XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Caminhos para a reutilização de instalações nucleares brasileiras de pesquisa.

Paths for the reuse of Brazilian nuclear research facilities.

Julia Maria Crispiniano
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | juliagut2004@yahoo.com.br
Adriana Camargo de Brito
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | adrianab@ipt.br

Resumo

Devido ao ineditismo brasileiro, este artigo apresenta através de estudo de casos internacionais as práticas adotadas por alguns dos países detentores de tecnologia nuclear que ao passarem pela desativação de suas instalações nucleares de pesquisa optaram pela reabilitação dos edifícios e que após o processo de descontaminação passaram a disponibilizá-los para outros usos. Em paralelo, é feita a análise da legislação brasileira que aborda esse assunto e sua fragilidade em estabelecer diretrizes aos órgãos operadores, especialmente quanto ao processo de desativação e reutilização de instalações nucleares de pesquisa no Brasil, sendo predominantemente voltada para instalações tipo usina nuclear.

Palavras-chave: Descomissionamento. Reabilitação. Sustentabilidade. Legislação. Retrofit.

Abstract

Due to the Brazilian novelty, this article presents, through international case studies, the practices adopted by some of the countries with nuclear technology that, when going through the deactivation of their nuclear research facilities, opted for the rehabilitation of the buildings and that, after the decontamination process, began to make them available for other uses. In parallel, an analysis is made of the Brazilian legislation that addresses this issue and its fragility in establishing guidelines for operating bodies, especially regarding the process of deactivation and reuse of nuclear research facilities in Brazil, being predominantly focused on nuclear power plant installations.

Keywords: Decommissioning. Rehabilitation. Sustainability. Legislation. Retrofit.

Como citar:
CRISPINIANO, Julia Maria; BRITO, Adriana Camargo de. Caminhos para a reutilização de instalações nucleares brasileiras de pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

INTRODUÇÃO

Entre as recomendações do Plano Nacional de Energia 2050 do Brasil [1] para a expansão na produção e uso de energia está o prosseguimento do programa nuclear brasileiro, que após a conclusão de Angra III, prevê o início dos estudos de localização de novas centrais nucleares no Sudeste e Nordeste.

Além das Usinas de Angra I, II e III, que não são objetos desse estudo, existem atualmente no Brasil quatro reatores nucleares de pesquisa em operação. O mais antigo, e o de maior potência (5 MW), é o reator IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN em São Paulo que foi inaugurado em 1957 e em breve passará pelo processo de desativação. Outros dois reatores de pesquisa de baixa potência: o reator IPR-R1 do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear – CDTN em Belo Horizonte (100 kW); e o reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN no Rio de Janeiro (500 W); foram construídos na década de 60. O quarto reator nuclear de pesquisa, o reator IPEN/MB-01 localizado no IPEN - USP, é uma instalação do tipo unidade crítica (100 W) e foi construído na década de 80, já com tecnologia nacional, visando o desenvolvimento autônomo da tecnologia para reatores nucleares de potência. Mais duas instalações nucleares de pesquisa encontram-se em construção, o Laboratório de Geração Nucleoelétrica (previsão de operar com até 48MW de potência térmica) e o Reator Multipropósito Brasileiro (previsão de operar com até 30MW de potência térmica), ambos em Iperó, São Paulo.

Todos esses reatores encontram-se abrigados em edifícios com paredes de grande espessura de concreto armado ou estrutura metálica que funcionam como blindagem para proteger o meio externo dos efeitos da exposição à radiação, do aquecimento gerado durante as trocas térmicas do processo radioativo e para proteger o reator e sistemas auxiliares em caso de acidentes graves [2]. Mais do que construir um edifício e garantir que ele seja funcional para um determinado uso, é preciso respeitar políticas ambientais, garantir o conforto e a saúde aos ocupantes e, claro, respeitar a realidade socioeconômica da região.

Além da questão energética [3], os reatores nucleares de pesquisa são uma infraestrutura de investigação tecnológica que permite a aquisição de conhecimento, experiência e formação de recursos humanos no estabelecimento de uma base para um programa nuclear, para fins pacíficos. São capazes de produzir produtos e serviços para diversas áreas como, por exemplo, medicina, indústria, meio ambiente, ciências nucleares, ciência de materiais, dentre outros.

Sendo o Brasil um país relativamente novo na construção e operação de instalações nucleares, entende-se como pertinente o estudo não apenas sobre a implantação e operação das instalações como também sobre o processo de reutilização ou *retrofit* após o descomissionamento dessas edificações, de modo a permitir que o ambiente construído possa ser disponibilizado para outros usos sem oferecer risco ao público e ao meio ambiente, evitando a demolição ou mesmo o abandono desses edifícios, o que pode transformá-los em problemas ambientais. Sobre esse aspecto o próprio PNE 2050 espera que o Brasil se beneficie do grande desenvolvimento das tecnologias de

desmantelamento por conta do expressivo número de projetos que serão descomissionados no mundo até a década de 2040.

As normas nacionais existentes no setor nuclear são controladas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN e possuem muitas lacunas a serem preenchidas, especialmente as que regulam o descomissionamento e desmantelamento, que abordam de forma superficial apenas as opções referentes às usinas nucleares, não apresentando os procedimentos para instalações com reatores de pesquisa, tais normas também preveem a gestão dos recursos financeiros das usinas e a criação de um fundo que garanta os recursos necessários para a fase de descomissionamento, no caso dos reatores de pesquisa que nem sempre estão atrelados a atividades remuneradas não é prevista a fonte de recurso para a retirada do controle regulatório de tais instalações.

Nesse contexto, o presente artigo traz uma revisão bibliográfica sobre o descomissionamento de instalações nucleares de reatores de pesquisa, apresentando estudos de caso ocorridos em outros países, com o intuito de gerar reflexões sobre o assunto, que possam culminar no desenvolvimento futuro de uma complementação da documentação técnica brasileira existente.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse artigo foi realizada uma pesquisa exploratória baseada em pesquisa bibliográfica, pesquisa normativa e documental e apresentação de casos internacionais viáveis, visto o ineditismo nacional sobre as estratégias e as motivações para a reutilização dos edifícios após o descomissionamento nuclear e radiológico.

BASE NORMATIVA

NORMAS BRASILEIRAS: CNEN – NN 9.01 E NN 9.02

A base normativa nacional para a área nuclear ainda é regulamentada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, embora a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), tenha sido criada pela Lei n° 14.222, de 15 de outubro de 2021 como um desmembramento da CNEN e é a nova responsável por monitorar, regular e fiscalizar a segurança nuclear e a proteção radiológica das atividades e das instalações nucleares enquanto a CNEN ficou responsável por conduzir os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento do setor, mas a legislação ainda não foi revisada, continuando vigentes as normas elaboradas pela CNEN.

Duas normas são apresentadas com o tema descomissionamento, a NN 9.01 Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas (Resolução 133/12) e a NN 9.02 Gestão dos Recursos Financeiros Destinados ao Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas (Resolução CNEN 204/16). A primeira norma a NN 9.01 aborda assuntos compatíveis com o estudo em questão. Abaixo são transcritos os trechos mais relevantes:

> *Art. 21 A escolha das técnicas de descontaminação e de desmantelamento da usina deve permitir a otimização da proteção dos indivíduos*

ocupacionalmente expostos, do público e do meio ambiente, e a minimização da geração de rejeitos radioativos.

Art. 9º Como parte do processo de licenciamento, a organização operadora deve apresentar à CNEN os Planos Preliminar e Final de Descomissionamento da usina, definidos no capítulo V, os quais devem ser baseados na estratégia de descomissionamento selecionada.
Parágrafo único. São definidas três estratégias de descomissionamento:
I - Desmantelamento imediato: nesta estratégia, equipamentos, estruturas e partes da usina contendo contaminantes radioativos são removidos ou descontaminados até níveis que permitam que o local seja liberado para uso irrestrito ou restrito, conforme critérios definidos ou aceitos pela CNEN.
II - Desmantelamento protelado: nesta estratégia, a usina é monitorada e mantida intacta por um período tal que permita o decaimento radioativo de itens contaminados ou ativados. Os materiais radioativos inicialmente presentes são processados ou colocados em condição tal que possam ser armazenados e mantidos em segurança durante esse período. Findo este, a usina será submetida a um desmantelamento, da mesma forma que na estratégia de desmantelamento imediato; e
III – Confinamento: nesta estratégia, os contaminantes radioativos são contidos em uma estrutura de material suficientemente resistente até que a radioatividade decaia para níveis que permitam que o local seja liberado para uso irrestrito ou restrito.
Art. 10 A estratégia de descomissionamento selecionada pela organização operadora deve atender aos seguintes requisitos:
I - Considerar a experiência internacional, bem como as políticas nacionais vigentes para descomissionamento e gestão de rejeitos; e
II - Prever formas de gerência e armazenamento dos rejeitos de todas as classes a serem gerados durante as atividades de descomissionamento. [4]

A norma brasileira traz as três opções de descomissionamento mais realizadas e reconhecidas internacionalmente, deixando a cargo do órgão operador responsável a escolha da metodologia a ser utilizada. Esse é um fator de suma importância, visto que a escolha do tipo de descomissionamento terá impacto direto no futuro das áreas e dos edifícios das antigas instalações nucleares.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DESCOMISSIONAMENTO

Para fins de abordagem neste trabalho, são considerados como métodos aplicáveis em um planejamento apenas o desmantelamento imediato e o desmantelamento protelado pois ambos visam a descontaminação e liberação do uso sendo o tempo em que isso acontece o grande diferencial.
O confinamento é pouco utilizado internacionalmente, por não ser bem aceito pela comunidade científica, sendo aplicado em situações extremas de acidente nuclear como em Chernobyl, 1986, ou por países com programas muito pequenos, apenas um

reator, e que não possuam locais próprios para o armazenamento de rejeitos radioativos.

O desmantelamento imediato requer um grande investimento financeiro em um curto período para a descontaminação da área, há uma maior exposição dos trabalhadores à radiação, mas podem ser empregadas as mesmas equipes que já conhecem o funcionamento da instalação.

O desmantelamento protelado exige menor custo inicial, mas pode durar décadas até que os níveis de radiação das partes contaminadas decaiam para então ser desmantelada e liberada para outros usos, esse monitoramento requer um acompanhamento contínuo, mas tem baixa exposição dos trabalhadores à radiação (Tabela 1).

Essas particularidades poderiam ser apresentadas na NN 9.01 a fim de prestar uma melhor orientação sobre a indicação do método no plano preliminar de descomissionamento de cada instalação.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de se adiar o descomissionamento

Potenciais vantagens	Potenciais desvantagens
Decaimento radioativo de grande parte dos materiais de meia vida curta e média diminuindo o nível de exposição nos trabalhadores e volume de rejeito	Necessidade de manter uma fiscalização e manutenção mais intensa na instalação
Encontrar uma solução para o destino dos elementos combustíveis	Possível deterioração dos componentes, estruturas e combustível com o tempo, principalmente para aqueles armazenados na água de uma piscina
Tempo para desenvolver soluções para armazenamento dos rejeitos radioativos	Instalações e terreno não disponíveis para reuso imediato
Benefícios a partir de descobertas de novas técnicas de descomissionamento no futuro	Necessidade de se manter o licenciamento da instalação ainda por longo prazo
Tempo para arrecadação de recursos	Pode ser indesejado sob o ponto de vista político e social
Disponibilidade da mão de obra experiente utilizada para outras tarefas	Necessidade de treinamento ou contratação de serviço externo especializado

Fonte: Frajndlich (2014)

A segunda norma, a NN 9.02 alerta para a necessidade da criação de um fundo visando a etapa de descomissionamento, lembrando que essa etapa pode ocorrer apenas ao fim das operações do reator, mas também de forma inopinada em um desligamento emergencial por conta de algum acidente nuclear.

RECOMENDAÇÕES DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA)

As publicações da AIEA trazem, no geral, recomendações e instruções não possuindo caráter normativo ou determinante, mas que podem ser aplicadas no caso de haver lacunas nas normas nacionais, como na possibilidade de reutilização das edificações e terrenos liberados para uso irrestrito e nas implicações dessas escolhas antes, durante e após o processo de descomissionamento. Uma dessas publicações é a ***Redevelopment of Nuclear Facilities After Decommissioning***, de 2006 [5], que traz

uma tabela comparativa nas diferenças de abordagem entre a demolição e o redesenvolvimento dos edifícios, pois a demolição também é uma opção mesmo após a descontaminação dos edifícios, caso não haja previsão de aproveitamento para as edificações e necessidade de liberação da área. (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre as abordagens de demolição e redesenvolvimento dos edifícios

Perspectiva	Demolição	Redesenvolvimento
Funcional	Estruturas e ativos sem função útil são removidos	Estruturas e ativos com valor funcional para o próximo uso do site são mantidos e podem ser reconfigurados para um novo uso.
Físico	O site é devolvido a um estado semelhante ao seu estado de pré-desenvolvimento.	O local é transformado em nova propriedade industrial, comercial, recreativa ou residencial, possivelmente com algumas partes da instalação retidas.
Propriedade	O operador ou proprietário existente permanece responsável pela instalação por um longo tempo após a liberação do controle regulatório, até que um novo proprietário assuma.	A propriedade do local é transferida durante ou logo após a eliminação do risco radiológico. (Este processo é baseado na legislação nacional.)
Limpeza baseada em risco	As premissas de risco mais conservadoras são usadas para determinar as metas de remediação.	O novo uso do local proposto determina os objetivos de remediação, consistentes com a proteção da saúde humana e do meio ambiente.
Comunidade	A atividade econômica associada ao local é perdida.	A nova atividade econômica substitui a atividade econômica perdida pelo fechamento da instalação nuclear.
Gerenciamento de responsabilidade	O proprietário permanece responsável por danos causados por qualquer falha em restaurar completamente o site até que seja liberado do controle regulatório.	O proprietário transfere o site e os possíveis danos residuais para o novo proprietário. (Este processo deve ser baseado na legislação nacional vigente.)
Uso de recursos	A terra ocupada pela instalação nuclear não está disponível para uso durante o desmantelamento, demolição e restauração. O tempo de espera subsequente necessário para qualquer novo uso atrasará ainda mais o acesso ao recurso.	A terra é devolvida ao uso mais cedo, permitindo o desenvolvimento em um terreno abandonado, em vez de terrars mais sensíveis ou valiosas. (No entanto, restrições podem ser colocadas no uso de um site *brownfield*.)
Financeiro	Os fluxos de caixa são negativos até que o local, completamente restaurado, seja alugado oou vendido.	Os custos de descomissionamento e retauração são reduzidos, podem ser até compensados pelo valor de desenvolvimento do terreno e são recuperados mais rapidamente.
Responsável pelo descomissionamento	O responsável pelo descomissionamneto é livre para planejar e executar o trabalho dentro das restrições financeiras e regulatórias.	O planejamento e a execução do descomissionamento são realizados em consulta com o desenvolvedor para maximizar o valor de redesenvolvimento do local.
Gestão de longo prazo	O proprietário permanece responsável pelo monitoramento da contaminação residual e continua a manter o controle institucional.	A gestão de todas as atividades do local passa a ser responsabilidade do novo proprietário.

Fonte: AIEA, Redevelopment of Nuclear Facilities After Decommissioning (2006)

A tabela 2 apresenta algumas das vantagens no caso de redesenvolvimento do antigo sítio nuclear, especialmente quando o órgão responsável pelo descomissionamento opta pelo desmantelamento imediato. Nessa modalidade é possível aproveitar o conhecimento adquirido pela equipe que operava o reator em atividade, não sendo necessário o gasto com treinamento de nova equipe, que no caso de um desmantelamento protelado em que o longo tempo dispersaria os profissionais ou mesmo levaria à aposentadoria de muitos. Além disso a devolução mais rápida dos edifícios para abrigarem nova atividade produtiva se mostra de grande interesse por ambos, novo e antigo proprietário/administrador. Informações como estas, poderiam ser implementadas senão em normas, em recomendações pelos órgãos reguladores brasileiros, já contemplando as experiências internacionais sobre o tema que demonstram a viabilidade da reocupação dessas instalações.

CASOS INTERNACIONAIS DE *RETROFIT* DE INSTALAÇÕES NUCLEARES

REUTILIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO REATOR DE PESQUISA ASTRA, ÁUSTRIA

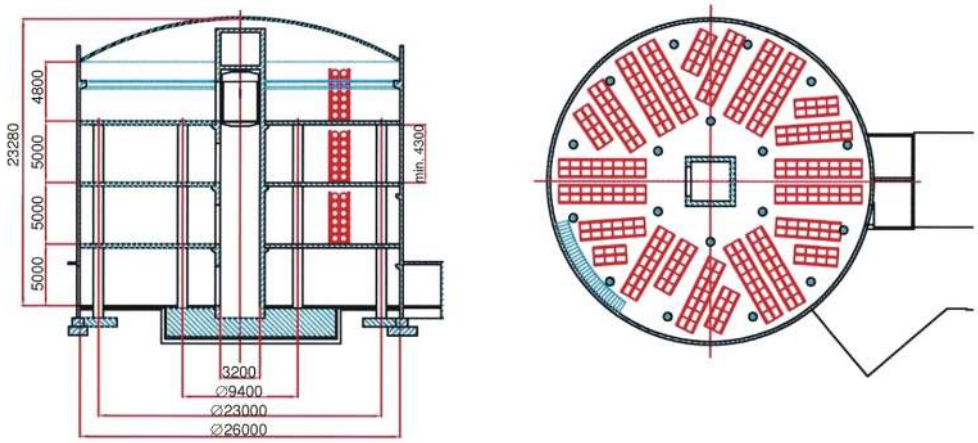
Um bom exemplo de aproveitamento e adaptação de instalação nuclear com reator de pesquisa é o reator de pesquisa ASTRA, de 10MW que após 39 anos em operação, localizado no *Austrian Research Centers* GmbH (ARC) nas proximidades de Seibersdorf, teve suas atividades encerradas em 1999 para se preparar para o descomissionamento. Para isso, foi selecionada a opção de desmantelamento imediato, após uma etapa inicial de desativação e armazenamento seguro de resíduos. Junto à avaliação das opções de descomissionamento, foi avaliada também a viabilidade financeira para a implementação da estratégia adotada. Para isso, o Governo austríaco criou uma organização independente, operada e financiada separadamente das outras atividades da ARC.

No planejamento do descomissionamento do ASTRA, a atenção foi direcionada para a reutilização da infraestrutura disponível para futuros trabalhos no local. Das muitas possibilidades de novos usos, optou-se por utilizar como central para coleta e armazenamento intermediário de resíduos radioativos de toda Áustria, para atender a uma necessidade real e aproveitar as características construtivas do prédio do reator, como a espessura das paredes e materiais construtivos utilizados na edificação, e as licenças ambientais que este edifício já possuía. Agora não mais para um reator em atividade, mas como armazenamento intermediário de rejeitos, mas sem a necessidade de construção de novo edifício.

Foi criada então, em novembro de 2003 a entidade *Nuclear Engineering Seibersdorf* GmbH (NES), que além de um Departamento de Gestão de Resíduos Radioativos, também é responsável pelo manuseio seguro de material radioativo de origem médica e industrial e foi designada para desmantelar os laboratórios e áreas nucleares dentro das instalações da ARC, que estão sendo liberados para novos usos [5].

O edifício ASTRA teve seus 3 pavimentos superiores liberados para o acondicionamento 9.500 de 200 l de resíduos radioativos condicionado e o térreo foi dividido em duas grandes áreas, uma menor para manipulações ligadas à operação das instalações de armazenamento e uma maior, equipada para operações radioativas.

Figura 1: Corte e planta baixa do conceito para a reutilização do prédio que abrigava o reator de pesquisa ASTRA



Fonte: Meyer, Steger e Steininger (2008) [6]

Além de se estabelecer o novo uso do edifício e seus anexos, foi previsto também o aproveitamento dos trabalhadores mais jovens, com formação de operador de reator, experiência em engenharia e manuseio de materiais radioativos e conhecimento de trabalho com células quentes, bem como de um grupo já estabelecido que gerencia o serviço de fonte radioativa industrial, todos aptos para operar a nova unidade, reduzindo o número empregos perdidos com a desativação do reator ASTRA.

EXPERIÊNCIA DE REUTILIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO SCK-CEN (CENTRO DE PESQUISA NUCLEAR BELGA) NA BÉLGICA

No início da década de 1990, a partir do Centro de Pesquisa Nuclear Belga - SCK-CEN que era voltado apenas para programas nucleares, um novo centro de pesquisa denominado VITO (*Vision on Technology*) foi fundado pelo governo regional para assumir as pesquisas não nucleares. Além disso, tanto o governo federal como o regional concordaram em abrigar o VITO parcialmente em antigos edifícios do SCK-CEN e parte em novos edifícios a serem construídos no local, visando o reemprego e a redução de custos em comparação com a aquisição de um novo local, mesmo com alguns laboratórios e instalações com histórico radiológico.

Para isso a SCK-CEN limitou os trabalhos de desmantelamento apenas às partes radioativas da instalação nuclear e obteve permissão para a utilização irrestrita do edifício após a remoção de todo o material radioativo. Para isso sete etapas principais podem ser citadas [5]:

Figura 2: Imagem do Complexo Nuclear do SCK-CEN, na Bélgica. Hoje ocupado pelo VITO



Fonte: SCK - CEN (tecnubel.be)

a) Preparação da área a ser desativada: isolamento do restante do edifício, instalação de monitores de radiação para mão/pé e dispositivo para monitoramento do ar;
b) Tratamento de materiais e equipamentos soltos;
c) Tratamento de peças ancoradas nas paredes e pisos, como tubos de ventilação, capelas de exaustão, tubulações de esgoto etc.;
d) Aspiração e lavagem de pisos e paredes;
e) Mapeamento e amostragem de todas as superfícies de parede e piso;
f) Remoção de partes contaminadas por corte e perfuração; e
g) Coleta de amostra final (da água de lavagem, amostras de núcleo) e a eliminação da zona de demarcação.

Após a reforma, os edifícios do complexo da figura 2 puderam ser utilizados para novos fins industriais fora do campo nuclear. A escolha da estratégia de reaproveitamento mostrou-se econômica, social e ecologicamente vantajosa. A experiência deste projeto mostrou ser vantajoso considerar a futura remodelação e reutilização de uma instalação nuclear em um estágio inicial, enquanto ainda está sendo usada para a sua finalidade original.

DISCUSSÃO

Aspectos comuns podem ser observados nos complexos em transição de atividade, seja ele nuclear ou não-nuclear. Normalmente a localização do sítio, o bom estado de conservação dos edifícios, o desenvolvimento de antigas atividades industriais ou de pesquisa nos locais, o pessoal capacitado que ali desempenhava suas atividades laborais, toda a infraestrutura criada para o bom funcionamento do local (linhas de

transporte, abastecimento de água e energia, coletas de esgoto comum e contaminado, entre outros) e uma possível contaminação e a responsabilidade pela descontaminação. Com um bom planejamento conjunto entre órgão operador, governo e interessados em ocupar o local com novo uso, um local com essas características pode angariar com seu redesenvolvimento até mesmo os custos necessários para o processo de descomissionamento e descontaminação do local.

A estimativa do custo do descomissionamento fica mais precisa na medida em que a organização operadora do reator tem um amplo entendimento sobre as atividades que deseja realizar após o desligamento definitivo do reator. Para isso é importante que a instalação possua documentos atualizados, histórico de operação detalhado e plantas que incluam as modificações implementadas durante a vida útil da edificação [7].
A atividade nuclear brasileira dos reatores de pesquisa é em sua totalidade gerenciada por órgãos governamentais, podendo ser criados grupos de estudo que se debrucem sobre essas questões a fim de auxiliar de forma assertiva e embasada a melhor forma de descontaminar e reutilizar cada instalação nuclear por ocasião do desligamento definitivo de seus reatores, lembrando que a tomada de decisão sobre o redesenvolvimento de um sítio deve focar sempre no estado final desejado para o local.
No Brasil estamos diante de dois casos extremos o RMB com seus edifícios em fase de projeto/início de construção e na outra ponta o IEA-R1 do IPEN próximo à sua desativação. Para o RMB é importante que as escolhas dos materiais a serem utilizados em sua construção visem à diminuição do volume de material radioativo a ser armazenado como rejeito no futuro e a compartimentação das áreas no interior do edifício sejam de acordo com o nível de contaminação esperado, diminuindo no futuro a necessidade de descontaminação de áreas excessivas [7].
Para as instalações IEA-R1 do IPEN, independente do modelo de descomissionamento adotado, é fundamental que se leve em consideração, que ele está situado dentro de um Instituto voltado para pesquisa e formação na área nuclear sendo importante reintegrar o prédio do reator ao trabalho ali desenvolvido, seja voltá-lo para fins de ensino na área nuclear, criando um espaço para simular um reator em operação ou desenvolvendo novas pesquisas na área nuclear.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fundamental que as atividades de descomissionamento estejam integradas ao ciclo de vida completo de uma instalação nuclear, iniciando as considerações ainda no projeto e construção das instalações, garantindo a reintegração de edificações que já tiveram uso nuclear, à vida contemporânea e ao meio urbano e social.

A criação de uma política pública que atue desde a escolha do sítio para a implantação de novas instalações nucleares que preveja o potencial da área para outros usos num futuro de longo prazo, entre 40 e 50 anos, seja por meio de um plano diretor ou outras ferramentas institucionais, visto que será uma área com boa infraestrutura urbana, com abastecimento de água e energia elétrica, tratamento e coleta de esgoto comum

e industrial, transporte público e equipamentos de saúde para eventuais emergências, será uma área valorizada.

Também a criação de um fundo nacional voltado para os custos com descomissionamento das instalações nucleares é de suma importância para a rápida reutilização desses edifícios, e à época de desativação desses reatores, que sejam criados incentivos para que novos setores se interessem por requalificar e ocupar essas áreas evitando assim o abandono ou a demolição.

Para isso, é necessário que haja mais incentivo no desenvolvimento de estudos por parte de pesquisadores e profissionais especialistas no tema, para que esses apontem formas de aprimorar a legislação, e que essa, além de ser voltada para as usinas nucleares também possa abranger as instalações que abrigam os reatores de pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] RIO DE JANEIRO. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**: nota técnica PR 04/18. Rio de Janeiro: Epe, 2018. 186 p.

[2] MIRHOSSEINI, Somayeh Sadat. **The Effects of Nuclear Radiation on Aging Reinforced Concrete Structures in Nuclear Power Plants**. 2010. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Applied Science In Civil Engineering, University Of Whaterloo, Ontario, 2010.

[3] PERROTTA, José Augusto. RMB - Reator Multipropósito Brasileiro, um empreendimento estruturante para a área nuclear do país. In: COLÓQUIOS 2016 - AULA INAUGURAL, 2016, Porto Alegre. **Colóquio.** Porto Alegre: Instituto de Física da Ufrgs, 2016. p. 1-1. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/antigo/pesquisa/coloquios/details/133-aula-inaugural-jose-a-perrota-reator-multiproposito-brasileiro.html#:~:text=O%20Brasil%20possui%20quatro%20reatores,que%20foi%20inaugurado%20em%201957.. Acesso em: 08 maio 2022.

[4] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas, CNEN-NN-9.01, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

[5] INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (Austria). **Redevelopment of nuclear facilities after decommissioning**. 444. ed. Vienna: IAEA, 2006. 203 p. Disponível em: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF /TRS444_web.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

[6] MEYER, Franz; STEGER, Ferdinand; STEININGER, Roland. Decommissioning of the ASTRA research reactor: dismantling the auxiliary systems and clearance and reuse of the buildings. **Nuclear Technology And Radiation Protection**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 54-62, 2008. National Library of Serbia. http://dx.doi.org/10.2298/ntrp0801054m. Disponível em: http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1451-3994/2008/1451-39940801054M.pdf. Acesso em: 20 maio 2022.

[7] FRAJNDLICH, Roberto. **Considerações sobre o descomissionamento do reator de pesquisa IEA-R1 e futuro de suas instalações após o seu desligamento**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2014.