

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.

O Brasil está hoje, ao lado da Austrália, Canadá, Cazaquistão, África do Sul, Estados Unidos, Rússia e Namíbia, entre os países que possuem grandes reservas de urânio, a matéria-prima utilizada para produzir o combustível usado nos reatores nucleares.



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

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).

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.

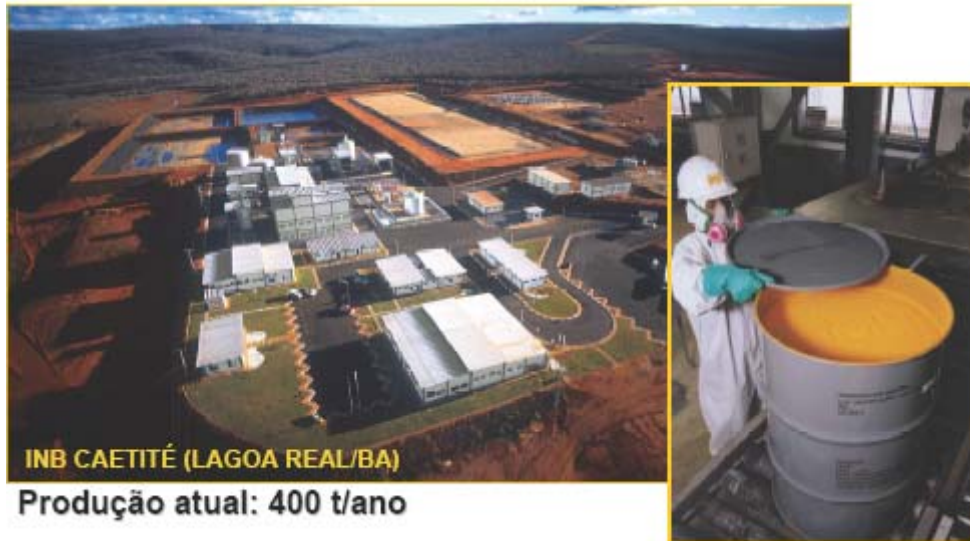


Figura 12 vista aérea da INB Caetité localizada na Bahia.

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.

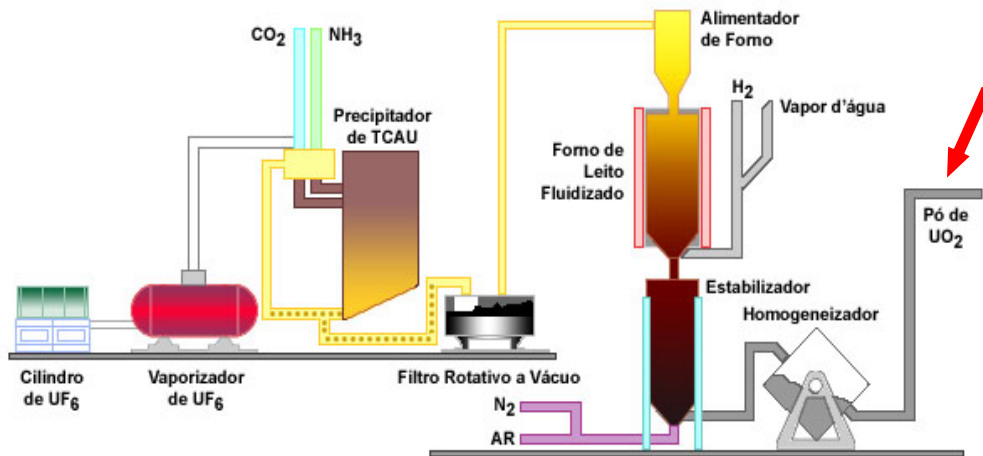


Figura 13 Desenho esquemático do processo para obtenção do UO_2 .

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.

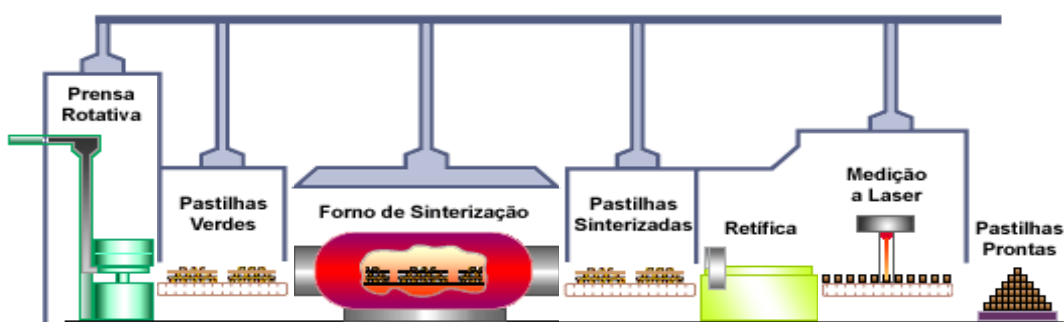


Figura 14 Processo de fabricação de pastilhas de UO_2 .

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.