

IEA-PUB-92

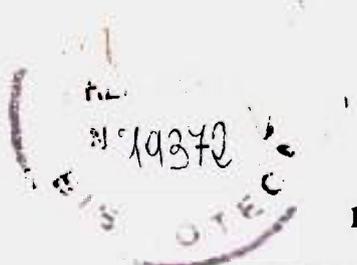


**FABRICAÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DE UO_2
PARA O CONJUNTO SUBCRÍTICO "RE-SUCO"**

*THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS, HELITON M. HAYDT, CLAUER
TRENCH DE FREITAS*

PUBLICAÇÃO I.E.A. N.º
Março — 1965

92



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

FABRICAÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DE UO_2 PARA O CONJUNTO
SUBCRÍTICO "RE-SUCO"

por

THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS
HELITON M. HAYDT
CLAUER TRENCH DE FREITAS

DIVISÃO DE METALURGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
São Paulo - Brasil

Publicação IEA Nº 92
Março 1965

Separata de "METALURGIA-REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
METAIS", Vol. 21, Nº 88, p. 217 a 222, Março, 1965.

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Luiz Cintra do Prado

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof. Luiz Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof. José Moura Gonçalves

Prof. Walter Borzani

Prof. Rui Ribeiro Franco

Prof. Theodoreto H.I. de Arruda Souto

}
} pela USP

}
} pela CNEN

Divisões Didático-Científicas:

Div. de Física Nuclear: Prof. Marcello D.S. Santos

Div. de Engenharia de Reatores: Prof. Tharcisio D.S. Santos

Div. de Ensino e Formação: Prof. Luiz Cintra do Prado (licenciado)

Div. de Radioquímica: Prof. Fausto Walter de Lima

Div. de Radiobiologia: Prof. Rômulo Ribeiro Pieroni

Div. de Metalurgia Nuclear: Prof. Tharcisio D.S. Santos

Div. de Engenharia Química: Prof. Kazimiers J. Brill

RESUMEN

Entre los trabajos en curso en la División de Metalurgia Nuclear del Instituto de Energía Atómica, figura el de fabricación de los elementos combustibles para el conjunto sub-crítico "Re-Suco", empleando pastillas de UO_2 de $40,2 \pm 0,1$ mm de diámetro, confinadas en tubo de aleación de aluminio 1100 de $44,0 \pm 0,2$ mm de diámetro externo y $40,5 \pm 0,2$ mm de diámetro interno, las pastillas ocupando una altura total de 950 mm en cada tubo, cuya longitud total es de 1309 mm.

El conjunto sub-crítico destínase a estudios de física de reactores y empleará un total de 313 elementos combustibles, cada cual conteniendo 23 pastillas de 330,4 g. de UO_2 de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³ de densidad. Cuando esté concluida la fabricación, se tendrá producido 7.199 pastillas con peso total de 2.378,8 kg. El proceso de fabricación fue estudiado en todas sus fases a través de estudios experimentales que se desarrollaron en el decurso de casi un año y medio de trabajos, que incluye la fase de proyecto, construcción, montaje e instalación de los hornos y demás unidades necesarias. En esta contribución son presentados los resultados obtenidos y descritos en detalle las principales operaciones, a comenzar por la de calcinación del diuranato de amonio de pureza nuclear, producido en el IEA.

SOMMAIRE

Parmi les travaux en cours dans la Division de Métallurgie Nucléaire de l'Institut de Energia Atômica on peut trouver la fabrication des éléments combustibles pour l'ensemble sous-critique "Re-Suco" qui utilise des pastilles de UO_2 de diamètre $40,1 \pm 0,1$ mm, confinées dans des tubes d'alliage d'aluminium 1100 de diamètre extérieur $44,0 \pm 0,2$ mm et de diamètre intérieur $40,4 \pm 0,2$ mm, les pastilles occupant une hauteur totale de 950 mm en chaque tube dont la longueur totale est de 1309 mm.

L'ensemble sous-critique est destiné aux études de réacteurs et employera 313 éléments combustibles, chaque un d'eux contenant 23 pastilles de 330,4 g de UO_2 dont la densité est de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³.

Au but de la fabrication on aura produit 7,199 pastilles avec un poids total de 2378,8 kg.

Le procédé de fabrication a été étudié par des études expérimentales qui se déroulaient pendant presque un an et demi; ce temps comprend le projet, la construction, le montage et l'installation des fours et d'autres unités nécessaires.

On présente les résultats obtenus et on décrit les opérations principales dont la première est la calcination du diuranate d'ammonium de pureté nucléaire produit à l'Institut de Energia Atômica.

ABSTRACT

Among the work in process at the "Nuclear Metallurgy Division" of the "Atomic Energy Institute" it is mentioned the one regarding to the fabrication of the fuel elements for the sub-critical assembly "re-suco" utilizing pellets of UO_2 with 40.2 ± 0.1 mm of diameter, confin

ed into 1100 aluminium alloy tubes of 44.00 ± 0.2 mm outside diameter and 40.5 ± 0.2 mm of inside diameter; the pellets occupy a total height of 950 mm inside each tube, having a total length of 1.309 m.

The sub-critical assembly is to be used for the studies of the reactor physics and will utilize a total of 313 fuel elements each one containing 23 pellets of 330.4 g of UO_2 , with a density of 6.6 ± 0.1 g/cm³. Once the fabrication is completed, there will be produced 7,199 pellets having a total weight of 2,378.8 kg.

The process of fabrication was studied in all of its phases including all experimental studies developed during almost one year and half of work, installation, project, construction, assembly and other necessary steps. In this contribution, there are presented the obtained results described in detail and the principal operations, starting with the calcining of ammonium diuranate of nuclear purity produced at the IEA.

FABRICAÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DE UO_2 PARA O CONJUNTO SUBCRÍTICO "RE-SUCO" (1)

THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS (2)

HELITON M. HAYDT (3)

CLAUER TRENCH DE FREITAS (4)

RESUMO

Dentre os trabalhos em curso na Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica figura o de fabricação dos elementos combustíveis para o conjunto subcrítico "Re-Suco", empregando pastilhas de UO_2 de $40,2 \pm 0,1$ mm de diâmetro, confinadas em tubo de liga de alumínio 1100 de $44,0 \pm 0,2$ mm de diâmetro externo e $40,5 \pm 0,2$ mm de diâmetro interno, as pastilhas ocupando uma altura total de 950 mm em cada tubo, cujo comprimento total é de 1309 mm.

O conjunto subcrítico destina-se a estudos de física de reatores e empregará um total de 313 elementos combustíveis, cada qual contendo 23 pastilhas de 330,4 g de UO_2 de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³ de densidade. Quando estiver concluída a fabricação, ter-se-ão produzido 7.199 pastilhas com peso total de 2.378,8 kg.

O processo de fabricação foi estudado em todas as suas fases através de estudos experimentais que se desenvolveram no decurso de quase ano e meio de trabalhos, que incluiu a fase de projeto, construção, montagem e instalação dos fornos e demais unidades necessárias. Nesta contribuição são apresentados os resultados obtidos e descritos em detalhe as principais operações, a começar pela calcinação do diuranato de amônio de pureza nuclear, produzido no IEA.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto subcrítico para estudos experimentais de física de reatores conhecido pela designação "Re-Suco" (Reator Subcrítico de Óxido) foi concebido no Instituto de Energia Atômica por projeto das Divisões de Engenharia Nuclear e de Física dos Reatores e para sua construção posterior contribuíram, além dessas Divisões, a de Radioquímica produzindo o diuranato de amônio, a partir do qual a Divisão de Metalurgia Nuclear processou a fabricação dos elementos combustíveis.

Representa assim êsse conjunto subcrítico o resultado de trabalho em equipe de quase todas as Divisões científicas do Instituto de Energia Atômica. Destacar-se-á aqui apenas o trabalho desenvolvido por um dos muitos que contribuíram para a sua efetivação, cedo desaparecido, o Lic. Pedro Leão Barcellos Leite, assistente de

pesquisas da Divisão de Engenharia Nuclear, coautor da primeira contribuição técnica sobre produção de UO_2 .

O conjunto subcrítico foi concebido tendo em vista determinados programas de pesquisa no IEA, dentre os quais os referentes ao emprêgo de neutrons provenientes de alvo bombardeado pelo acelerador Van der Graaf, além dos oriundos de fonte Ra-Be ou Sb-Be colocados no tubo porta-fonte que ocupa a região axial da configuração de prisma hexagonal do arranjo dos elementos combustíveis. Os programas de pesquisa impuseram as condições suplementares de dever ser um conjunto facilmente desmontável e transportável e que viesse a ser totalmente construído no País, com materiais de produção nacional.

As condições impostas ao projeto incluíam: o arranjo hexagonal dos elementos combustíveis de 44 mm de diâmetro dispostos seus centros a 59 mm de distância, contendo pastilhas de relativa baixa densidade, principalmente em virtude da conveniência de não se vir a dificultar o aproveitamento ulterior do urânio contido nessas pastilhas; a utilização de água deionizada como moderador e refletor; manter o valor da relação volume de água/volume de UO_2 e a massa total de UO_2 dentro dos valores da curva de otimização estudada e permitir uma trajetória livre para um contador de 8 mm entre os elementos combustíveis, em qualquer das direções principais.

(1) Contribuição Técnica nº 556. Apresentada ao XIX Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1964.

(2) Membro da ABM; do Instituto de Pesquisas Tecnológicas em comissão no Instituto de Energia Atômica na Chefia da Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Engenheiro Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

(4) Membro da ABM; Engenheiro Civil e Engenheiro Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP.

Em outras contribuições técnicas apresentadas aos XVII e XVIII Congressos Anuais da ABM^{2, 3, 4}, bem como em trabalho a ser apresentado à III Conferência Mundial sobre Aplicações Pacíficas da Energia Atômica, a se realizar em Genebra em agosto-setembro próximos⁵, descreveram os autores os estudos experimentais desenvolvidos no laboratório da Divisão de Metalurgia Nuclear referentes ao programa de produção de pastilhas de UO_2 .

Nesta contribuição descrevem os autores o aparelhamento utilizado, quase todo projetado e construído em São Paulo em conseqüência dos estudos anteriores realizados, e analisam os resultados obtidos na fabricação dos elementos combustíveis.

2. ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

O conjunto subcrítico "Re-Suco" utilizará 313 elementos combustíveis, constituídos por tubos de alumínio encerrando as pastilhas de UO_2 , dispostos em arranjo hexagonal, com distância entre centros de 59 mm, e deixando distância entre as paredes de dois elementos combustíveis contíguos de 17 mm. A altura útil ocupada pelas pastilhas de UO_2 é de 930 mm, tendo cada elemento combustível a altura total de 1309 mm. O trecho inferior é destinado ao apoio sobre as placas-suporte inferiores.

Os estudos de otimização das massas levaram à conclusão de que a massa total de pastilhas necessária é de 2.378,8 kg quando a densidade é de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³. Essa circunstância é muito favorável do ponto de vista de reaproveitamento posterior do urânio contido, uma vez que não oferecerá dificuldades a desintegração das pastilhas.

Cada elemento combustível contém 23 pastilhas de 330,4 g, de $40,2 \pm 0,1$ mm de diâmetro. As pastilhas são encerradas em tubo de alumínio 1100, recozido, de $40,5 \pm 0,2$ mm de diâmetro interno e de $44,0 \pm 0,2$ mm de diâmetro externo. Superiormente há uma tampa dotada de orifício para a operação de carregamento do elemento combustível no conjunto subcrítico, e inferiormente, uma haste cilíndrica, ligada por peça cônica, também em liga de alumínio 1100, que serve de apoio sobre as placas de fundo do tanque do reator e que conterà água deionizada.

3. DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES E DO APARELHAMENTO

Calcinação do diuranato de amônio — O diuranato de amônio de pureza nuclear é previamente calcinado a U_3O_8 em forno elétrico de mu-

fla, a 875°C durante 3 horas, sobre bandejas de ferro fundido de 26% Cr.

Essa operação é imprescindível porquanto o material, se reduzido diretamente em temperaturas mais baixas, como é recomendável para a produção de pastilhas de elevada densidade no estado sinterizado, apresentará trincas durante o processo de pré-sinterização. De outro lado, os característicos desejados de densidade do pó somente são obtidos com a operação realizada nas condições indicadas.

Redução do U_3O_8 a UO_2 — A operação de redução do U_3O_8 a UO_2 , com valor da relação O/U de 2,08 a 2,12 como desejável, é realizada em fornos tubulares de 100 mm de diâmetro e cerca de 3,5 m de comprimento, sob atmosfera de hidrogênio, à temperatura de 700°C. Existem duas zonas de comando independente de temperatura, uma, a anterior, ajustada em 350°C e a de redução propriamente dita, ajustada em 700°C.

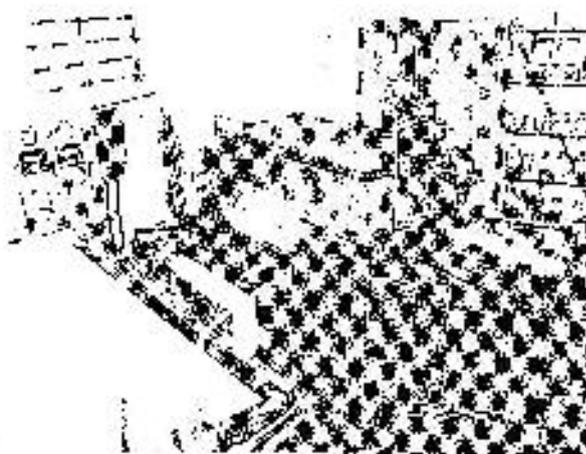


Fig. 1 — Vista de um dos fornos elétricos construídos para a redução sob atmosfera de hidrogênio e com câmaras de carregamento e de descarga que podem ser purgadas por argônio. Ao fundo, o painel de controle, com os indicadores de cada uma das zonas de aquecimento independente.

A fig. 1 mostra o aspecto de um dos fornos de redução especialmente construídos localmente, vendo-se o painel de comando e os dispositivos para ajustamento das vazões de hidrogênio e de argônio, destinado a purgar as extremidades do forno, tanto na fase de carregamento dos botes como na de sua retirada ao ar, após a redução. Em virtude da piroforicidade do material reduzido, os botes contendo o mesmo, são resfriados a temperatura próxima da ambiente, pela passagem em zona dotada de camisa de água. Os fornos trabalham sob pressão positiva, os gases sendo borbulhados em tanque de água.

A carga de U_3O_8 é pesada em capela dotada de exaustão através de filtros que recolhem poeiras resultantes da manipulação e é colocada em botes de grafita, de projeto especial. Esses botes são introduzidos, um após outro, em intervalos de meia hora, em funcionamento contínuo. A capacidade atual instalada com os dois fornos de redução é de 45 kg/dia de UO_2 .

Condicionamento da carga — A moagem, mistura e condicionamento do material reduzido é uma das operações mais importantes no processo, a fim de garantir as propriedades de compactação e de pré-sinterização dos pós.

A operação é realizada em moinho de aço doce, revestido internamente com borracha vulcanizada, em conjunto de acionamento mecânico a 80 rpm e com capacidade para 12 recipientes em funcionamento contínuo. Cada um desses recipientes tem 5 dm³ de volume útil e recebe 3 kg de carga de UO_2 e 6 kg de bolas de aço de 12 mm de diâmetro. O tempo de condicionamento é de 48 horas.

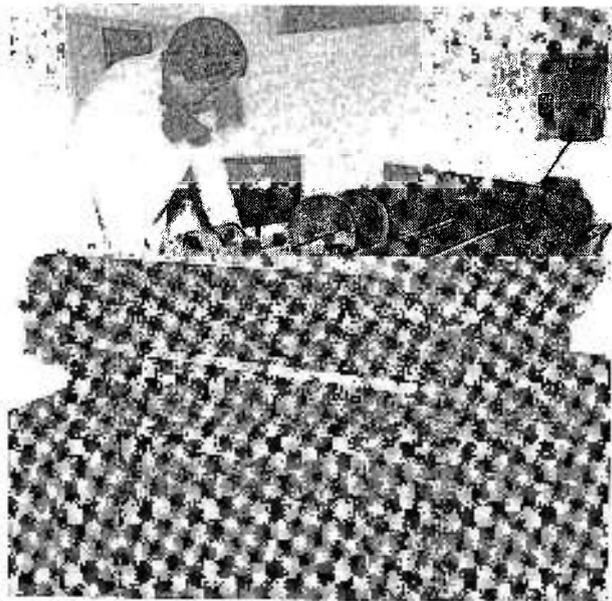


Fig. 2 — Conjunto para o acionamento dos moinhos. O conjunto pode receber de uma vez doze recipientes para a operação de condicionamento, revestidos com borracha.

A fig. 2 mostra o conjunto utilizado para o condicionamento das cargas, instalado em sala independente, fechada, vendo-se três dos recipientes em uso. O conjunto de acionamento foi projetado por um dos autores e construído na oficina do IEA.

A densidade do pó aumenta com o tempo de condicionamento segundo lei assintótica para

atingir valor que depende dos característicos próprios do pó, da velocidade de rotação e da relação carga de bolas/carga de UO_2 . A densidade batida do pó reduzido é de 1,6 g/cm³, aumentando para as condições de condicionamento indicadas para 4,5 g/cm³.

Uma vez concluída a operação de condicionamento, os recipientes são abertos e descarregados, a operação sendo ainda feita na capela, e passada a carga em peneira de 20 malhas por polegada para romper os grumos que acaso se formem durante a operação de condicionamento. Em seguida é feita a adição de 2% de cânfora, que serve como aglomerante da carga de UO_2 na operação de compactação. Em virtude de sua volatilidade, a cânfora é volatilizada logo no início do processo de pré-sinterização das pastilhas. A lubrificação é feita pela incorporação à carga de 0,5% de estearato de zinco.

Compactação das pastilhas — A prensagem da carga para a obtenção das pastilhas é feita em matriz flutuante, colocada em prensa hidráulica, sob esforços de 22 a 28 t.

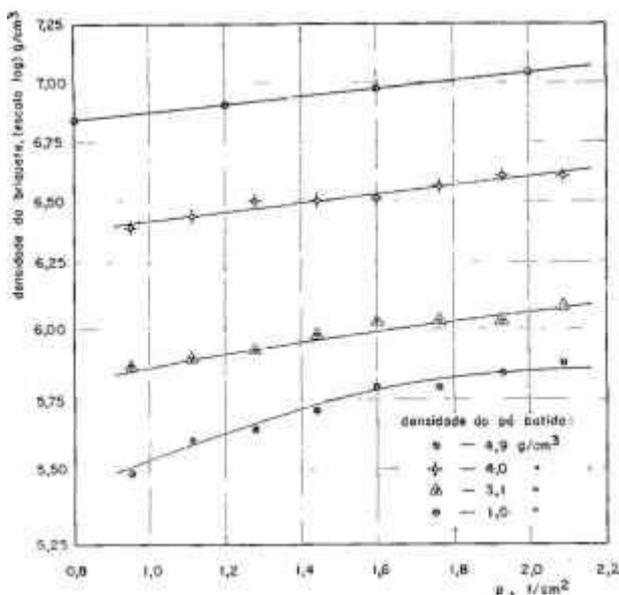


Fig. 3 — Influência da pressão de compactação das cargas condicionadas de pós de UO_2 de diferentes densidades aparentes de pó batido, sobre a densidade aparente das pastilhas de 40,1 mm de diâmetro.

A fig. 3 mostra a influência da pressão de compactação sobre a densidade das pastilhas para pós de diferentes densidades batidas. Conforme se pode verificar, graças às excelentes propriedades dos pós, podem ser obtidas as densidades desejadas à custa de pressões de compactação muito reduzidas (1,75 a 2,25 t/cm²).

A fig. 4 ilustra a montagem adotada para a matriz flutuante e o dispositivo para a retirada da pastilha após sua compactação.

Pré-sinterização — As pastilhas no estado compactado têm densidade de $6,70$ a $6,72$ g/cm³ e após a pré-sinterização, que visa essencialmente

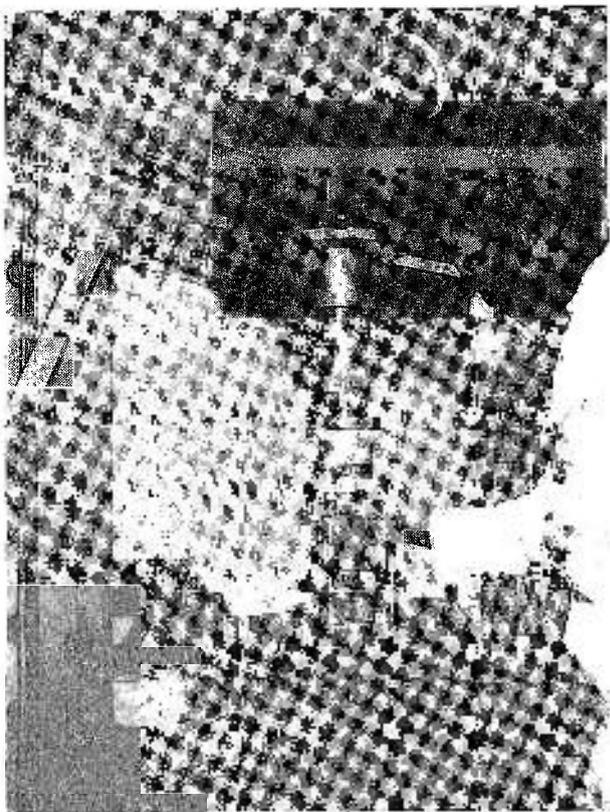


Fig. 4 — Operação de compactação da carga em prensa hidráulica de 100 t de capacidade. A matriz assegura a prensagem em condições perfeitas. Observar o conjunto para a suspensão e retirada da pastilha de 340 g de massa de UO_2 .

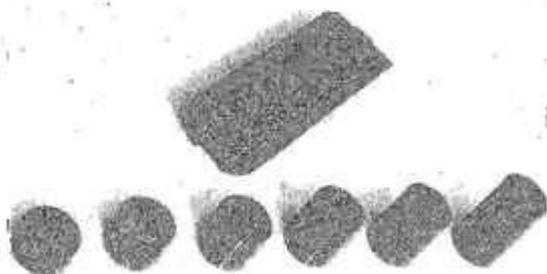


Fig. 5 — Conjunto de pastilhas de 40,1 mm de diâmetro e de diferentes alturas ao lado de um dos botes de grafita utilizados na operação de pré-sinterização.

aumentar a dureza superficial, além de assegurar a eliminação da cânfora, baixa esse valor à faixa especificada, de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³. Nenhuma dificuldade tem sido encontrada, entretanto, na obtenção de densidades mais elevadas, de $6,8$ a $6,9$ g/cm³, à custa de pressões de compactação pouco mais elevadas.

A fig. 5 mostra um dos botes de grafita utilizados no forno de sinterização e um lote de pastilhas de diferentes alturas. As pastilhas são colocadas nos botes sem interposição de outro material, como é a técnica usual no caso da sinterização sob temperaturas elevadas.

A operação é realizada em forno tubular, contínuo, sob atmosfera de argônio, dotado de oito zonas de controle independente de temperatura, e construído pela firma Combustol Ltda. mediante anteprojeto dos autores (fig. 6). Os botes são movimentados continuamente no forno através de um dispositivo empurrador acionado por um servo-mecanismo que assegura variação de velocidade dentro de ampla faixa de valores. Na operação de pré-sinterização das pastilhas para o Re-Suco, a velocidade é ajustada em torno de 60 cm/h, o que assegura uma capacidade de produção de cerca de 100 kg/dia em trabalho contínuo.

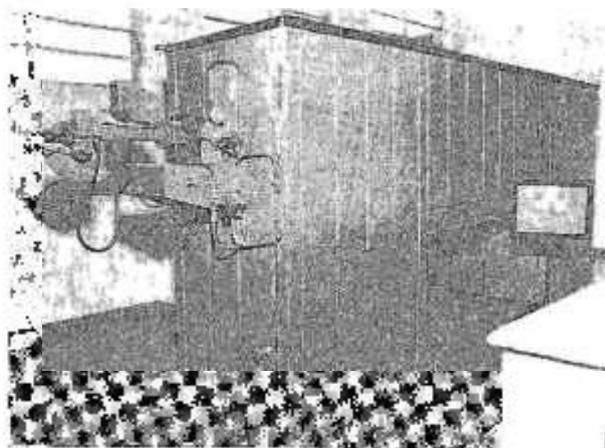


Fig. 6 — Vista do forno contínuo de pré-sinterização, em atmosfera de argônio, dotado de oito zonas de controle independente de temperatura. A fotografia foi tomada do lado da extremidade de carregamento, vendo-se o dispositivo empurrador acionado por servo-mecanismo que permite a variação da velocidade.

A densidade final das pastilhas é de $6,6 \pm 0,1$ g/cm³, com a altura de $39,8 \pm 0,5$ mm. É excelente a reprodutibilidade de resultados dessas propriedades, o que é verificado através de ensaios de controle repetidamente efetuados.

Montagem das pastilhas nos elementos combustíveis — As pastilhas são envoltas em papel de alumínio de 0,1 mm de espessura para facilitar a operação de introdução nos tubos de alumínio.



Fig. 7 — Vista de um dos elementos combustíveis "Re-Suco" antes da solda da tampa (a ser feita sob arco elétrico, em atmosfera de argônio), vendo-se algumas pastilhas já envoltas em lâminas de alumínio de 0,1 mm de espessura e pastilhas pré-sinterizadas, ainda nos bofes provenientes do forno contínuo de pré-sinterização.

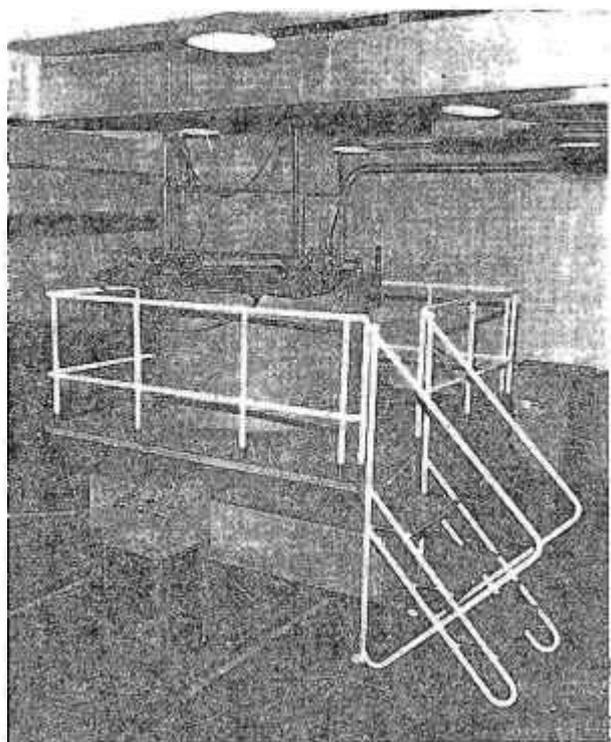


Fig. 8 — Vista do conjunto subcrítico "Re-Suco" em sua instalação provisória, no prédio do reator do IEA. Vê-se o tanque que receberá os 313 elementos combustíveis e o dispositivo para deslocamento do contador entre os elementos combustíveis. O conjunto pode ser deslocado facilmente para funcionamento acoplado com o gerador Van der Graaf.

A fig. 7 mostra um dos elementos combustíveis com o trecho terminal inferior já soldado e com a tampa ainda aberta com as pastilhas, algumas enroladas da forma descrita. Uma vez efetuado o carregamento completo do elemento

combustível, são as extremidades soldadas sob argônio em dispositivo rotativo, a fim de assegurar uniformidade dessas soldas.

A forma adotada para o carregamento facilitará mais tarde o reaproveitamento do urânio das pastilhas quando se tiver de tratar novamente o material.

Contrôle e registros — De tôdas as operações são conservados os registros detalhados de todos os dados de interesse. Cada uma das pastilhas é numerada, sabendo-se em cada um dos elementos combustíveis quais as pastilhas contidas. Todos os dados analíticos, de dimensões, de densidades, etc., são registrados de forma sistemática, mantidos os valores dentro das faixas que os trabalhos experimentais anteriormente desenvolvidos mostraram necessárias para que sejam satisfeitos os valores especificados.

A fig. 8 mostra o conjunto subcrítico "Re-Suco" em sua instalação provisória, no pavimento inferior do prédio do reator IEA-1, vendo-se o tanque no qual são colocados os elementos combustíveis e o dispositivo para a movimentação dos contadores.

4. CONCLUSÕES

1. Os estudos experimentais realizados nos laboratórios da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica permitiram desenvolver o processo de fabricação de pastilhas necessárias para o conjunto subcrítico "Re-Suco" dentro dos característicos impostos pelo projeto desse reator e de forma que as unidades metalúrgicas necessárias à fabricação de quase 2.400 kg de pastilhas de UO_2 pudessem ser construídas localmente.

2. O processo desenvolvido foi descrito em suas operações mais importantes, nas quais foram analisados os detalhes técnicos de maior interesse.

3. A fabricação dos elementos combustíveis está sendo continuada, devendo ser concluída dentro de breves meses e sem prejuízo do andamento simultâneo dos trabalhos de fabricação dos elementos combustíveis para o reator Argonauta.

BIBLIOGRAFIA

1. SOUZA SANTOS, T. D., BARCELLOS LEITE, P. L. e SIMÕES LOPES, I. — *Produção de pastilhas de UO_2 de alta densidade a partir de dióxido de amônio*. Trabalho apresentado ao III Simpósio Interamericano de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 1960 (a ser publicado).

2. SOUZA SANTOS, T. D., BIDWELL, R. M., HAYDT, H. M., FREITAS, C. T. e PEREIRA DA SILVA, P. S. C. — *Organização e realizações da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica*. ABM-Boletim Ass. Bras. Met., vol. 19, nº 77, págs. 579-586, 1963. (Publicação nº 62 IEA).
3. PEREIRA DA SILVA, P. S. C., FREITAS, C. T. e SOUZA SANTOS, T. D. — *Contrôle dimensional de pastilhas de urânio para o reator "Re-Suco"*. AEM-Boletim, vol. 19, nº 85, págs. 759-770, 1964.
4. SOUZA SANTOS, T. D., BIDWELL, R. M., HAYDT, H. M., FREITAS, C. T. e PEREIRA DA SILVA, P. S. C. — *Estudo experimental das principais variáveis para o programa de produção de pastilhas de UO_2 para o reator subcrítico "Re-Suco"*. ABM-Boletim, vol. 19, nº 85, págs. 771-784, 1964.
5. SOUZA SANTOS, T. D., HAYDT, H. M. e FREITAS, C. T. — *Developments in Fuel Fabrication for Research Reactors in Brazil*. Trabalho apresentado na III Conferência Mundial sobre as Aplicações Pacíficas da Energia Atômica, Genebra, agosto-setembro de 1964.