

3

O Ciclo do Combustível Nuclear

O ciclo do combustível nuclear é o conjunto de etapas do processo industrial que transforma o mineral urânio, desde quando ele é encontrado em estado natural até sua utilização como combustível dentro de uma usina nuclear.

Durante os anos de 1982 até 1999, o Brasil desenvolvia apenas parte do processo de fabricação do elemento combustível, que envolvia a mineração, o beneficiamento do urânio (produção de *yellowcake*) e montagem do elemento combustível. A partir de 1999, o País passou a desenvolver o processo de reconversão e fabricação de pastilhas, aumentando sua participação no ciclo do combustível nuclear. Com isso, aumentou a necessidade de serem assegurados meios eficientes de controle da dose devido à inalação e ingestão de compostos de urânio nas instalações que trabalham com fontes abertas.

As Indústrias Nucleares do Brasil – INB – atuam na área de mineração, exploração do urânio, produção de concentrado de U_3O_8 , enriquecimento isotópico, reconversão do UF_6 em pó de dióxido de urânio (UO_2), fabricação de pastilhas de UO_2 em grau cerâmico nuclear e fabricação e montagem do elemento combustível, para alimentação dos reatores de usinas nucleares.

3.1.Mineração e beneficiamento

A mineração e a produção de concentrado de urânio consiste na primeira etapa do ciclo do combustível. Após o conjunto de operações, que têm como objetivo descobrir uma jazida e fazer sua avaliação econômica - prospecção e pesquisa - determina-se o local onde será realizada a extração do minério do solo, e o início dos procedimentos para mineração e para o beneficiamento. Na usina de beneficiamento o urânio é extraído do minério, purificado e concentrado sob a forma de um sal de cor amarela, conhecido como "yellowcake". Tais atividades são desenvolvidas no município de Caetité, no Estado da Bahia.

Segundo as recentes projeções, (Matos et al, 1999), as atuais reservas geológicas brasileiras de urânio expressas como U_3O_8 , somam 309 mil toneladas (5,9 % das reservas mundiais conhecidas). Entre as reservas já conhecidas, a Província de Lagoa Real, descoberta em 1977 com base em levantamentos aerogeofísicos, abrange uma área de 1200 Km². A área de Lagoa Real localiza-se no centro-sul do Estado da Bahia, sendo limitada pelas coordenadas geográficas 42007'30" - 42022'30" e 13045'00" – 14007'30". Nesta região se situa a mais importante província uranífera conhecida no Brasil. A área está inserida no quadrilátero formado pelas cidades de Caetité, Lagoa Real, Maniaçu, e São Timóteo, próximo à divisa com Minas Gerais. Após a sua descoberta, diversos trabalhos foram realizados com vistas a cartografar os corpos mineralizados em urânio e suas encaixantes, caracterizar o seu arcabouço estrutural, datar e entender a gênese da mineralização uranífera e sua distribuição espacial (Cruz, 2004).



Figura 11 Localização do município de Caetité / Ba, onde encontra-se a jazida de urânio.

Segundo Matos (Matos et al 1999, 2000), são consideradas como jazidas/depósitos, dez áreas (doze anomalias) apresentando um total de 100.770 toneladas de U_3O_8 (medida, indicada e inferida), com teor médio de 2.100 ppm.

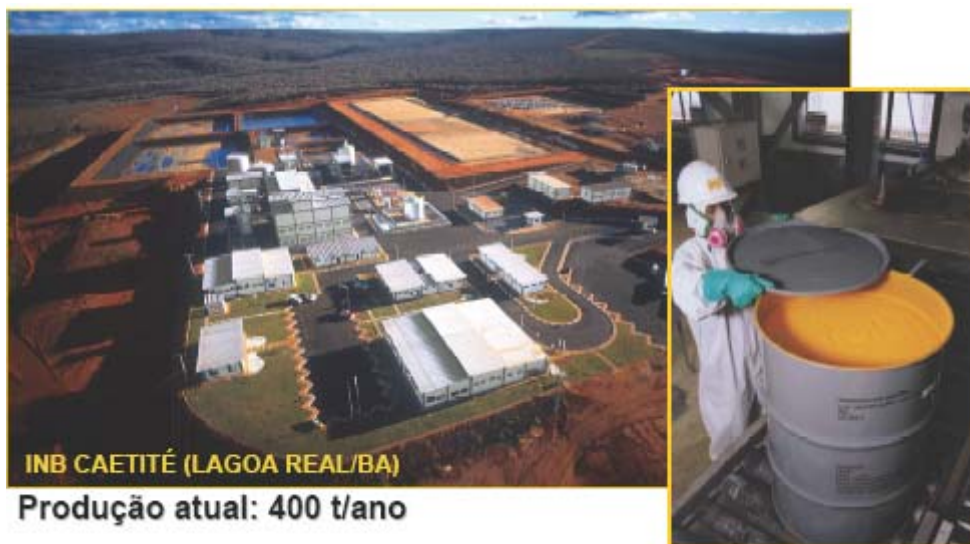


Figura 12 vista aérea da INB Caetité localizada na Bahia.

3.2. Conversão e enriquecimento do urânio

Nessa etapa do ciclo do combustível nuclear o urânio na forma de yellowcake é dissolvido e purificado. Então é convertido para o estado gasoso, sendo obtido o hexafluoreto de urânio (UF_6).

A etapa a seguir é a de enriquecimento do urânio que tem por objetivo aumentar a concentração do urânio 235 que é de apenas 0,7% de urânio 235 para 2 a 5% o que viabiliza o seu uso como combustível. O produto gasoso, UF_6 , é então, enriquecido em ^{235}U . A maioria dessas etapas é realizada através do processo de ultracentrifugação (UNSCEAR, 2000).

A conversão do urânio brasileiro é realizada no exterior. Após a obtenção do DUA, este concentrado é enviado ao exterior, onde é feita a conversão em UF_6 . Tal processo é realizado pelo consórcio URENCO, constituído por Holanda, Alemanha e Inglaterra, que desenvolveu a tecnologia de enriquecimento por ultracentrifugação.

3.3. Fabricação do combustível nuclear

Após ser enriquecido, o UF_6 é enviado em recipientes para a Fábrica de Combustível Nuclear – FCN, em Resende, RJ. Na Unidade II da referida fábrica é realizada a reconversão do UF_6 em UO_2 .

As pastilhas de urânio, depois de prontas, são submetidas à última etapa do ciclo do combustível nuclear, que é a montagem do elemento combustível, realizada na Unidade I da Fábrica de Combustível Nuclear – FCN.

A principal fonte de exposição durante a fabricação do combustível nuclear é o urânio. Isso pode resultar em exposição externa por emissão gama e exposição interna por ingestão ou inalação de particulados contendo ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U .

Na Fábrica de Combustível Nuclear (FCN), pertencente à INB, são realizadas as etapas de: Reconversão de UF_6 em pó de UO_2 , Fabricação de pastilhas de UO_2 e a Montagem do Elemento Combustível.

3.4. A fábrica de combustível nuclear (FCN)

A Fábrica de Combustível Nuclear (FCN), pertencente à INB, está localizada na cidade de Resende, no Estado do Rio de Janeiro. Nesta unidade industrial são realizadas as seguintes etapas do ciclo do combustível nuclear: reconversão de UF_6 em pó de UO_2 ; fabricação de pastilhas de UO_2 e montagem do elemento combustível.

Na etapa de reconversão o hexafluoreto de urânio (UF_6) é transformado em dióxido de urânio (UO_2). O processo de reconversão é o retorno do gás UF_6 ao estado sólido, sob a forma de pó de dióxido de urânio (UO_2). A principal matéria-prima dessa etapa do processo é o urânio enriquecido na forma de hexafluoreto de urânio (UF_6), com nível de enriquecimento da ordem de 0,71 a 5,0% em peso, armazenado em recipientes cilíndricos. O cilindro contém aproximadamente 2,277 kg de UF_6 . O UF_6 à temperatura ambiente de 25°C apresenta-se na forma sólida.

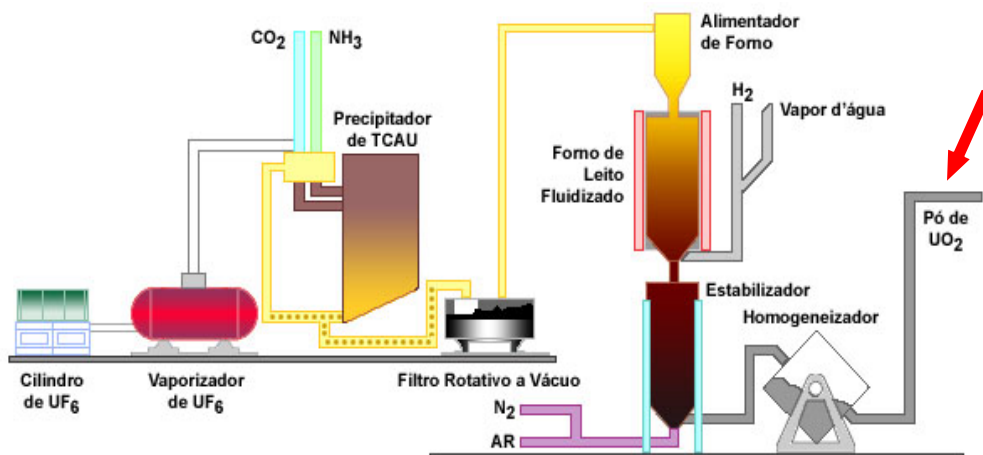


Figura 13 Desenho esquemático do processo para obtenção do UO_2 .

O vapor de UF_6 é então misturado a uma corrente, pré-aquecida a 100°C , de gás carbônico (CO_2) e amônia (NH_3).

A hidrólise do UF_6 e a precipitação do tricarbonato de amônio e uranila (TCAU) ocorrem em um reator químico despressurizado onde o UF_6 reage com amônia (NH_3), gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) desmineralizada. Esta reação química produz o tricarbonato de amônio e uranila (TCAU), sólido amarelo e insolúvel em água.

A decomposição térmica do TCAU e subsequente redução para UO_2 processa-se em forno de leito fluidizado com hidrogênio e vapor d'água a 600°C , sofrendo, então, uma redução química para UO_2 .

Do forno de leito fluidizado, o pó de UO_2 recebe a adição de N_2 gasoso. O UO_2 é transportado para homogeneizadores, onde é adicionado o U_3O_8 .

Após as etapas acima descritas, a matéria prima para a fabricação da pastilha para o elemento combustível esta pronta, o pó de UO_2 , cuja concentração isotópica, em ^{235}U , é da ordem de 0,71 a 5,0 % em peso.



Figura 14 Processo de fabricação de pastilhas de UO_2 .

O pó utilizado nesta etapa possui até 100 μm de diâmetro. Nesta fase do processo, as pastilhas são chamadas de "pastilhas verdes". O pó com diâmetro maior que 100 μm é levado para a estação de peneiramento, onde são quebrados, novamente classificados e, posteriormente, reintroduzidos no homogeneizador.

As "pastilhas verdes" são encaminhadas ao forno de sinterização, sob temperatura de 1.750°C. O sistema de retificação de pastilhas de UO_2 é constituído por um dispositivo de alimentação contínua de pastilhas, um equipamento de retificação, uma seção de controle dimensional e inspeção visual e um dispositivo de retirada e arrumação de pastilhas. Para que sejam atendidas as exigências da especificação, todas as pastilhas sinterizadas sofrem uma retificação do diâmetro.



Figura 15 Pastilhas de urânio.

A montagem do elemento combustível é a última etapa do ciclo do combustível nuclear e é realizada em Resende. Nesta etapa são montados os conjuntos de elemento combustível.

O Elemento Combustível é composto pelas pastilhas de dióxido de urânio montadas em tubos de uma liga metálica especial - o zircaloy - formando um conjunto de varetas, cuja estrutura é mantida rígida, por reticulados chamados grades espaçadoras.