possível de modo que seja mantido o princípio ALARA.

Os rejeitos radioativos podem ser descartados na rede de esgoto e no sistema de coleta de lixo urbano caso os níveis de concentração ou atividade estejam abaixo dos limites estabelecidos nas normas da CNEN.

O CR deve possuir uma unidade de tratamento de rejeitos para que eles sejam acondicionados da melhor maneira possível e minimizado o espaço físico que o rejeito ocupa.

Os EC já utilizados no reator do SN-BR não são considerados rejeitos radioativos no Brasil, pois ainda podem ser reprocessados. Porém, devido a alta taxa de periculosidade desses combustíveis eles devem ser armazenados em piscinas apropriadas para o resfriamento dos mesmos.

Segundo a posição regulatória 1.26/001 os rejeitos radioativos devem possuir um depósito inicial dentro do CR e serem acondicionados no mesmo até a construção de um depósito final ou o descomissionamento do CR.

Segundo um dos princípios de proteção radiológica estabelecidos pela Agencia Internacional de Energia Atômica a geração de rejeitos radioativos não deve trazer prejuízos excessivos a gerações futuras.

Os rejeitos devem ser separados fisicamente e identificados para facilitar seu tratamento. Deve ser realizado um inventario de todo rejeito radioativo gerado no CR e identificado a sua localização dentro do depósito.

O transporte de rejeitos tanto internamente quanto externamente ao CR deve ser acompanhado pelo SPR. O SPR também deve acompanhar as inspeções rotineiras da CNEN no depósito de rejeitos.

### **6.2.5. Programa de Monitoração de Efluentes Radioativos**

O Programa de Monitoração de Efluentes Radioativos tem como objetivo principal garantir que os efluentes liberados estejam dentro dos limites estabelecidos não causando minimizando assim o prejuízo a saúde humana e ao meio ambiente.

O programa estabelece os níveis operacionais de concentração e atividade de radionuclídeos que os efluentes podem ser liberados para o meio ambiente. Os níveis operacionais são menores que os limites estabelecidos pela CNEN, tendo em vista sempre manter as emissões tão baixas quanto razoavelmente exequíveis.

A restrição de dose efetiva para o individuo do publico é 0,3 mSv e deve ser acordada com a CNEN, já que o individuo do publico pode levar dose de futuras instalações no local.

As liberações e os níveis de radionuclídeos nelas devem ser acordados previamente com a CNEN. Não podem haver liberações fora da rotina que não estejam autorizadas pela CNEN.

O controle da liberação de efluentes radioativos esta diretamente ligada ao controle radiológico ambiental.

### **6.2.6. Programa de Controle Médico Ocupacional.**

O programa de Controle Médico Ocupacional tem como objetivo avaliar as condições de saúde dos trabalhadores do CR, de modo a garantir que a exposição ocupacional a radiação não esteja trazendo ônus a saúde deste trabalhador.

Todo IOE do CR deve ser submetido, a diversos exames médicos ao longo de sua carreira: Pré-admissional; Periódico; De retorno ao trabalho; De mudança de função e Demissional.

O exame médico periódico deve ser realizado semestralmente por todos IOE. Caso o IOE não esteja em dia com seu exame periódico ele deve ser retirado de funções que possam levar a exposição a radiação ionizante.

Um médico qualificado deve aprovar a condição de saúde do IOE para que ele possa continuar em uma função em que ele possa ser exposto a radiação ionizante.

Deve ser entregue ao Serviço de Proteção Radiológica uma lista dos IOE's e as datas de seus exames periódicos, para garantir que estejam em dia e caso contrario medidas adequadas possam ser tomadas.

Caso um IOE sofra uma exposição maior que 50 mSv ele é imediatamente submetido a avaliação e acompanhamento médico; e afastado de seu trabalho.

Devem ser mantidos registros de todos os prontuários médicos de exames dos IOE por no mínimo 30 anos, mesmo que o indivíduo não esteja mais trabalhando no CR.

#### **6.2.7. Programa de Treinamento de Pessoal**

O Programa de Treinamento de Pessoal tem como objetivo estabelecer todo tipo de treinamento necessário para profissionais, estudantes, visitantes ou qualquer outro indivíduo que adentrar as instalações do CR.

Diversos tipos de treinamentos são exigidos para diferentes níveis de profissionais, treinamento inicial, treinamento continuado, instruções e treinamentos de emergência.

Todo o pessoal, IOE ou não, que adentrar as instalações do CR deve possuir no mínimo um treinamento básico em proteção radiológica e segurança de fontes nucleares.

Todos os IOE devem receber obrigatoriamente treinamento geral em proteção radiológica e segurança de fontes nucleares; e treinamento específico na área em que irá atuar, o início do trabalho só é possível após a confirmação destes treinamentos.

Todo IOE deve ser notificado sobre os riscos potenciais a sua saúde devido a natureza de seus respectivos trabalhos.

#### **6.2.8. Programa de Garantia de Qualidade**

O PPR deve possuir um Programa de Garantia de Qualidade (PGQ) próprio. O PGQ estabelece as ações tomadas para redução de riscos de falhas de processos descritos no PPR. Também estabelece ações que busquem controlar e melhorar estes processos.

O PGQ deve contemplar os componentes do processo que requerem a garantia formal da qualidade, os padrões de segurança aplicáveis e auditorias.

Devem ser tomadas medidas para reduzir a contribuição de erros humanos que levem a acidentes ou incidentes. Uma dessas medidas são as auditorias internas periódicas que serão feitas no CR.



### **6.2.9. Programa de Controle de Material Nuclear e Radioativo**

O Programa de Controle de Material Nuclear e Radioativo tem como objetivo garantir que as fontes geradoras de radiação dentro do CR estão sobre um controle rigoroso, diminuindo o risco de acidentes e incidentes por falta de controle das fontes.

Este programa deve estar em consonância com a norma NN 2.02, "Controle de Materiais Nucleares". A NN 2.02 abordada no capítulo 4.5 deste apresenta uma série de requisitos para o controle de materiais nucleares.

É fundamental que toda fonte mantida nas instalações do CR, seja nuclear ou radioativa, estejam devidamente identificadas, registradas, sinalizadas, sob controle e mantidas em segurança.

As fontes de radiação presentes no CR devem possuir um programa de supervisão para que se evite a perda de controle das mesmas. O programa de supervisão deve levar em conta os seguintes aspectos:

- Presença em local correto e a devida sinalização;
- Estado físico, existência de contaminação e vazamento;
- Condições corretas de uso, blindagem, acondicionamento, segurança, transporte e armazenamento.

É mantido um inventário de todo o material radioativo e nuclear presente no CR. Este inventário deve estar sempre atualizado e deve ser notificado a CNEN imediatamente qualquer perda de material do inventário.

Qualquer aquisição, movimentação, transferência e transporte de fontes de radiação deve ser acompanhada por um dos SPR da instalação. Além disso, qualquer mudança no inventário de material nuclear deve ser passada ao SPR responsável.

### **6.3. Aspectos Fundamentais sobre o Plano de Emergência**

O Plano de Emergência tem como objetivo planejar e implementar as ações necessárias em uma situação de emergência nuclear ou radiológica decorrentes das atividades do CR. As ações devem ser tomadas, para retomar o controle a operação normal o mais rápido possível e minimizar as consequências dos acidentes (IRD,2013b).

Devem ser tomadas medidas para instruir o IOE quanto aos procedimentos de emergência para garantir a difusão deste plano.

O Plano de Emergência do CR tem como prioridade garantir a segurança e saúde do IOE, indivíduo do público e meio ambiente.

Todo trabalhador dentro do CR deve ter conhecimento e treinamento sobre os procedimentos de emergência.

O CR deverá possuir uma equipe de emergência que atuará junto com o SPR no caso de ocorrência da mesma.

Em caso de situação de emergência o SPR deve ser imediatamente avisado. O SPR será o responsável por realizar as primeiras ações na situação de emergência, tomando as medidas necessárias para que a situação se normalize. Caso a situação fuja do controle do SPR ele deverá solicitar ajuda do órgão regulador.

Qualquer possibilidade de situação de emergência deve ser comunicada a CNEN, mesmo que ainda não tenha ocorrido.

O Plano de Emergência do CR deve ser revisado e atualizado todo ano.

Deve ser simulado situações de emergência nuclear pelo menos 1 vez ao ano. A simulação deve ser feita com a população local para que todos estejam devidamente preparados para uma situação de emergência. Este treinamento deve ser avaliado para que os procedimentos de emergência possam ser corrigidos e melhorados.

Devem ser estabelecidas zonas de emergência e rotas de fuga, para que em caso de acidente nuclear as pessoas possam ser devidamente deslocadas de acordo com a gravidade do acidente. Ao longo das zonas de emergência devem ser estabelecidos locais com sirenes de alarme. As sirenes devem ser testadas mensalmente.

Após qualquer evento anormal deve ser preparado um relatório e enviado a CNEN. Medidas devem ser tomadas a fim de evitar que o evento anormal volte a ocorrer.

Nenhum membro da equipe de emergência deve ser exposto a dose superior ao limite anual, exceto com a finalidade de:

- Salvar vidas ou prevenir danos sérios à saúde;
- Executar ações que evitem dose coletiva elevada; ou
- Executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas;

Nenhuma pessoa pode ser exposta a dose efetiva maior que 100 mSv, a menos que tenha o propósito de salvar vidas.

Somente voluntários podem empreender ações nas quais a dose efetiva possa exceder 50 mSv. Nesses casos, esses voluntários devem ser informados, com antecedência, dos riscos associados à saúde, e devem ser treinados para as ações que possam ser necessárias;

Devem ser postulados alguns acidentes que possam vir a ocorrer dentro do CR, para que assim possa-se estabelecer os procedimentos de emergência em cada tipo de acidente.

Alguns acidentes postulados para o CR são:

- Colisão do SN-BR com as interfaces de apoio no CR;
- Queda do EC durante a manobra de troca de combustível ou armazenamento;
- Perda de refrigeração do reator quando dentro do dique;
- Falta de refrigeração dentro da piscina com combustíveis já utilizados;
- Exposição excessiva do IOE a fontes de radiação;
- Terremoto;
- Incêndio;
- Queda de Aeronaves;
- Relâmpagos;
- Ondas gigantes (Tsunamis);
- Deslizamento de Terra;
- Inundações;
- Eventos meteorológicos extremos;
- Desaparecimento de material nuclear;
- Vazamento de rejeitos radiativos.

#### **6.4. Aspectos Fundamentais sobre o Plano de Proteção Física**

Os principais conceitos básicos para o Plano de Proteção Física do CR podem ser adaptados a partir dos regulamentos estabelecidos na norma NE 2.01, “Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear” (CNEN, 2011).

O Plano de Proteção Física do CR e os detalhes de projeto, localização e operação de dispositivos e de equipamentos de proteção física devem ter classificação sigilosa, ou seja, somente pessoal autorizado pode ter acesso ao Plano.

Deve ser levado em consideração para elaboração deste Plano:

- Localização Geográfica;
- Avaliação de Ameaças Potenciais;
- Controle de Acesso ao CR e ao Material Nuclear

Por se tratar de uma instalação militar a proteção física deve ser extremamente rigorosa devido ao grande risco de ameaças potenciais.

O projeto do CR deve delimitar áreas de segurança como: área vigiada, área protegida e área vital, dotadas de grau crescente de proteção física.

As áreas vitais são as áreas de segurança onde estarão armazenados os materiais nucleares e onde estarão localizados os diques para troca de combustível, portanto devem possuir barreiras físicas.

As áreas protegidas são cercadas por barreiras físicas e possuem controle de acesso. As áreas protegidas ficam em volta das áreas vitais, controlando assim o acesso de todo pessoal que possa chegar a uma área vital.

Todas as demais áreas do CR serão áreas vigiadas, portanto devem possuir avisos e sinais de que é uma área com segurança controlada e constante vigilância.

Não será permitido estacionar dentro do CR, por se tratar de uma área no mínimo vigiada.

As áreas vitais devem:

- Ser localizadas, sempre que possível evitar a proximidade com edificações com equipamentos não vitais.
- As barreiras físicas devem ser capazes de deter a intrusão de pessoas não autorizadas, proporcionando resistência à penetração de objetos perigosos.
- Possuir um número mínimo de aberturas, idealmente uma só entrada e saída.
- Quando possuir janelas externas, devem ser providas de dispositivos de alarme e protegidas com barras de ferro firmemente engastadas nas paredes.
- Quando possuir saídas de emergência, devem ser providas de dispositivos de alarme contra intrusão.
- Possuir o menor número de equipamentos não vitais possível, idealmente apenas equipamentos vitais.

As tomadas e descargas vitais de água da instalação nuclear devem merecer atenção especial quanto à proteção física.

A fiação para dispositivos de proteção física, sistemas de comunicações de segurança e acionadores de fechaduras de portas deve ser conduzida, sempre que praticável, em tubulação de metal ou outra com proteção equivalente.

Os sistemas de detecção de intrusão devem ser capazes de operar independentemente do fornecimento normal de energia da rede.

Deve ser estabelecido um Serviço de Proteção Física (SPF). O SPF tem a responsabilidade primordial de implementar e fazer cumprir este Plano. Além disso, o SPF é responsável por:

- A seleção e emprego da força de segurança;
- O estabelecimento das ligações com a força de apoio, com o apoio suplementar e com a organização de defesa civil de sua área;
- O programa de treinamento;
- O sistema de registros;
- A exigência de relatórios;
- A investigação de violações;
- A vigilância e controle de acesso das áreas de segurança, incluindo medidas coercitivas e outras para evitar facilidades de acesso ou abuso de privilégios;
- A movimentação interna e transporte de material nuclear;
- Busca e apreensão
- Situações de emergência.

Toda pessoa que trabalhe no CR desde seu processo de construção deve ser devidamente investigada, a fim de detectar possíveis intenções maliciosas de sua entrada na instalação.

O Plano de Proteção Física deve apresentar uma série de informações detalhadas sobre o CR. Deve constar neste plano:

- Critérios básicos de planejamento da proteção física;
- Plantas e desenhos identificando: as edificações, aspectos do terreno e vulnerabilidade, áreas de segurança, zonas de isolamento, barreiras físicas, zonas de controle de acesso, iluminação, dispositivos de alarme, caminhos que serão percorridos pela segurança e posição do serviço de proteção física;
- Características das barreiras físicas;

- Relação dos tipos de dispositivos de alarme e de dispositivos de detecção de intrusão;
- Descrição das comunicações de segurança;
- Descrição dos sistemas de proteção de painéis, fiações, comunicações de segurança e demais sistemas de proteção física.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Brasil busca a obtenção de uma tecnologia, o submarino com propulsão nuclear, extremamente sensível e restrita no mundo inteiro. Para a obtenção desta tecnologia é fundamental a construção e operação do CR do EBN; e conseqüentemente a obtenção da licença nuclear para realizar essa tarefa. Por se tratar de uma tecnologia inédita no Brasil o processo de licenciamento nuclear se torna algo que necessita de um estudo e atenção especial, sendo de fundamental importância a elaboração de uma estrutura conceitual para este licenciamento.

Conclui-se que o projeto de estrutura de licenciamento nuclear desenvolvido neste trabalho mostrou-se adequado e uma opção extremamente viável de se implementar. A estrutura de licenciamento foi julgada viável por ter abordado as normas da CNEN de uma maneira conservativa, onde, se na maioria dos casos se considera o CR como uma usina nucleoeletrica.

Além disso, os conceitos básicos do Plano de Proteção Radiológica, Plano de Emergência e Plano de Proteção Física foram descritos, a fim de destacar as características mais importantes destes documentos que devem ser utilizado quando foram elaborados para o licenciamento do CR. A descrição dos conceitos básicos destes documentos mostrou-se adequada, por terem seguido boas referências e apresentarem sempre conceitos conservativos a fim de garantir a proteção radiológica e segurança das fontes nucleares do CR.

Recomenda-se que a partir deste trabalho sejam elaborados os conceitos básicos dos documentos restantes para a autorização de operação, descrita na estrutura conceitual de licenciamento proposta. Os documentos a serem elaborados são: Relatório Final de Análise de Segurança e Plano de Proteção Contra Incêndio. Além disso, recomenda-se que todos os documentos sejam desenvolvidos mais detalhadamente e aplicados no processo de licenciamento ao qual à enquadrarão.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARINHA DO BRASIL. **Finalidade do Submarino com Propulsão Nuclear**. Disponível em <https://www1.mar.mil.br/prosub/finalidadenuclear>. Acesso em 05/06/2016, 2016a.

MARINHA DO BRASIL. **Estaleiro e Base Naval**. Disponível em <https://www1.mar.mil.br/prosub/estaleiro-e-base-naval>. Acesso em 05/06/2016, 2016b.

PROSUB. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB)**. Disponível em [https://www.mar.mil.br/hotsites/sala\\_imprensa/pdf/temas/snbr.pdf](https://www.mar.mil.br/hotsites/sala_imprensa/pdf/temas/snbr.pdf). Acesso em 29/05/2016, 2013.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB)**. Disponível em <https://www1.mar.mil.br/prosub> . Acesso em 20/06/2016, 2016c.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Licenciamento de Instalações Nucleares**. Norma CNEN-NE-1.04. Brasil, Dezembro de 2002.

MARINHA DO BRASIL. **Enriquecimento Nuclear**. Disponível em <https://www1.mar.mil.br/ctmsp/CCN-enriquecimento>. Acesso em 15/07/2016, 2016d.

DEPARTMENT OF THE NAVY. **Occupational Radiation Exposure from U.S. Naval Nuclear Plants and their Support Facilities**. Disponível em <https://nnsa.energy.gov/sites/default/files/nnsa/02-12-multiplefiles/NT-112%20FINAL.pdf>. Acesso em 10/07/2016, 2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Norma CNEN-NN-3.01. Brasil, Março de 2014.



COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Serviços de Radioproteção.** Norma CNEN-NE-3.02. Brasil, Agosto de 1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.** Norma CNEN-NN-7.01. Brasil, Maio de 2016.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Controle de Materiais Nucleares.** Norma CNEN-NN-2.02. Brasil, Setembro de 1999.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Segurança na Operação de Usinas Nucleoelétricas.** Norma CNEN-NE-1.26. Brasil, Outubro de 1997.

INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA (IRD). **Plano de Proteção Radiológica.** Disponível em <http://www.ird.gov.br/>. Acesso em 29/05/2016, 2013a.

INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA (IRD). **Plano de Emergência Radiológica.** Disponível em <http://www.ird.gov.br/>. Acesso em 29/05/2016, 2013b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear.** Norma CNEN-NE-2.01. Brasil, Setembro de 2011.