



**COMPACTAÇÃO A QUENTE DE  $UO_2$ - $PuO_2$**

*C. T. DE FREITAS, J. E. AYER e E. J. PETKUS*

**PUBLICAÇÃO IEA N.º 225**  
Novembro — 1970

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

COMPACTAÇÃO A QUENTE DE  $UO_2$ - $PuO_2$ \*

C.T. de Freitas

J.E. Ayer

E.J. Petkus

Divisão de Metalurgia Nuclear

Instituto de Energia Atômica

São Paulo - Brasil

Publicação IEA Nº 225

Novembro - 1970

---

\* Separata de "METALURGIA - REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS", vol. 26, nº 148, março, p. 183-187, 1970.

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof.Dr. Hervásio Guimarães de Carvalho

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof.Dr. Miguel Reale

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof.Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof.Dr. José Augusto Martins		
Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco		
Prof.Dr. Theodoreto H.I. de Arruda Souto	}	pela CNEN

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -  
Chefe: Prof.Dr. José Goldenberg

Divisão de Radioquímica -  
Chefe: Prof.Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -  
Chefe: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -  
Chefe: Prof.Dr. Tharcísio D.S. Santos

Divisão de Engenharia Química -  
Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -  
Chefe: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -  
Chefe: Engº Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -  
Chefe: Prof.Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -  
Chefe: Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco

Divisão de Física do Estado Sólido -  
Chefe: Prof.Dr. Shiguo Watanabe

# COMPACTAÇÃO A QUENTE DE $UO_2$ - $PuO_2$ <sup>(1)</sup>

C. T. DE FREITAS <sup>(2)</sup>

J. E. AYER <sup>(3)</sup>

E. J. PETKUS <sup>(3)</sup>

## RESUMO

*Descrevem-se os estudos de compactação a quente, na faixa de 1000 a 1500°C, de misturas constituídas de 85%  $UO_2$  - 15%  $PuO_2$ . As operações foram realizadas em matrizes de grafita sob pressões variáveis entre 110 e 290 kg/cm<sup>2</sup>. Foi determinada a influência da temperatura sobre o recalque (diminuição de altura) e sobre a densidade. A maior velocidade de recalque encontrada ocorreu a 930°C para a mistura de óxidos que foi estudada.*

*Foram produzidas placas quadradas de 19 mm de lado e discos de 25,4 mm de diâmetro. Foram feitas com êxito operações de compactação múltipla a quente, de três placas em cada vez. Muito embora as matrizes utilizadas fossem de grafita, absorção de carbono nas placas compactadas a quente foi em geral inferior a 500 ppm. O estudo ceramográfico mostrou que a distribuição do carbono ocorria principalmente próximo à superfície das amostras. O valor da relação oxigênio/metal dos óxidos baixou um pouco durante as operações de compactação. Os maiores valores da densidade, de 95% da densidade teórica, foram obtidos para operação a 1500°C durante 30 minutos e sob pressão de 270 kg/cm<sup>2</sup>. Os estudos ceramográficos evidenciaram que pode ser obtida boa homogeneidade na mistura  $UO_2$ - $PuO_2$ .*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma parte importante do desenvolvimento do Reator Multiplicador Rápido, de Metal Líquido (LMFBR: Liquid Metal Fast Breeder Reactor), no Argonne National Laboratory, é dedicada aos estudos de física de reatores. Para esses estudos, foi construído um reator de plutônio, de potência zero (ZPPR: Zero Power Plutonium Reactor). Os elementos combustíveis para esse reator consistem em placas prismáticas retangulares de liga U-Pu-Mo, com revestimento de aço inoxidável, de tipo 304.

Presentemente o objetivo de emprêgo de combustíveis de óxido para o LMFBR acarretou a necessidade de dados físicos específicos referentes às composições dos óxidos. A influência desses combustíveis de óxido será determinada em experiências nas quais os elementos serão dispostos em zonas, utilizando placas que conservam a semelhança geométrica, contendo porém  $UO_2$ - $ThO_2$ . As especificações quanto às dimensões das placas contendo óxido como combustível exigem um mí-

nimo de espaço entre o combustível e o revestimento, bem como tolerâncias muito estritas quanto à superfície dessas placas, que deve ser plana, além de estequiometria controlada e determinando teor máximo de impurezas.

Embora se possa produzir os núcleos do combustível pelo processo habitual, de compactação a frio seguida de sinterização, esse processo compreende muitas etapas e além disso não se presta para garantir as tolerâncias exigidas quanto ao tamanho e à forma. Por essas razões, considerou-se a compactação a quente como uma alternativa para o processo de fabricação.

Em virtude da falta de dados publicados sobre a compactação a quente de misturas de  $UO_2$ - $PuO_2$ , iniciaram os autores estudo paramétrico para determinar os efeitos de tempo (t), pressão (P) e temperatura (T) sobre os valores da densidade final no estado compactado ( $D_E^*$ ). Nessas condições, puderam definir as faixas de temperatura e de pressão para que fossem atingidos determinados valores da densidade.

## 2. EXAME DA LITERATURA E EXPERIÊNCIA EM $UO_2$

Não foi encontrada nenhuma referência na literatura consultada sobre a compactação a quente de misturas de  $UO_2$ - $PuO_2$ . Entretanto, existe razoável quantidade de dados sobre compactação de  $UO_2$  a quente. Muito embora não possa esse óxido ser considerado como análogo à mistura

(1) Contribuição Técnica n.º 858. Apresentada ao XXIV Congresso Anual da ABM; São Paulo SP; julho 1969. Este trabalho foi realizado no «Argonne National Laboratory», Argonne, Illinois, Estados Unidos, sob os auspícios da «United States Atomic Energy Commission».

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; da Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica; presentemente «Resident Associate Engineer» Argonne National Laboratory; Argonne, Illinois.

(3) Engenheiros; da Division of Metallurgy, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois.

$UO_2$ -15%  $PuO_2$ , existem algumas semelhanças entre eles que justificam o estudo dos resultados obtidos anteriormente para  $UO_2$ .

Em particular, o resultado da compactação a quente de  $UO_2$  define o limite superior das composições  $UO_2$ - $PuO_2$  quando a concentração de  $PuO_2$  for nula. Nessas condições, as condições de contorno podem ser determinadas, permitindo que se possa fazer uma previsão quanto às propriedades intermediárias, por interpolação.

Na Armour Research Foundation obtiveram-se peças de  $UO_2$  por compactação a quente a  $1650^\circ C$  sob pressão de  $1200 \text{ kg/cm}^2$  (1). Os valores obtidos da densidade corresponderam a cerca de 95% da densidade teórica utilizando uma prensa a quente que consistia essencialmente em matriz de grafita, forno de indução de alta frequência e uma prensa hidráulica. O trabalho desses autores mostrou que os melhores resultados foram obtidos quando a pressão era aplicada rapidamente e de modo contínuo logo que a temperatura desejada era atingida. Os êmbolos de grafita ou os compactados de  $UO_2$  partiram-se quando a aplicação da pressão era interrompida no ciclo de compactação a quente.

Pressões relativamente baixas podem ser empregadas para compactar  $UO_2$  não-estequiométrico para valores de densidade equivalentes aos obtidos com  $UO_2$  estequiométrico. Murray e colaboradores (2, 3) verificaram que  $UO_{2,13}$  pode ser compactado a quente a densidades de 72% da densidade teórica a temperaturas apenas de  $1000^\circ C$ . Densidades da ordem de 91% foram obtidas a  $1400^\circ C$ , decrescendo o valor da densidade dessa temperatura até  $1800^\circ C$ . A partir de  $1800^\circ C$  a densidade aumenta de novo, embora menos marcadamente, a cerca de 96%; deve ser observado entretanto que as peças obtidas a essas temperaturas são frágeis e quebradiças e geralmente se partem ao serem extraídas da matriz. As experiências realizadas mostraram que as camadas externas eram reduzidas à proporção estequiométrica, em virtude da reação da grafita com o óxido. O fendilhamento subsequente resultava de composições não uniformes.

Utilizando uma matriz revestida com alumina, Amato e colaboradores (4) mostraram que  $UO_{2,00}$  pode ser compactado a quente a 93,2% da densidade teórica a  $1200^\circ C$  e sob  $420 \text{ kg/cm}^2$ .

Em estudos preliminares no Argonne National Laboratory, compactação múltipla de  $UO_{2,00}$  a quente foi conseguida na faixa de  $1400$  a  $1600^\circ C$  em 30 minutos de manutenção da pressão, sob  $150 \text{ kg/cm}^2$  (5). A técnica de compactação múltipla permitiu obter em uma única operação 11 peças. A densidade média das placas obtidas foi de 89% da densidade teórica a  $1600^\circ C$ .

Com referência à literatura disponível, concluíram os autores que a compactação a quente de  $UO_2$  é possível para faixa bastante ampla de

temperaturas e de pressões. Admitindo que  $UO_2$  hiper-estequiométrico seja material de comportamento análogo ao das misturas previstas, parece razoável fixar na faixa de  $800$  a  $1800^\circ C$  as temperaturas a serem utilizadas, variando as pressões entre  $140$  a  $420 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

*A — Aparelhamento e Método de Trabalho:*  
A unidade de compactação a quente utilizada nas experiências consistia essencialmente em um forno de resistência montado em volta a prensa hidráulica de um só pistão, instalada em glovebox cheia de nitrogênio, na instalação de fabricação de combustíveis plutonígenos do Laboratório Nacional de Argonne. Nas experiências iniciais, matrizes e êmbolos de grafita foram utilizadas em virtude de sua resistência em elevadas temperaturas, facilidade de usinagem e custo relativamente baixo. Para a determinação da função  $D_E = f(T, P)$ , foram feitas experiências de uma única amostra de cada vez, na faixa de temperaturas de  $1000$  a  $1400^\circ C$ . Em trabalhos subsequentes utilizou-se compactação múltipla, utilizando matrizes de secção circular de  $25,4 \text{ mm}$  (1") de diâmetro e quadrada de  $19 \text{ mm}$  de lado, construídas

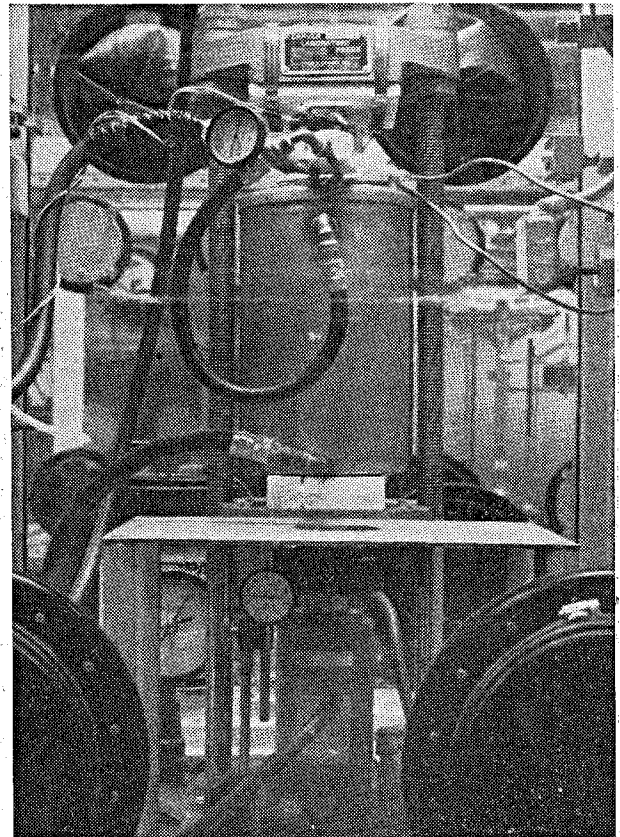


Fig. 1 — Aparelhamento para compactação a quente, instalado em «glovebox» para trabalho com plutônio.

TABELA I — Característicos dos pós de  $UO_2$  e de  $PuO_2$  empregados nas operações de compactação a quente

Característico	$UO_2$		$PuO_2$
	Designação TF-1	Designação TF-4	
Tamanho da partícula microns (Fisher) .....	1,20	1,04	
Oxigênio, % .....	12,49	12,42	12,38
Metal, % .....	87,85	87,46	87,74
Oxigênio/metal (relação atômica) .....	2,11	2,11	2,11
Nitrogênio, ppm .....	90	150	
Carbono, ppm .....		85	245

de grafita classe ATJ. As camadas eram separadas por peças de grafita ATJ. Dessa forma, três peças eram compactadas a quente na mesma operação. A figura 1 mostra a fotografia desse aparelhamento para prensagem a quente.

A prensa para compactação a quente é dotada de um par termo-elétrico ligado a controlador-indicador e pode manter a temperatura em torno de  $10^\circ C$  da desejada. Durante uma experiência a pressão é mantida manualmente e lida num manômetro indicador tipo Bourdon. O recalque é medido por meio de um deflectômetro, fixado ao prato inferior da prensa. Esse deflectômetro permite leitura de 0,2 mm (0,001").

Uma experiência típica de compactação a quente para uma única placa é realizada colocando 40 g de mistura de  $UO_2$  com 15%  $PuO_2$  no espaço da matriz, e colocando os êmbolos em seguida. A figura 2 mostra uma matriz ATH e seus êmbolos. O conjunto é submetido a pressão de  $35 \text{ kg/cm}^2$  para facilitar a manipulação e carregada em seguida no espaço do forno. A prensa é fechada e uma força pré-determinada é em seguida exercida por meio da bomba hidráulica. O indicador do deflectômetro é ajustado em zero e iniciado em seguida o ciclo de aquecimento. Tô-

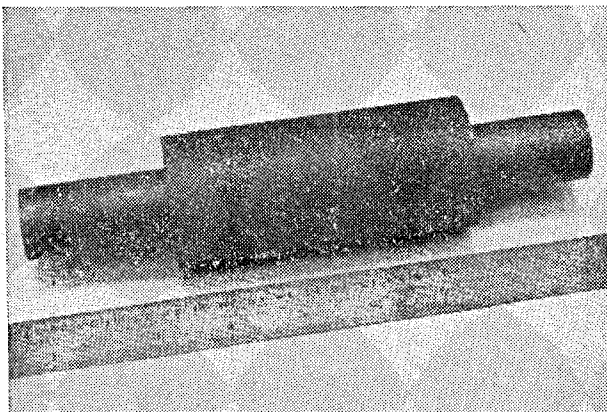


Fig. 2 — Matriz de grafita ATJ para compactação a quente, com os êmbolos colocados.

das as operações foram realizadas para ciclos determinados de temperatura e de tempo. A pressão nas prensas de efeito simples é mantida continuamente durante todo o ciclo de compactação a quente. À medida que a temperatura aumenta, começa a se notar recalque. A amostra é mantida durante a temperatura máxima e sob pressão constante durante um espaço de tempo pré-determinado. Os autores observaram que no máximo cerca de dez minutos à temperatura é suficiente para reduzir o recalque praticamente a zero.

Uma vez mantida à temperatura e à pressão desejadas e pelo tempo desejado, é diminuída gradativamente a potência do forno. Quando a matriz no resfriamento atingiu temperatura próxima da ambiente (cerca de uma hora), os pratos de prensão são afastados e a matriz é retirada do forno. A amostra é extraída da matriz e determinam-se, em seguida, sua espessura, largura (ou diâmetro), altura e densidade. Observam-se com atenção variações na espessura bem como irregularidades que possam existir na superfície. Para análises químicas, retiraram-se amostras depois da fragmentação dos corpos de prova e pulverização e homogeneização do pó resultante.

**B — Característicos dos Materiais:** Dois tipos de óxidos de urânio empobrecido foram utilizados: um designado TF-1, óxido obtido por oxidação-redução, no próprio Argonne National Laboratory, e outro, designado TF-4, pó para fins cerâmicos, de produção comercial, da firma Kerr-McGee. O  $PuO_2$  foi produzido por redução do oxalato à temperatura de  $750^\circ C$ . A tabela I engloba os dados característicos desses pós.

Os óxidos descritos foram misturados utilizando-se um misturador em V movido manualmente, e em cargas de cerca de 70 g. A tabela II reúne os resultados de análises químicas efetuadas sobre amostras pesando cerca de 0,5 g entre localizações distintas de uma carga. As flutuações máximas constatadas foram de 0,3% para urânio e de 0,96% para plutônio. As flu-

TABELA II — Análises dos teores metálicos de  $UO_2$ - $PuO_2$  misturados manualmente

Amostra n.º	U			Pu			Metal total %	U/Pu
	Determi- nação A %	Determi- nação B %	Valor médio %	Determi- nação A %	Determi- nação B %	Valor médio %		
1	74,63	74,93	74,78	13,01	13,97	13,49	88,27	5,55
2	74,16	74,01	74,08	12,69	12,61	12,65	86,73	5,86
3	74,44	74,66	74,55	12,81	12,81	12,81	87,16	5,79
média								5,73

tuações correspondentes para as amostras retiradas foi de 0,43% para úrânio e 0,68% para plutônio. O valor médio da relação urânio/plutônio é 5,73 : 1, que constitui o objetivo visado. Esse resultado foi considerado suficiente para justificar a mistura manual dos óxidos para os estudos de determinação dos principais parâmetros de maior interesse. Esses resultados, entretanto, não satisfazem aos requisitos de homogeneidade, bastante mais apertados, necessário para as placas destinadas a realização de experiências de física de reatores.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

A — *Densificação e Recalque*: Uma série de 18 corpos de prova foi preparada visando correlacionar a densidade final da placa produzida com a temperatura e com a pressão utilizadas durante

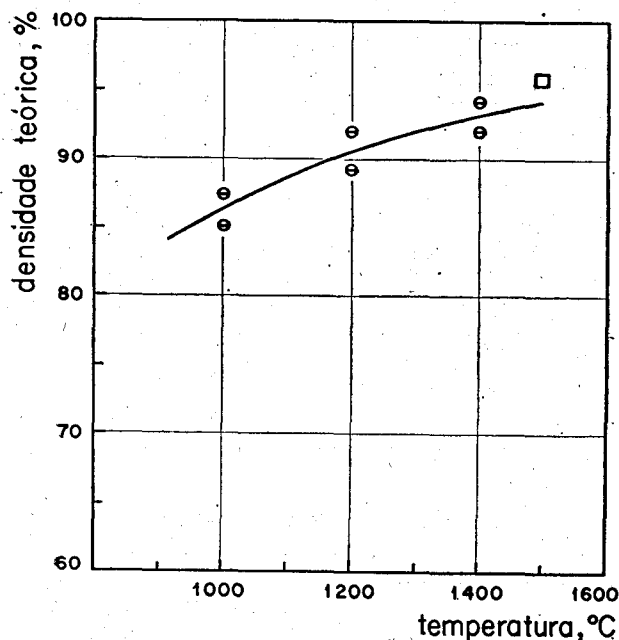


Fig. 3 — Variação da densidade com a temperatura para  $UO_2$ -15%  $PuO_2$  compactado a quente.

a compactação a quente. Os resultados de sete desses corpos de prova estão representados na figura 3, de variação da densidade em função da temperatura, para compactação realizada sob pressão constante de 270 kg/cm<sup>2</sup>, em corpos de prova de 25,4 mm de diâmetro, de misturas de  $UO_2$  com 15% de  $PuO_2$ . Em temperatura de 1400°C foram obtidas densidades correspondentes a 93% do valor da densidade teórica.

Foi realizada uma operação na qual se compactou simultaneamente três placas de secção quadrada, a 1500°C sob 270 kg/cm<sup>2</sup> e durante 30 minutos. Os resultados dessa operação estão representados com o símbolo indicativo na figura já referida. Esses corpos de prova corresponderam a 95,75% do valor da densidade teórica e a variação de espessura encontrada foi de  $\pm 0,5\%$ . A figura 4 mostra um disco de secção circular e uma das três placas de base quadrada obtidas na operação de compactação múltipla.

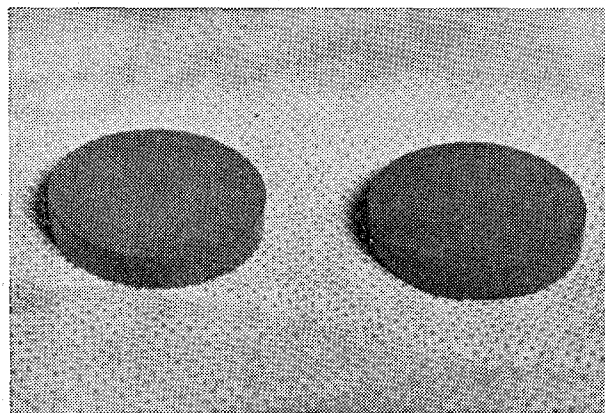


Fig. 4 — Discos de 25,4 mm de diâmetro de  $UO_2$ -15%  $PuO_2$ , obtidas por compactação a quente.

Algumas informações referentes aos valores relativos dos parâmetros de adensamento podem ser tiradas dos estudos de recalque dos corpos de prova durante a prensagem. A figura 5 repre-

senta os recalques e as velocidades de recalque em função da temperatura, para três operações de compactação a quente realizadas a 1000, 1200 e 1400°C. Visto como foi mantido constante em tôdas as experiências o ciclo de temperatura em função do tempo, as curvas de recalque são as mesmas para cada operação. Dessa curva pode ser evidenciado que cêrca de 75% do adensamento tem lugar a cêrca de 1000°C. A derivada da curva em relação ao tempo, que é a velocidade de recalque, mostra que o maior valor ocorre a cêrca de 930°C. Mostram as curvas que não há vantagens em se empregar temperaturas acima de 1100°C, do ponto de vista de aumento de densidade. A importância de se empregar temperaturas acima de 1100°C resulta de se necessitar altas densidades nos corpos compactados, acima de 95%.

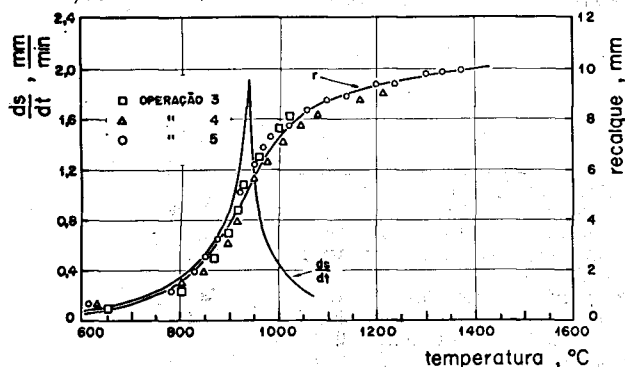


Fig. 5 — Recalque em função da temperatura para UO<sub>2</sub>-15% PuO<sub>2</sub> compactado a quente.

**B — Resultados de Análises Químicas:** A tabela III reúne resultados típicos obtidos em amostras de placas compactadas a quente. O efeito da compactação a quente consiste em variação da estequiometria e aumento do teor de carbono. A variação da estequiometria se traduz por diminuição da relação oxigênio/metal para material hiper-estequiométrico submetido a compactação a quente a 1000 até 1400°C. No momento não fizeram os autores quaisquer tentativas para distinguir os efeitos decorrentes de decomposição térmica daqueles que resultam de redução carbotérmica. A absorção média de carbono durante a compactação a quente das placas foi de 260 ppm. Muito embora deva ser esperado que a carbonetação seja influenciada pelo aumento de tempera-

TABELA III — Análises químicas de placas prensadas a quente em matrizes de grafita ATF

operação	designação UO <sub>2</sub>	temperatura °C	tempo min.	pressão kg/cm <sup>2</sup>	U %	Pu %	U/Pu	O %	U/Pu molar	U/PuO <sub>2</sub>	C ppm
3	TP-1	1000	30	270	74,8	12,93	5,77	12,00	2,04	99,7	460
4	TP-1	1200	30	270	74,6	12,84	5,80	11,90	2,02	99,3	460
5	TP-1	1400	30	270	74,5	12,75	5,85	12,26	2,09	99,6	460
6	TP-1	1200	30	180	74,9	12,87	5,83	12,20	2,07	100,0	-
8	TP-4	1200	30	180	74,6	12,66	5,89	12,15	2,06	99,6	206
9	TP-4	1200	5	180	74,1	13,38	5,54	12,10	2,06	99,6	148
médias					74,6	12,9	5,78	12,1	2,06	99,6	370

tura e de tempo, êsses efeitos não se tornaram aparentes dos resultados experimentais obtidos.

**C — Estudos Ceramográficos:** Estudos ceramográficos de caráter preliminar executados pelos autores mostraram que a espessura da zona na qual é maior a concentração de carbono é de cêrca de 130 microns. Embora ainda estejam sendo continuados êsses estudos, as observações mostraram que não é profunda a interação entre grafita e UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub>, para temperaturas em tôrno de 1200°C. Foram estudadas as micrografias para julgar da integridade das pastilhas compactadas a quente, não tendo sido encontrada nenhuma evidência de trincas ou de existência de soluções de continuidade ou vazios normais.

5. CONCLUSÕES

1. Foram produzidos com êxito discos e placas de secção quadrada de misturas de UO<sub>2</sub> com 15% PuO<sub>2</sub>, por compactação a quente em temperaturas entre 1000 e 1400°C, sob pressão de 270 kg/cm<sup>2</sup>, e durante tempos entre 5 e 30 minutos.

2. Podem ser obtidos valores de densidade que correspondem até a 91% da densidade teórica para a operação realizada a 1200°C durante 30 minutos e sob pressão de 270 kg/cm<sup>2</sup>.

3. É possível se compactar simultaneamente várias camadas de misturas UO<sub>2</sub>-15% PuO<sub>2</sub> para fornecer pastilhas cuja variação de espessura não passa de 0,5%.

4. A maior velocidade de adensamento para compactação a quente de cargas de UO<sub>2</sub> com 15% PuO<sub>2</sub> sob 270 kg/cm<sup>2</sup> ocorre a cêrca de 930°C. Êsse valor, entretanto, depende dos característicos iniciais do pó e provêlmente deve variar para pós de diferentes valores de superfície específica, tamanho de partícula e forma de grão.

BIBLIOGRAFIA

1. *Uranium Dioxide: Properties and Nuclear Applications*. Edited by J. Belle. Naval Reactors, Division of Reactor Development, USAEC, p. 130, 1961.
2. PUGH, S. F.; MURRAY, P. & WILLIAMS, J. — "Uranium Dioxides as a Reactor Fuel" in *Fuel Elements Conference*, Paris, TID-7546, p. 432-441, 1958.
3. MURRAY, P.; LIVEY, D. T. & WILLIAMS, J. — "The Hot Pressing of Ceramics" in *Ceramic Fabrication Process*, W. D. Kingery, ed., p. 147-171, John Wiley and Sons, New York, 1958.
4. AMATO, I.; COLOMBO, R. L. & PETRUCCIOLI BALZARI, A. M. — "Hot-Pressing of Uranium Dioxide", *Journal of Nuclear Materials*, v. 20, p. 210-214, 1966.
5. DUSEK, J. T.; WHITE, G. D. & FREITAS, C. T. — "Multispécimen Hot-Pressing of UO<sub>2</sub>" in *Materials Technology — An Interamerican Approach*. Published by The American Society of Mechanical Engineers, New York, p. 133-135, 1968.

## A B S T R A C T

Studies of 85%  $UO_2$  - 15%  $PuO_2$  hot pressing in the 1000 to 1500°C temperature range are described. The operations were developed in graphite dies at variable pressures between 110 and 290  $kg/cm^2$ . The temperature influence on subsidence and density was determined. For the oxide mixture considered, the largest subsidence rate was found at 930°C.

19 mm side square plates and 25,4 mm diameter discs were produced. Three plates multispecimen hot pressing were performed successfully. In spite of the graphite die utilization, the carbon absorption in the hot pressed plates was generally under 500 ppm. The ceramographic study showed that the carbon was distributed principally near the samples surface. The oxides oxygen/metal ratio decreased somewhat during the pressing operations. The largest density values, corresponding to 95% of the theoretical value, were obtained for a operation developed at 1500°C for 30 minutes, at 270  $kg/cm^2$  pressure. Ceramography showed that good  $UO_2$ - $PuO_2$  mixture homogeneity can be obtained.

## R E S U M É

On décrit les études de compactage à chaud, dans la gamme de 1000 à 1500°C, de mélanges constitués de 85%  $UO_2$ - 15%  $PuO_2$ . Les opérations ont été réalisées dans les matrices de graphite sous une pression variant entre 110 et 290  $kg/cm^2$ . L'influence de la température sur le retrait (diminution de hauteur) et sur la densité a été déterminée. La plus grande vitesse de retrait a été rencontrée à 930°C pour le mélange des oxydes qui fut étudié.

On a produit des plaques carrées de 19 mm de côté et des disques de 25,4 mm de diamètre. On a effectué avec succès des opérations de compactage multiple à chaud avec trois plaques à chaque fois. Quoique les matrices utilisées soient en graphite, l'absorption de carbone dans les plaques compactées à chaud fut en général inférieure à 500 ppm. L'étude ceramographique a montré que la distribution du carbone se produisait principalement au voisinage de la superficie des échantillons. Le valeur du rapport oxygène/métal des oxydes a un peu baissé durant les opérations de compactage. Les plus grandes valeurs de la densité, 95% de la densité théorique, ont été obtenues avec contrairement à 1500°C durant 30 minutes sous une pression de 270  $kg/cm^2$ . Les études ceramographiques ont mis en évidence que l'on peut obtenir une bonne homogénéité dans le mélange  $UO_2$ - $PuO_2$ .

## R E S U M E N

Se describen los estudios de compactación a elevada temperatura, en la faja de 1000 a 1500°C, de mezclas constituidas de 85%  $UO_2$ - 15%  $PuO_2$ . Las operaciones fueron realizadas en matrices de graphite sobre presiones variables entre 110 a 290  $kg/cm^2$ . Fue determinada la influencia de la temperatura sobre el frenado (disminución de altura) y sobre la densidad. La mayor velocidad de frenado encontrada fue en 930°C para la mezcla de óxidos que fue estudiado.

Fueron producidas placas cuadradas de 19 mm de lado y discos de 25,4 mm de diámetro. Fueron hechas con éxito operaciones de compactación múltiple a elevada temperatura, de tres placas por vez. Aunque las matrices utilizadas fueron de graphite, la absorción del carbono en las placas compactadas a elevada temperatura fue en general inferior a 500 ppm. El estudio ceramográfico mostró que la distribución del carbono ocurría principalmente próximo a la superficie de las muestras. El valor de la relación oxígeno/metal de los óxidos bajó un poco durante las operaciones de compactación. Los mayores valores de la densidad, de 95% de la densidad teórica, fueron obtenidos para operar a 1500°C durante 30 minutos y sobre presión de 270  $kg/cm^2$ . Los estudios ceramográficos pusieron en evidencia que puede ser obtenida buena homogeneización en la mezcla  $UO_2$ - $PuO_2$ .