



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

FERNANDA SILVA LIMA

POTENCIAL URANÍFERO NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

TERESINA

2022

FERNANDA SILVA LIMA

POTENCIAL URANÍFERO NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Radiologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientador: Profº. Me. Wilson Seraine da Silva Filho.

TERESINA

2022

POTENCIAL URANÍFERO NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fernanda Silva Lima¹

Wilson Seraine da Silva Filho²

RESUMO

Introdução: O urânio tem se destacado como fonte primária da matriz energética mundial desde meados dos anos 60. Os primeiros estudos geológicos sobre o urânio no Brasil foram realizados no final do século XIX. A descoberta do urânio associado ao caldazito aconteceu na década de 40 do século passado, Segundo o INB, no Brasil as jazidas de urânio estão localizadas principalmente na Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, o Brasil possui recursos significativos de urânio, o que leva o país a ocupar posição de destaque no *ranking mundial*. Os recursos são da ordem de 244.788 toneladas de urânio contido (U_3O_8). A principal delas, em Caetité, Bahia, possui 100 mil toneladas, volume suficiente para abastecer o complexo nuclear de Angra I, II e III por 100 anos. O novo investimento na exploração do urânio é a mina de Itataia em Santa Quitéria – CE. O município de Santa Quitéria situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará. **Objetivo:** Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre a extração de urânio no Brasil, com ênfase nas minas de Caetité-BA e Itataia-CE, as quais o governo brasileiro está investindo milhões para a extração de urânio. cuja finalidade é aumentar a produção brasileira de urânio e atender a demanda das usinas Angra 1 e Angra 2 localizada em Angra dos Reis -RJ. **Metodologia:** Este trata-se de estudo bibliográfico, para construção deste trabalho foram consultadas diversas literaturas referentes ao tema em estudo, tais como: artigos científicos, monografias, teses e dissertações, trabalhos publicados em anais, publicações oficiais do governo brasileiro e matérias de jornais virtuais, todos disponíveis na internet para leitura. **Resultados e discussão:** Ao realizar a leitura prévia das publicações encontradas, foram selecionadas 14 publicações. No Brasil há recursos significativos de urânio, o país ocupa posição de destaque no *ranking mundial*. Os recursos são da ordem de 244.788 toneladas de urânio contido - U_3O_8 , distribuídas entre os estados da Bahia, do Ceará e outros. A mina de Caetité foi descoberta no início da década de 70 do século passado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Ela possui 1.800

¹ Estudante de Tecnologia em Radiologia. IFPI. E-mail: catce.20181rad0139@aluno.ifpi.edu.br.

² Professor Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. IFPI. E-mail: wilson.seraine@ifpi.edu.br.

hectares de extensão com uma reserva exclusiva de urânio estimada em 100 mil toneladas. O depósito de Santa Quitéria está localizado na parte central do Estado do Ceará, situada a 212 km de Fortaleza. A jazida de Santa Quitéria possui reservas geológicas de 142,5 mil t de urânio associado ao fosfato. A reserva lavrável tem 79,5 Mt de minério com teores de 11% de P_2O_5 e 998ppm de U_3O_8 , contendo 8,9 Mt de P_2O_5 e 79,3 mil toneladas de U_3O_8 . Considerações finais: O Brasil possui recursos consideráveis de urânio, tendo como maiores reservas a mina de Itataia-CE e Caetité-BA, com os altos investimentos nos últimos anos através da parceria com o grupo Galvanni, o país pretende tornar-se autossuficiente na produção de urânio.

Palavras-chave: Urânio, extração de urânio, mina de Itataia e mina de Caetité.

ABSTRACT

Introduction: Uranium has stood out as a primary source of the global energy matrix since the mid-1960s. The first geological studies on uranium in Brazil were carried out in the late 19th century. The discovery of uranium associated with caldazite happened in the 40s of the last century. According to the INB, in Brazil uranium deposits are located mainly in Bahia, Ceará, Paraná and Minas Gerais, Brazil has significant uranium resources, which leads to the country to occupy a prominent position in the world ranking. The resources are of the order of 244,788 tons of uranium contained (U_3O_8). The main one, in Caetité, Bahia, has 100 thousand tons, enough volume to supply the nuclear complex of Angra I, II and III for 100 years. The new investment in the exploration of uranium is the Itataia mine in Santa Quitéria - CE. The municipality of Santa Quitéria is located in the northwestern portion of the State of Ceará

Objective: This study aims to carry out a bibliographic review on uranium extraction in Brazil, with an emphasis on the mines of Caetité-BA and Itataia-CE, Brazilian government is investing millions to extract uranium.

Methodology: This is a bibliographic study, for the construction of this work, several literature referring to the topic under study was consulted, such as: scientific articles, monographs, theses and dissertations, works published in annals, official publications of the Brazilian government and newspaper articles all available on the internet for reading.

Results and discussion: When performing the previous reading of the publications found, 14 publications were selected. In Brazil there are significant uranium resources, the country occupies a prominent position in the world ranking. The resources are of the order of 244,788 tons of uranium contained - U_3O_8 , distributed among the states of Bahia, Ceará and others. The Caetité mine was discovered in the early 1970s by the National Nuclear Energy Commission - CNEN. It covers 1,800 hectares with an exclusive uranium

reserve estimated at 100 thousand tons. The Santa Quitéria deposit is located in the central part of the State of Ceará, located 212 km from Fortaleza. The Santa Quitéria deposit has geological reserves of 142,500 tons of uranium associated with phosphate. The mineable reserve has 79.5 Mt of ore with contents of 11% P₂O₅ and 998ppm of U₃O₈, containing 8.9 Mt of P₂O₅ and 79.3 thousand tons of U₃O₈. **Final considerations:** Brazil has considerable uranium resources, with the biggest reserves being the Itataia-CE and Caetité-BA mine, with the high investments in recent years through the partnership with the Galvanni group, the country intends to become self-sufficient in production of uranium.

Keywords: Uranium, uranium extraction, Itataia mine and Caetité mine.

Data de aprovação: 16/06/2021

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas cinco décadas, o Brasil teve como meta aumentar a participação na energia nuclear, na produção nacional de eletricidade. Deste modo, desenvolveu-se a tecnologia atrelada à pesquisa, envolvendo o projeto, construção e operação de instalações relativas ao ciclo nuclear. O país fez investimentos na prospecção, mineração, beneficiamento, purificação industrialização dos minérios de urânio - U e tório -Th (SANTOS,2008).

O urânio tem se destacado como fonte primária da matriz energética mundial desde meados dos anos 60, entre este período e o final dos anos 70, o mercado das usinas nucleares viveu um notável ciclo de crescimento. A interrupção se deu por conta de elementos negativos que coincidiram no tempo: a ocorrência de dois acidentes - Three Mille Island e Chernobyl e os elevados investimentos necessários à instalação de uma central (BRASIL, 2008).

A energia nuclear, produzida a partir do átomo de urânio, voltou à agenda internacional da produção de eletricidade como alternativa importante aos combustíveis fósseis. Nos últimos anos passou a ser considerada uma fonte limpa, uma vez que sua operação acarreta a emissão de baixos volumes de gás carbônico - CO₂, principal responsável pelo efeito estufa e, com consequência, pelo aquecimento global (BRASIL, 2008).

Os primeiros estudos geológicos sobre o urânio no Brasil foram realizados no final do século XIX. A descoberta do urânio associado ao caldazito aconteceu na década de 40 do

século passado, com a criação da NUCLEBRÁS em dezembro de 1974, os estudos das reservas brasileiras foram direcionados às metas do Programa Nuclear Brasileiro de busca por autonomia energética, que, destinou grandes investimentos à prospecção, pesquisa, desenvolvimento de métodos e técnicas de trabalho e lavra de jazidas de urânio no país (BRASIL, 2009).

Portanto, um número considerável de ambientes geológicos foi delimitado, resultando na revelação de novas jazidas, entre elas as províncias de Itataia – CE em 1976 e Lagoa Real (BA) em 1977, levando o Brasil a ocupar no “ranking” mundial de reservas de urânio o sétimo lugar. Em 1988 a NUCLEBRÁS foi transformada em Indústrias Nucleares Brasileiras – INB, permanecendo até os dias atuais, englobando as funções do ciclo do combustível nuclear desde a mineração, passando pelo enriquecimento até a fabricação do combustível nuclear (BRASIL, 2009).

Segundo o INB – Indústrias Nucleares do Brasil, o Brasil ocupa o nono lugar no ranking mundial de reservas de urânio, as jazidas de urânio estão localizadas principalmente na Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais. Ainda de acordo com o INB o Brasil possui recursos significativos de urânio, o que leva o país a ocupar posição de destaque no *ranking mundial*. Os recursos são da ordem de 244.788 toneladas de urânio contido (U_3O_8). A principal delas, em Caetité, Bahia, possui 100 mil toneladas, volume suficiente para abastecer o complexo nuclear de Angra I, II e III por 100 anos.

O novo investimento na exploração do urânio é a mina de Itataia em Santa Quitéria – CE. O município de Santa Quitéria situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará, na microrregião do Sertão Central, distando 222 km de Fortaleza, e tem como municípios limítrofes: Cariré, Groaíras, Forquilha, Sobral, Irauçuba, Canindé, Itatira, Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, Catunda, Hidrolândia, Pires Ferreira e Varjota (MEDEIROS, M. A.; DINIZ, A. S., 2015).

De acordo com a Nota produzida pelo Núcleo TRAMAS/UFC - Trabalho, Meio Ambiente e Saúde, acerca da posição do grupo em relação ao licenciamento ambiental do Projeto, este foi orçado em 870 milhões de reais e visa produzir 1.600 toneladas de concentrado de urânio simultâneo à produção de 1.050.000 toneladas de derivados fosfatados por ano (MEDEIROS, M. A.; DINIZ, A. S., 2015).

Portanto, de acordo com o exposto acima, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre a extração de urânio no Brasil, com ênfase nas minas de Caetité-BA e Itataia-CE, as quais o governo brasileiro está investindo milhões para a extração de

urânio. Cujas finalidades são atender a demanda das Usinas Angra 1 e Angra 2, localizadas em Angra dos Reis – RJ.

2 URÂNIO UTILIZADO COMO FONTE DE ENERGIA

O urânio caracteriza-se como um metal branco-prateado, pouco menos resistente que o aço, sendo encontrado nas rochas da crosta terrestre. Seu valor comercial está na geração de energia elétrica, como combustível para reatores nucleares de potência. Para esse fim, passa por uma série de estágios e processos, dentre os quais a mineração, o beneficiamento e a produção do elemento combustível, composto por pastilhas de dióxido de urânio -UO₂ (BRASIL, 2005).

O aumento populacional e consequentemente o crescimento da economia mundial tem gerado uma demanda cada vez maior por energia. A constante alta dos preços de petróleo e gás e as preocupações quanto às emissões de gás carbônico e o aquecimento global tem gerado a necessidade de uma fonte alternativa de geração de energia, que busque minimizar os efeitos causados pelas fontes mais utilizadas nos dias atuais: petróleo e carvão (BRASIL, 2009).

Ainda segundo Brasil (2009), as principais fontes de suprimento de petróleo encontram-se em áreas de grande instabilidade política. Portanto, esse cenário colabora com a tendência mundial de diversificação da matriz energética e da matriz elétrica. Desta maneira, o urânio torna-se uma fonte alternativa de energia, na forma de combustível para a energia nuclear, cuja vantagem está no seu índice zero de emissão de CO₂ na atmosfera, o que não ocorre com as centrais térmicas convencionais.

2.1 Extração de urânio no Brasil

A exploração brasileira de urânio é realizada pelas Indústrias Nucleares Brasileiras – INB. Na mina de Poços de Caldas foram produzidos entre 1981 e 1995 cerca de 1200 t de concentrado de urânio, mas esta mina tinha um teor médio de 800 ppm - partes por milhão, bem menos rico que Caetité, cujo potencial pode atingir 3.000 ppm. Atualmente, apenas a mina de Caetité, no Sudeste da Bahia, está em atividade desde o ano 2000. Este empreendimento – mina de urânio associado à fábrica de concentrado – está capacitado a uma produção de 400 t /ano, que além de atender a demanda interna, abastecendo as duas usinas

nucleares existentes no País, Angra 1 e 2, e demandas de pesquisas médicas e agrícolas, torna o país autossuficiente na produção do minério (BRASIL,2009).

No Brasil há recursos significativos de urânio, o país ocupa posição de destaque no *ranking mundial*. Os recursos são da ordem de 244.788 toneladas de urânio contido - U_3O_8 , distribuídas entre os estados da Bahia, do Ceará e outros (figura 1). De acordo com a INB, estima-se que os recursos sejam ainda maiores, pois menos de um terço do território brasileiro foi alvo de pesquisas minerais. Somente a região Norte do país tem potencial para abrigar mais de 300 mil toneladas de urânio, já foram identificadas potenciais áreas em Pitinga - Amazonas, onde o urânio encontra-se associado a outros minerais, e no Pará.

Figura 1: recursos de urânio no Brasil



Fonte: inb.gov.br

2.2 Mina de Caetité – BA

A mina de Caetité foi descoberta no início da década de 70 do século passado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Ela possui 1.800 hectares de extensão com uma reserva exclusiva de urânio estimada em 100 mil toneladas. Essa mina é explorada desde 1998 pela INB, o urânio extraído na região é destinado para uso como combustível nas usinas nucleares de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro (PEREIRA, 2013).

A Unidade de concentrado de urânio - URA é uma instalação minero-industrial composta por uma mina e uma usina de beneficiamentos físico e químico, construída para executar as atividades de lavra e beneficiamento de minérios de urânio da região. Está localizada no Município de Caetité, no centro-sul do Estado da Bahia, em área de 1.200 ha, de propriedade da INB, situada a 45 km da sede do município (GOMIERO; MATOS; RODRIGUEZ, 2004).

As unidades operacionais, ou seja, a mina, a plataforma da usina, os depósitos de rejeitos e instalações de apoio, ocupam uma área com cerca de 95 ha. O empreendimento tem capacidade para processar 180.000 t/ano de minério, com teor médio de 0,29% em U₃₀ 8, produzindo cerca de 400 t/ano de U₃₀x, sob a forma do sal Diuranato de Amônio- DUA (GOMIERO; MATOS; RODRIGUEZ, 2004).

A província uranífera de Lagoa Real localiza-se na região Centro-sul do estado da Bahia, possuindo depósitos de minério de urânio superficiais com elevada concentração de U₃₀8, com média de 0,3 % em U₃₀8. Devido a estas características, o custo final de obtenção de diuranato de amônio –DUA torna-se atrativo. Constituída por 34 anomalias radiométricas, abrange uma área de 1.200km², onde as jazidas distribuem-se ao longo de uma estrutura em arco, de cerca de 40 km de comprimento (NASCIMENTO et. al., 2003).

Como a jazida da Cachoeira concentra o maior teor médio de urânio,i.e., 3500 ppm em U₃₀8 geológico, e armazena a maior reserva entre as 34 anomalias, a INB optou, primeiramente por seu aproveitamento, partindo de uma produção anual de 300 t de concentrado de urânio. A lavra é desenvolvida à céu aberto, até a profundidade de 140 m, de modo a produzir minério com teor médio de 1900 ppm em U₃₀8 recuperável, para o beneficiamento. Considerando a operação normal e continuada dos sistemas, é estimado um período em torno de 16 anos para as atividades de lavra e beneficiamento desta jazida (NASCIMENTO et. al., 2003).

Segundo Marques (2020) a INB publicou que recebeu do Ibama, a prorrogação da Licença de Operação até 13 de janeiro de 2026, para a Mina Cachoeira (Anomalia 13) e lavra a céu aberto da Mina do Engenho (Anomalia 09), ambas localizadas no município de Caetité. A licença também permite o beneficiamento do minério de urânio até a obtenção de diuranato de amônio [(NH₄)₂U₂O₇], conhecido como DUA ou yellow cake, produto ainda não enriquecido no isótopo ²³⁵U, na Unidade de Concentrado de Urânio, também localizada em Caetité.

Ainda de acordo com Marques (2020), entre 2000 e 2015, a INB explorou a mina Cachoeira e, de onde foram retirados 3.750 toneladas de concentrado de urânio. Em breve a

estatal deve começar a explorar uma nova jazida no local, a mina do Engenho. No município de Caetité, a INB realiza, além da mineração, o beneficiamento do minério, que resulta no produto concentrado de urânio ou yellowcake. O Brasil é um dos 12 países que detém tecnologia para enriquecer urânio, mas ainda importa grande parte de seu consumo.

2.3 Mina de Itataia em Santa Quitéria-CE

O depósito de Santa Quitéria está localizado na parte central do Estado do Ceará, situada a 212 km de Fortaleza,. Segundo dados da INB, a jazida de Santa Quitéria possui reservas geológicas de 142,5 mil t de urânio associado ao fosfato. A reserva lavrável tem 79,5 Mt de minério com teores de 11% de P₂O₅ e 998ppm de U₃O₈, contendo 8,9 Mt de P₂O₅ e 79,3 mil toneladas de U₃O₈. Nessa jazida pode-se aproveitar também cerca de 300 milhões de m³ de mármore, totalmente isento de urânio. Embora seja a maior reserva de urânio que o país possui, sua viabilidade econômica é dependente da exploração do fosfato associado (BRASIL, 2009).

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de urânio, pautado na sua abundância e com o discurso da segurança energética e exportação do minério, o governo brasileiro justifica a construção de várias usinas nucleares no país. Deste modo, quanto maior o número de usinas nucleares, maior a necessidade de combustíveis e para suprir essa necessidade é preciso uma maior quantidade de urânio. E assim, surgiu o Projeto Santa Quitéria, esse projeto é uma parceria entre as Indústrias Nucleares do Brasil – para a exploração do urânio com a finalidade de produzir combustível nuclear e a empresa Galvani – responsável pela extração de fosfato com o objetivo de produzir fertilizantes e ração para animais (FROTA, 2014).

A exploração em Santa Quitéria possui registros desde Data de 1976, quando foi realizado o primeiro registro de pedido de licenciamento da fazenda Itataia (figura 2) no DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral, quando, segundo consta no Projeto Santa Quitéria, Volume I, a Sra. Prudenciana Sabóia, proprietária da fazenda, requereu uma área de 174 ha para pesquisa do calcário. Segundo o documento citado, no mesmo ano, a NUCLEBRÁS Empresa Nuclear Brasileira, sucedida desde 1998 pela INB, requereu outras 4 áreas de 5000 ha cada para prospecção e pesquisa de urânio, adquirindo, depois, toda a fazenda com 4.042 ha e os direitos minerários (MEDEIROS; DINIZ, 2015).

Figura 2: localização da Fazenda Itataia



Fonte: <http://www.consorciosantaquitéria.com.br/projeto.php>

No ano de 2004, a INB obtém a licença prévia (23/09/04) e a licença de instalação (30/09/04), pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará - SEMACE. O projeto de extração de Urânio em Santa Quitéria iniciou o seu processo de licenciamento ambiental junto à SEMACE, porém de modo completamente irregular, pois a Constituição Federal é bem clara quanto à competência somente da união para legislar sobre a exploração de minerais nucleares. Portanto, a empresa obteve a licença Prévia e a licença de Instalação na

instância estadual, mas teve o licenciamento anulado pelo poder judiciário (MEDEIROS; DINIZ, 2015).

Devido ao fosfato está associado ao urânio, um elemento com alto teor radiativo, a SEMACE não possui autoridade para conceder a licença, somente o IBAMA poderá conceder - conforme determinam a Lei n.º 6.938-1981 - Política Nacional do Meio Ambiente. Então, ano de 2007, foi aberto o processo de licitação para a escolha da empresa parceira. A INB recebeu propostas da Vale do Rio Doce, da Bunge Fertilizantes e da Galvani Mineração. E no ano de 2008, a Galvani foi selecionada, já em 2009, formou-se o Consórcio Santa Quitéria composto pela associação das duas empresas: as INB e o grupo Galvani (MEDEIROS; DINIZ, 2015) .

Após anos sem atividade o Projeto Santa Quitéria está sendo retomado, segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN, o projeto foi remodelado para explorar a maior reserva de urânio associado ao fosfato, com previsão de investimentos de US\$ 400 milhões, assim, o Brasil se tornará autossuficiente no concentrado de urânio ou yellow cake – insumo base para geração de energia nuclear, elevando o País à categoria de exportador do produto.

O IPEN afirma que os estudos ambientais tiveram início no último trimestre de 2020, o objetivo do próximo ano é a conclusão de todo o projeto base e a estrutura financeira e societária, na qual a Galvani pretende captar stakeholders, mas mantendo o controle societário do consórcio. Entre 2022 e 2023, a previsão é de que as duas plantas de operação estejam em construção, quando atingir o pico de 1,5 mil operários no canteiro, não havendo atrasos, em 2024, a exploração deverá ser iniciada.

Ainda segundo o IPEN a etapa seguinte do planejamento é o licenciamento ambiental, para este fim, biólogos devem chegar ao Ceará no último trimestre do ano para conferir as características da área local e prever o impacto sobre os animais e as plantas da região ao longo dos períodos de seca e chuvosos. Eles irão preparar o Estudo de Impacto Ambiental/Relatório e Impacto Ambiental -EIA-Rima, que deve ser submetido ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente -Ibama.

2.4 Processos utilizados na extração e beneficiamento do urânio

O urânio encontra-se distribuído em abundância na crosta terrestre, sendo utilizado como combustível para reatores nucleares. Antes de ser usado, o urânio que foi retirado do solo deve ser extraído do minério e transformado em um composto que possa ser utilizado nas

etapas posteriores do beneficiamento do combustível nuclear. Para este fim, existem dois tipos principais de tratamento de minério de urânio a saber: o processamento de minério de urânio, e cobre jazidas de urânio convencionais; já o outro é chamado de processamento de fosfatos de urânio e dependendo da jazida abrange instalações em que o urânio é processado como subproduto de instalações de produção de fosfato (SILVA, 2011).

A extração do urânio se dá por vários processos básicos, entre eles: mineração subterrânea; mineração a céu aberto; (LIS) lixiviação in situ; como subproduto de exploração de cobre e ouro. Na mineração subterrânea são explorados corpos de minério bem abaixo da superfície, é um processo tradicional de extração do urânio, com eixos afundados na terra, com o objetivo de ter acesso ao minério de urânio. Enquanto isso, a mineração a céu aberto é usada em corpos de minério perto da superfície. Porém nos dois processos, o minério é transportado para uma instalação de processamento, onde existe um moinho, em que o urânio será separado do minério (SILVA, 2011).

Ainda de acordo com Silva (2011), a mineração por lixiviação In-situ envolve o bombeamento de uma solução lixiviadora no corpo do minério por meio de um furo, essa solução irá circular através dos poros da rocha e o minério dissolvido é extraído utilizando-se um poço subsequente. O urânio também pode ser produzido como um subproduto do processamento de minerais, além disso, da produção de fertilizantes fosfatados. Como esses processos de extração de urânio seriam destinados ao processamento de resíduos, eles mudam muito pouco o processo de fluxo primário, e a extração de urânio geralmente não aumenta potencialmente os impactos ambientais adversos.

Depois da mineração, ocorre o beneficiamento do urânio, para daí obter o concentrado de urânio (U_3O_8), comumente chamado de *yellow cake*, devido a sua coloração amarelada ou caqui. As etapas gerais que envolvem o beneficiamento do urânio são (NEA, 2014 apud SILVA, 2015):

- Britagem e moagem: nessa etapa há a redução do minério em partículas finas;
- Lixiviação: uma solução ácida ou alcalina dissolve o urânio, e a solução de urânio formada é, posteriormente, separada dos sólidos lixiviados;
- Extração: há a separação do urânio dissolvido, que pode ocorrer pelos métodos de troca iônica ou extração de solventes;
- Precipitação ou secagem: o urânio é precipitado da solução pelo uso de um dentre vários produtos químicos. Logo após, são realizadas as operações de desidratação, filtração e secagem para completar o processo, que gera como produto final o *yellow cake*, que geralmente apresenta uma coloração caqui.

De acordo com o INB o urânio encontrado em sua forma natural não produz energia, deste modo, faz-se necessário o processo de enriquecimento, realizado para separar e aumentar a concentração de um dos isótopos do urânio, que sofre um processo de fissão nos núcleos dos reatores nucleares. Portanto, A INB produz urânio enriquecido a até 5% em peso do isótopo 235 para a fabricação dos combustíveis que abastecem as usinas Angra 1 e Angra 2 e, no futuro, também Angra 3. Segundo a INB a tecnologia de enriquecimento do urânio, pelo processo da ultracentrifugação, foi desenvolvida no Brasil pelo Centro Tecnológico da Marinha de São Paulo (CTMSP), em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN).

A INB afirma ainda, que a Usina de Enriquecimento de Urânio está sendo implantada em etapas na Fábrica de Combustível Nuclear (FCN), localizada em Resende, no Rio de Janeiro. Em novembro de 2019, com a inauguração da cascata 8, pertencente ao Módulo 3, a Usina de Enriquecimento da FCN atingiu a capacidade para produzir 60% da quantidade média anual de urânio enriquecido necessária para abastecer a central nuclear Angra 1.

Segundo o INB o combustível nuclear - ou Elemento Combustível, utilizado para abastecer as usinas de Angra, é uma estrutura metálica, com até 5 metros de altura, formada por um conjunto de tubos, chamados varetas dentro das quais são colocadas pastilhas de urânio enriquecido entre 2 e 5%.

Esses elementos combustíveis são utilizados por usinas nucleares, ainda de acordo, com o INB os elementos combustíveis produzidos para as usinas de Angra dos Reis são de diferentes tecnologias, e por isso cada usina necessita de quantidades diferentes de elementos combustíveis. Angra 1 necessita de 121 elementos combustíveis, cada um deles contendo 235 varetas, 369 pastilhas por vareta. Enquanto Angra 2 necessita de 193 elementos combustíveis, cada um deles contendo 236 varetas, 384 pastilhas por vareta.

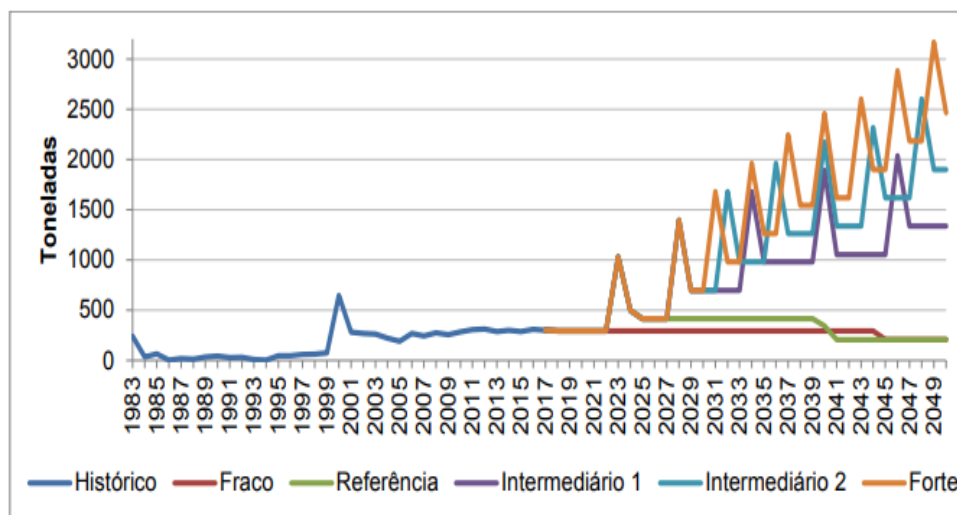
Ainda segundo informações da INB em 22/10/2019 a empresa finalizou a entrega da 25ª Recarga da Usina Angra 1. A recarga é um processo de reabastecimento de uma usina nuclear por meio da substituição de elementos combustíveis descarregados por novos. Mesmo com o contingenciamento no orçamento, a empresa forneceu à Eletronuclear os 44 Elementos Combustíveis previstos para esta recarga dentro do prazo.

Em pesquisa realizada por Estanislau (2019) para dissertação de mestrado o objetivo foi avaliar cenários com projeções da expansão nacional da energia nuclear. Nesse contexto, o autor revisou algumas externalidades na energia nuclear e avaliou por meio da ferramenta de modelagem MESSAGE, o histórico de geração e outros cinco cenários operando em ciclo aberto e ciclo fechado do combustível nuclear.

No processo de geração de energia o ciclo do combustível nuclear pode ser aberto ou fechado. O ciclo aberto compreende a mineração e beneficiamento do urânio na forma de U₃O₈ (yellowcake), o urânio é convertido em UF₆ e enriquecido até a concentração de ²³⁵U específica para cada reator. Já o ciclo fechado configura o reprocessamento do combustível de óxido de urânio (UO₂) queimado, separando principalmente o plutônio para fabricação de um novo combustível MOX -óxido misto de urânio e plutônio (ESTANISLAU, F. B. G. L., 2019).

Aproximadamente 6000 toneladas de urânio foram necessárias para atender a demanda brasileira de combustível das usinas nucleares até 2017. Nos últimos anos a necessidade de U₃O₈ convertido em UF₆ foi de aproximadamente 300 toneladas anuais no país. As demandas anuais de urânio na Usina Nuclear de Angra dos Reis estão representadas nas figuras 3 e 4 (ESTANISLAU, F. B. G. L., 2019).

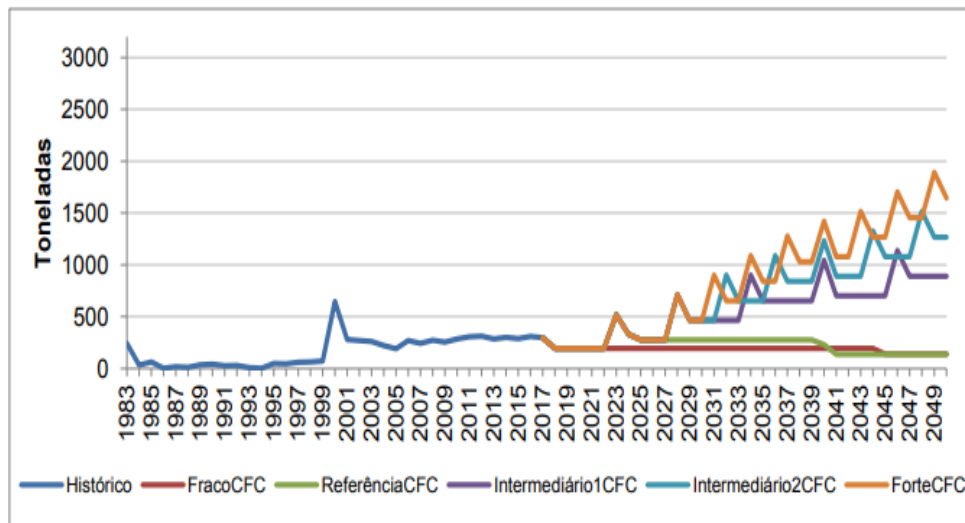
Figura 3: Requisitos anuais de conversão de urânio para o ciclo aberto



Fonte: ESTANISLAU, F. B. G. L., 2019.

Na análise dos dados em relação ao ciclo aberto o autor afirma que no cenário fraco esses requisitos se mantêm, ao passo que no cenário referência, depois do pico para atender o carregamento do núcleo de Angra 3, os requisitos de UF₆ são de 410 toneladas anuais até 2040 quando Angra 2 sai de operação. Nos cenários operando no ciclo fechado, as capacidades para atender aos requisitos de UF₆ são 33% menores de acordo com a Figura 4. No cenário fraco CFC as necessidades anuais de UF₆ diminuem de 300 toneladas, do ciclo aberto, para 194 toneladas. No cenário referência CFC os requisitos anuais são de 275 toneladas de UF₆ após a entrada de Angra 3 até 2040 e 136 toneladas até o final do modelo (ESTANISLAU, F. B. G. L., 2019).

Figura 4: Requisitos anuais de conversão de urânio para o ciclo fechado



Fonte: ESTANISLAU, F. B. G. L., 2019.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, observa-se que o Brasil possui uma reserva de urânio bastante considerável, estima-se que existam recursos em várias regiões do país. Os primeiros estudos geológicos sobre o urânio no Brasil foram realizados no final do século XIX. A descoberta do urânio associado ao caldazito aconteceu na década de 40. Atualmente, a mina de Caetité no estado da Bahia é a responsável pela extração de urânio e o seu beneficiamento é realizado na fábrica de energia nuclear em Resende – RJ.

O Brasil tem investido cada vez mais na produção de urânio, e após anos em inatividade a Usina de Santa Quitéria no Ceará, será reaberta, foi elaborado um novo projeto em que serão realizados estudos sobre os possíveis impactos ambientais.

Através da parceria firmada com a empresa Galvani, estima-se que em 2024 a mina inicie a extração de urânio no Ceará, deste modo, o Brasil pretende torna-se autossuficiente na produção de urânio, pois somente essa mina possui 142,5 mil t de urânio associado ao fosfato. Este projeto irá gerar milhares de empregos, contribuindo assim, para o crescimento da economia do país.

Para seu pleno funcionamento a usina Angra 1 necessita de 121 elementos combustíveis enquanto a Angra 2 utiliza 193 elementos combustíveis. O aumento da produção brasileira de urânio irá atender as necessidades das duas principais usinas nucleares brasileiras Angra 1 e Angra 2, que são responsáveis pela geração de energia elétrica no país, e futuramente da usina Angra 3.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Aneel. **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília : Aneel, 2005.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Aneel. **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008.
- BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Economia Mineral do Brasil**/ Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: DNPM, 2009.
- ESTANISLAU, F. B. G. L. **Avaliação de cenários de sistemas de energia nuclear utilizando modelos Message**. 2019.129 p. Dissertação (Ciências e Técnicas Nucleares). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.
- FROTA, M. C. **O imaginário acerca da instalação da mineração de urânio em Santa Quitéria, Ceará – estudo sobre a relação do sertanejo com a terra**. 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Saúde pública). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.
- GOMIERO, L.A.; MATOS, E.C.; RODRIGUEZ, P.C. **Produção de Concentrado de Urânio em Caetité - BA**. Em: XX ENTMME e Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, p. 399-406, V 2, Florianópolis, 2004.
- Indústrias Nucleares do Brasil. **Nossas atividades: recursos/urânio**. Disponível em <http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Urânio/Recursos>. Acesso em: 26 de setembro de 2020.
- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **Notícias - Urânio no CE: projeto Santa Quitéria é retomado com US\$ 400 mi de investimento**. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=14866. Acesso em: 04 de outubro de 2020.
- MARCONI, M. A. ; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 5ª edição. São Paulo-SP: Editora Atlas, 2003.

MARQUES, Thiago. Ibama renova licença de operação de minas e concentração de urânio da INB em Caetité. **Agência Sertão**, cidade de publicação, 21 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://agenciasertao.com/2020/01/21/ibama-renova-licenca-de-operacao-de-minas-da-inb-em-caetite/> Acesso em: 12 de outubro de 2020.

MEDEIROS, M. A.; DINIZ, A. S. A Mina de Itataia em Santa Quitéria – CE: o urânio e os riscos da exploração. **Revista da Casa de Geografia de Sobral**, Sobral-CE, v.17, n. 1, p 80-96, 2015.

Ministério de Minas e Energia. **Todas as notícias**: Brasil exporta nova carga de urânio enriquecido para a Argentina. Disponível em: http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/brasil-exporta-nova-carga-de-uranio-enriquecido-para-argentina . Acesso em 30/10/2020.

NASCIMENTO. F. M. F. et. al. **Impactos de mineração e sustentabilidade no semi-árido. Estudo de caso: Unidade de Concentração de Urânio – URA (Caetité, BA)**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

PEREIRA, T. C. **Mortalidade por câncer no município de Caetité, Bahia, de 1980 a 2010**. 2013. 30 p. Monografia (Graduação em Medicina). Universidade Federal da Bahia, 2013.

SANTOS, I. **Descomissionamento de usina de produção de hexafluoreto de urânio**. 2008. 151 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de tecnologia Nuclear – Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2008.

SILVA, P. H. P. **Processo de beneficiamento do urânio visando a produção de energia elétrica**. 2011. 84 p. Monografia (Graduação em Física). Universidade Estadual do Ceará. Ceará, 2011.

SILVA, R. F. G. **“Riscos, saúde e alternativas de produção de conhecimentos para a justiça ambiental: o caso da mineração de urânio em Caetité, BA”**. 2015. 223 P. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca – Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2015.