

## **Resíduos radioativos de usinas nucleares: uma análise da disposição de resíduos no Brasil**

Roberta Ribeiro Rangel<sup>1\*</sup>; Laís Nogueira Santos<sup>2</sup>; Leticia Mota de Oliveira<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus; <sup>2</sup>Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus; <sup>3</sup>Instituto Federal Fluminense Campus Campos Guarus

\*[robertarangel1997@gmail.com](mailto:robertarangel1997@gmail.com)

### **Resumo**

A medida que a radioatividade foi descoberta, algumas aplicações dela foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo. Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para gerar a eletricidade. O objetivo deste artigo é realizar uma revisão bibliográfica sobre radioatividade com ênfase nos resíduos gerados nas usinas nucleares e forma de disposição desses resíduos. Além de fazer uma análise da situação de descarte desse tipo de resíduo no Brasil. A energia nuclear apesar de ser uma fonte considerada renovável de energia, torna-se cara devido ao alto investimento que é necessário para promover a geração de energia com segurança e fazer uma disposição adequada do resíduo radioativo.

**Palavras-chave:** Radioatividade. Fissão. Usina Nuclear. Energia.

### **1. Introdução**

A emissão da radiação, liberação da energia do núcleo, pode ocorrer de duas formas, decaimento radioativo e fissão nuclear. O decaimento radioativo ocorre quando o núcleo emite radiação, muda sua carga elétrica e se transforma em outro elemento. Esse processo acontece continuamente, provocando uma série de desintegrações até que o núcleo alcance estabilidade. Na fissão nuclear, normalmente o núcleo é dividido em duas partes de tamanho semelhante para liberar energia. Esse processo dificilmente é espontâneo na natureza, mas se bombardearmos os núcleos pesados com nêutron, o processo pode ser induzido, visto que ao absorver o nêutron o núcleo se estabiliza. A medida que a radioatividade foi descoberta, algumas aplicações dela foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo, sendo uma delas a geração de energia elétrica através de usinas nucleares<sup>[1]</sup>.

Uma das principais utilizações da energia nuclear é a geração de energia elétrica. Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que movimentam as turbinas em que se produz a eletricidade. Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%. Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios – o enriquecimento pode variar bastante. Para a confecção de bombas nucleares, é necessário um enriquecimento superior a 90%<sup>[1]</sup>.

A fissão dos átomos de urânio dentro das varetas do elemento combustível aquece a água que passa pelo reator a uma temperatura de 320 graus Celsius. Para que não entre em ebulição – o que ocorreria normalmente aos 100 graus Celsius - esta água é mantida sob uma pressão 157 vezes maior que a pressão atmosférica. O gerador de vapor realiza uma troca de calor entre as águas deste primeiro circuito e a do circuito secundário, que são independentes entre si. Com essa troca de calor, a água do circuito secundário se transforma em vapor e

movimenta a turbina - a uma velocidade de 1.800 rpm - que aciona o gerador elétrico. Esse vapor, depois de mover a turbina, passa por um condensador, onde é refrigerado pela água do mar, trazida por um terceiro circuito independente. A existência desses três circuitos impede o contato da água que passa pelo reator com as demais<sup>[2]</sup>.

Usinas termonucleares aproveitam a energia liberada por reações nucleares para a produção de energia em alta escala. Em uma moderna usina de carvão, a combustão de uma libra (453,59 g) de carvão produz 1 quilowatt hora (kWh) de energia elétrica. A fissão de uma libra de urânio em uma moderna usina nuclear produz cerca de três milhões de kWh de energia elétrica. Atualmente, apenas o processo de fissão é utilizado na produção comercial de energia, geralmente para produzir eletricidade<sup>[3]</sup>.

Todas as atividades nucleares geram resíduo, lixo radioativo. Os resíduos radioativos são produtos de fissão ou cisão consequentes do emprego do urânio ou plutônio nos reatores nucleares, que são unidades de combustíveis nucleares irradiados por ocasião do seu reaproveitamento. Nos hospitais e indústrias, o material radioativo é muito diversificado e se esse material não tiver decaimento em período de tempo curto, ele precisa ser estocado. O mesmo procedimento de estocagem é aplicado para resíduos nucleares oriundos de geradores de energia. Como as usinas nucleares produzem grande quantidade de resíduos atômico, há um controle rigoroso e centralizado do gerenciamento desse resíduo<sup>[4]</sup>.

O objetivo deste artigo é realizar uma revisão bibliográfica sobre radioatividade com ênfase nos resíduos gerados nas usinas nucleares e forma de disposição desses resíduos. Além de fazer uma análise da situação de descarte desse tipo de resíduo no Brasil.

## 2. Materiais e Métodos

O material de estudo deste trabalho são rejeitos radioativos das Usinas termonucleares brasileiras. O método empregado foi uma pesquisa bibliográfica sobre os rejeitos destas usinas. Para isso, utilizou-se um busca de artigos científicos a partir das palavras-chaves "radioactive trash" nas base do Scielo, Scopus e Science Direct.

Em 1968, o Governo Brasileiro decidiu ingressar no campo da produção da energia nucleoeleétrica, com o objetivo primordial de propiciar ao setor elétrico a oportunidade de conhecer esta moderna tecnologia e adquirir experiência para fazer frente às possíveis necessidades futuras. A construção de Angra I foi iniciada em 1972, em Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro, a primeira reação em cadeia foi estabelecida em 1982 e a usina entrou em operação comercial em 1985. Desde então, já gerou mais de quarenta milhões de MWh, energia equivalente ao consumo aproximado de vinte milhões de habitantes ao longo de um ano, ou de um milhão de habitantes ao longo dos seus vinte anos de vida. Mais tarde, em meados de 2001, entrou em operação Angra II, segunda usina nuclear instalada no Brasil<sup>[3]</sup>.

Atualmente, estão em operação as usinas Angra I, com capacidade para geração de 657 megawatts de eletricidade, e Angra II, com potência de 1.350 megawatts de eletricidade. Angra III, que será praticamente uma réplica de Angra II (incorporando os avanços tecnológicos ocorridos desde a construção desta usina), está prevista para gerar 1.400 megawatts<sup>[3]</sup>.

### 3. Resultados e Discussão

Os rejeitos radioativos podem ser classificados de acordo com seu estado físico, líquido, sólido ou gasoso. A partir dessa classificação, as etapas de segregação, acondicionamento e armazenamento são definidas. O gerenciamento de resíduos atômicos são determinados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), esse processo varia de acordo com a concentração da radioatividade e origem do material radioativo. No caso dos resíduos provenientes de usinas nucleares, os tipos de disposição adequada são em depósitos geológicos de profundidade segura, o resíduo deve permanecer no depósito até que o decaimento atinja um nível que não seja prejudicial à saúde e ao meio ambiente, no caso do Urânio pode levar bilhões de anos<sup>[5]</sup>.

Os resíduos de baixa e média radioatividade são guardados em depósitos provisórios ou permanentes, já os resíduos de alta radioatividade são armazenados em piscinas de resfriamento junto aos reatores. No Brasil, existe depósitos provisórios em centros de pesquisas nucleares, na região sudeste, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O único depósito permanente do país está no estado de Goiás. As piscinas de resfriamentos estão no parque nuclear, junto aos reatores das usinas, no caso do Brasil, esse tipo de disposição ocorre no estado do Rio de Janeiro<sup>[6]</sup>.

As pastilhas gastas de urânio, geradas no processo de geração de energia, vão sendo empilhadas em uma piscina de resfriamento, devido a sua periculosidade, ao lado do reator onde são usadas, deixando o material totalmente encoberto, com um mecanismo de filtragem regular capaz de subtrair os elementos radioativos<sup>[4;5]</sup>. Tanto a piscina quanto o reator são cercados por várias barreiras de aço, chumbo e concreto. A piscina da usina de Angra II, por exemplo, tem capacidade para armazenar lixo por mais de 40 anos, o mesmo tempo de vida útil do reator<sup>[5]</sup>.

Atualmente, as usinas nucleares de Angra I e II armazenam todos os combustíveis utilizados na aplicação do processo produtivo para geração de energia. Após a utilização, os combustíveis permanecem extremamente radioativos, o que dificulta o transporte. Para evitar o carreamento e conseqüentemente um desastre ambiental, os combustíveis são armazenados em piscinas ao lado dos reatores<sup>[7]</sup>.

As usinas de Angra I e II estabeleceram seu armazenamento de combustível em piscinas desde o princípio de sua operação, dessa forma, todo o combustível utilizado ao longo dos 34 anos de operação de Angra I e 18 anos de operação de Angra II estão armazenados na Central Nuclear de Angra dos Reis, sendo mais de 1.800 elementos combustíveis nas piscinas de armazenagem. Em países como França e Rússia, há um tratamento para o combustível radioativo gerado, reduzindo o rejeito em até 90% do volume inicial. Porém, essa prática não é amplamente utilizado devido ao alto valor, sendo mais barato a compra de combustível do que o reprocessamento do efluente<sup>[7]</sup>.

No projeto da construção da usina de Angra III, foi exigido um outro tipo de armazenamento para o lixo radioativo, depósito geológico, com capacidade de armazenar lixo por até 100 anos. Além do resíduo gerado pela própria usina, o depósito geológico também deve armazenar resíduos radioativos provenientes de outras atividades industriais, inclusive lixo de origem hospitalar<sup>[8]</sup>.

Diferentemente de outras formas de geração de energia, a implantação de plantas de usinas nucleares vem decrescendo ao redor do mundo, enquanto os parques de energias

renováveis vêm aumentando. No Brasil, o cenário é divergente, já que há um projeto de expansão na usina de Angra I com pedido de renovação de licença de operação por mais 20 anos. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato do país apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento e ampliação de usinas nucleares, como uma das maiores reservas de urânio do planeta e tecnologia para enriquecer o material<sup>[7]</sup>.

#### 4. Conclusões

A energia nuclear apesar de ser uma fonte considerada renovável de energia, torna-se cara devido ao alto investimento que é necessário para promover a geração de energia com segurança, além da geração de um resíduo radioativo que necessita de um tratamento e disposição final de uma forma mais efetiva do que acontece atualmente, em que o resíduo radioativo precisa ser armazenado e monitorado por muitos anos. Somado aos fatores expostos acima, o tipo de disposição atual demanda uma área grande, ocupando áreas que poderiam ser utilizadas com outras finalidades.

#### Referências

- [1] GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S.. A energia nuclear. **Ciência hoje**, v. 37, n. 220, 2005. Disponível em: < [http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo\\_4\\_Nuclear\\_Radiation.pdf](http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo_4_Nuclear_Radiation.pdf)> Acesso em: 26 maio 2019.
- [2] ELETRONUCLEAR, Eletrobras. **Energia Nuclear**. 2019. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/espaco-do-conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx>>. Acesso em: 26 maio 2019.
- [3] CERCONI, C.; MELQUIADES, F. L.; TOMINAGA, T. Energia nuclear, o que é necessário saber?. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 11, n. 1, p. 9-34, 2009. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/119>>. Acesso em: 26 maio 2019.
- [4] RUBBO, J. **Lixo atômico**. Porto Alegre, 1996. Disponível em < [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/32/003/32003188.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/003/32003188.pdf) >. Acesso em: 26 maio 2019.
- [5] ARAÚJO, T. Onde é guardado o lixo nuclear das usinas brasileiras?. **Superinteressante**, Brasil, 2008. Disponível em < <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/onde-e-guardado-o-lixo-nuclear-das-usinas-brasileiras/> >. Acesso em: 26 maio 2019.
- [6] INTERESSANTE, Super. **Qual é o destino do lixo nuclear produzido no mundo?** 2011. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-e-o-destino-do-lixo-nuclear-produzido-no-mundo/>>. Acesso em: 26 maio 2019.
- [7] ROSSI, A. **Tudo que você precisa saber sobre as usinas nucleares de Angra 1 e 2, e por que são diferentes de Chernobyl**. BBC News Brasil. São Paulo. 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48683942>> Acesso em: 07 julho 2019.
- [8] CULTURAMIX. **Para onde vai o lixo nuclear?**. 2014. Disponível em: < <http://meioambiente.culturamix.com/lixo-para-onde-vai-o-lixo-nuclear> >. Acesso em 07 jul. 2019.