

BR 8817909

ISSN 0101-3084

CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

**METODOLOGIA PARA O CONTROLE DA ATMOSFERA INTERNA
DE VARETAS COMBUSTÍVEIS NUCLEARES**

Oscar Vega e Kengo Imakuma

PUBLICAÇÃO IPEN 131

ABRIL/1988

SÃO PAULO

PUBLICAÇÃO IPEN 131

ABRIL/1988

**METODOLOGIA PARA O CONTROLE DA ATMOSFERA INTERNA
DE VARETAS COMBUSTÍVEIS NUCLEARES**

Oscar Vega e Kengo Imakuma

DEPARTAMENTO DE PROCESSOS ESPECIAIS

CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO - BRASIL

Série PUBLICAÇÃO IFEN

INIS Categories and Descriptors

E32.00

PWR TYPE REACTORS

FUEL RODS

FABRICATION

GAS ANALYSIS

METODOLOGIA PARA O CONTROLE DA ATMOSFERA INTERNA DE VARETAS COMBUSTÍVEIS NUCLEARES

Oscar Vega e Kengo Imakuma

RESUMO

No presente trabalho é descrito um método de controle analítico dos gases extraídos do interior das varetas combustíveis dos reatores tipo PWR. São apresentados as diferentes etapas de fabricação das varetas combustíveis e também o sistema de extração de gases do interior das mesmas.

A análise é destrutiva e faz parte dos requisitos de controle de qualidade (CQ) de varetas combustíveis, referente ao item gás de enchimento.

A METHODOLOGY FOR CONTROL OF INTERNAL GASES OF THE NUCLEAR FUEL PINS

ABSTRACT

A method for the analytical control of the gas extracted from the interior of the PWR type nuclear fuel rod is described. The different steps involved in the fabrication of the fuel rods as well as the gas extraction system are described.

The analysis is destructive and forms a part of the quality programme of fuel rods with reference to the filling gases.

INTRODUÇÃO

Descreve-se um método de análise qualitativa e quantitativa da atmosfera interna das varetas combustíveis para reatores tipo PWR produzido pela Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC) Nuclebrás.

Este trabalho foi realizado sob encomenda da Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC) da Nuclebrás, sob supervisão da KWU, diante da necessidade de qualificar um laboratório e a metodologia de controle do gás interno de varetas combustíveis para evitar que este item de CQ tivesse que ser realizado fora do país.

As varetas combustíveis, fabricadas a partir de zircaloy-4, são cilíndricas e tem diâmetro de 10,00mm, parede de 1mm e comprimento de 4,0m aproximadamente (ver Figura 1).

Para a montagem das varetas, os tubos de zircaloy são lavados em freon líquido; em uma das extremidades é soldado o 1º tampão de zircaloy. Esta solda é elétrica, realizada num equipamento especial por meio do qual é controlada uma atmosfera constante de argônio, monitorando-se também o seu teor de umidade. A característica desse argônio é cerca de 99,99% de pureza, apresentando como impurezas, a níveis de ppm/V, de N_2 , H_2 , O_2 , H_2O , compostos de carbono e gases nobres (Xe, Kr, Ne). A seguir, os tubos são carregados com o combustível (pastilhas de UO_2), isolantes (pastilhas de Al_2O_3), molas de aço inox e espaçador (ver Figura 1).

Para a realização da solda do 2º tampão, a vareta é preenchida com uma atmosfera de argônio com a mesma especificação anterior; este tampão possui um orifício ou fenda de 1mm de diâmetro. Após este procedimento de solda, o argônio é extraído do interior da vareta acionando-se um sistema de vácuo de aproximadamente 10^{-3} Torr durante 2 minutos, através da fenda do 2º tampão. Segue-se a etapa do preenchimento de gás hélio com as seguintes características: aproximadamente 99,99% de pureza, apresentando impurezas de N_2 , O_2 , H_2O , compostos de carbono e gases nobres restantes de Xe, Kr e Ne, em níveis de ppm/V. O preenchimento do gás hélio dentro da vareta é realizado, via fenda do 2º tampão, com a soldagem desta fenda, sob uma pressão da ordem de 20 bar de hélio dentro da câmara de soldagem.

O controle da qualidade das varetas combustíveis é executada segundo o seguinte plano de verificação e testes:

- a) raios X segundo a especificação da ASTM E-142;
- b) testes destrutivos de penetração segundo a ASTM E-3, poros e inclusões segundo ASTM E-3 e análise do gás dentro das varetas, segundo um método qualificado;
- c) teste de contaminação;
- d) dimensão final;
- e) peso;
- f) enriquecimento;
- g) testes de vazamentos; e
- h) inspeção visual.

A análise do gás de enchimento é um dos itens que a FEC-Nuclebrás não dispunha de instrumentação necessária para a sua execução.

Assim, o IPEN, através do laboratório de gases, foi solicitado para executar esta etapa de controle da qualidade; de acordo com o procedimento de garantia da qualidade da FEC, o laboratório de gases se submeteu ao procedimento de qualificação do método e do laboratório. A metodologia de análise, desenvolvida na ocasião é descrita neste trabalho.

INSTRUMENTAÇÃO

O equipamento utilizado para a análise do gás interno das varetas combustível consiste em 3 unidades (ver Figura 2) que são: 1. Unidade de extração dos gases da vareta combustível; 2. Unidade de transferência dos gases; 3. Unidade de análise dos gases. Todas as unidades estão acopladas a um sistema de alto vácuo. A unidade de extração dos gases consiste de um dispositivo construído em aço inox (ver Figura 3) onde é acoplada a vareta combustível. A mesma possui um sistema de purificação que consiste num parafuso de terminação puntual e um sistema de escape dos gases para a unidade de transferência. A unidade de transferência dos gases (ver Figura 2) constitui-se de 2 válvulas esféricas, 2 válvulas tipo "stopcock", 3 válvulas de retenção, uma válvula molecular, um trap (resfriado à 96°), um balão de expansão, um recipiente de volume conhecido, um termopar, e um íon gauge. A unidade de análise dos gases consiste de um espectrômetro de massa tipo quadrupolo, marca Varian modelo VGA-100.

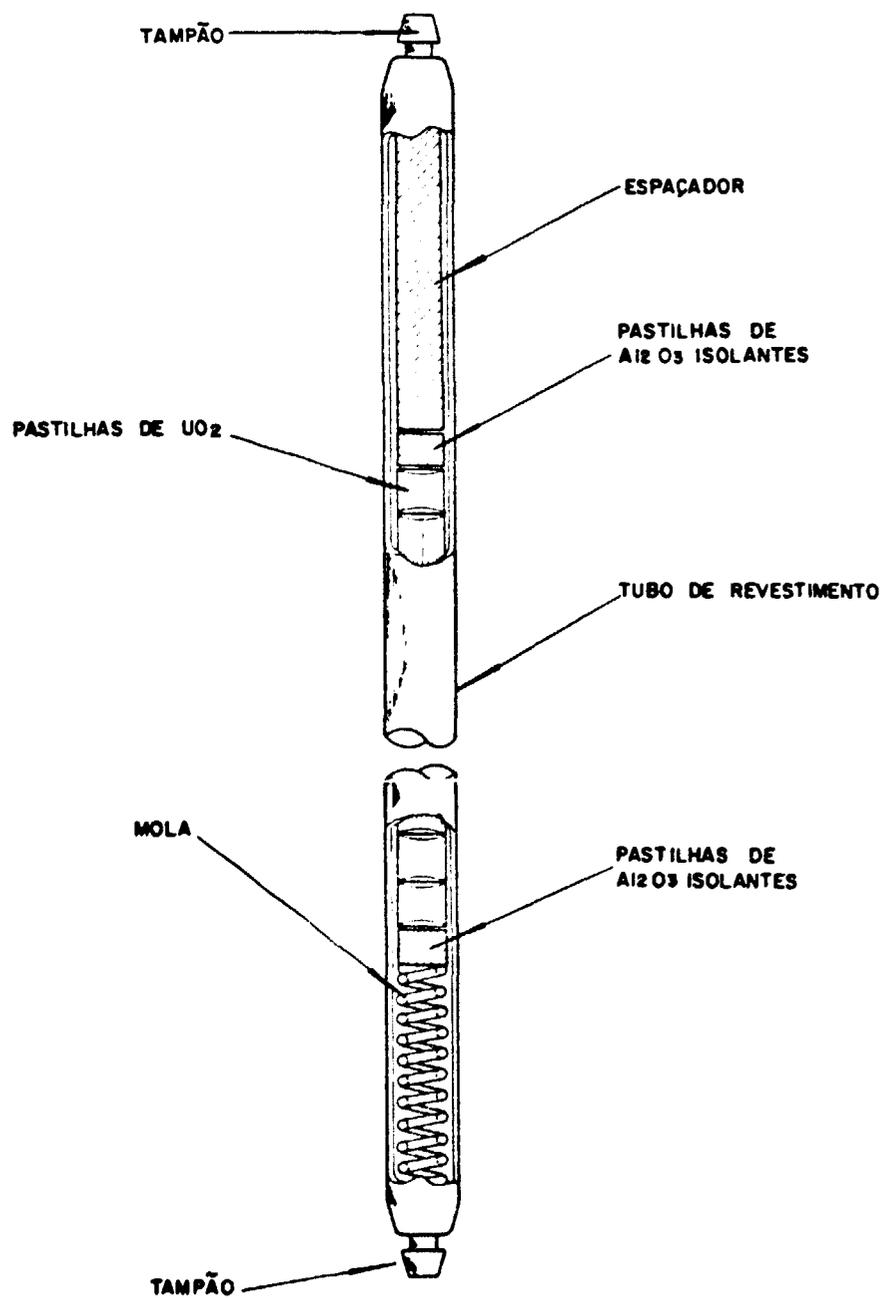


Figura 1 – Vareta Combustível Nuclear, tipo PWR

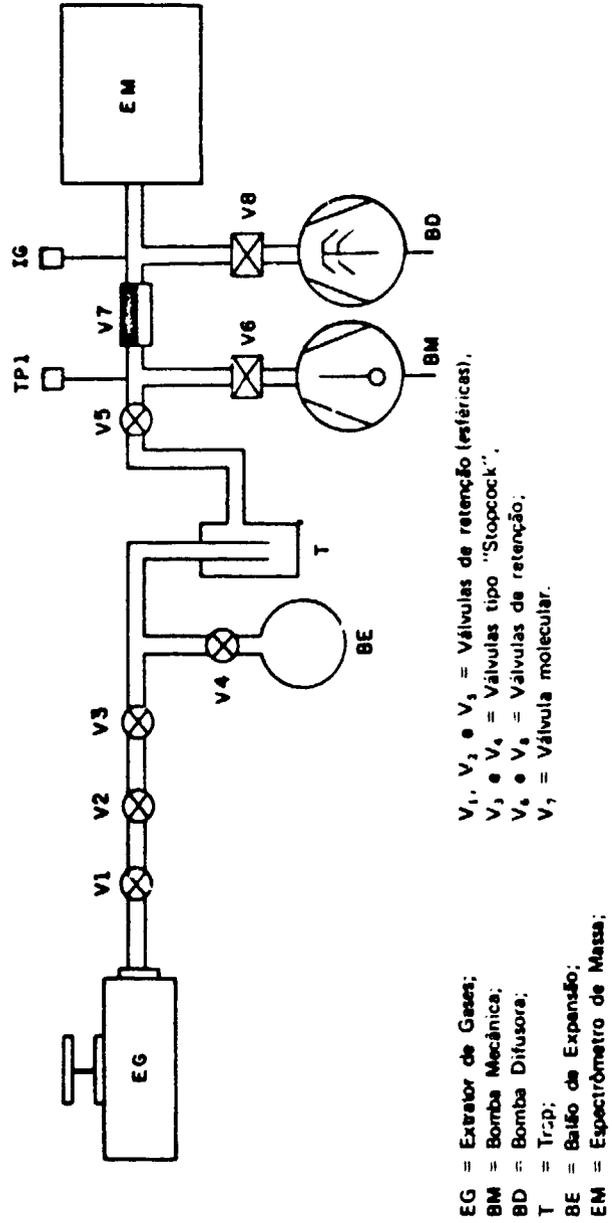


Figura 2 – Unidade de Extração, Transferência e Análise do Gás Interno das Varetas Combustíveis

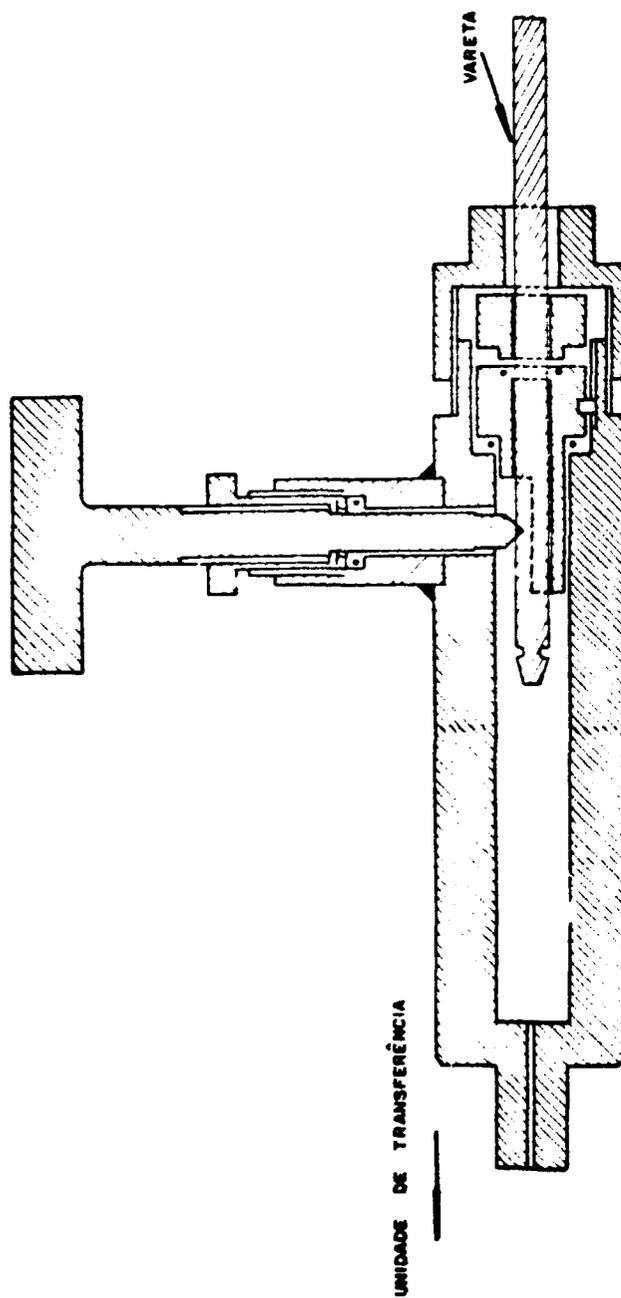


Figura 3 — Dispositivo de Pução das Varetas Combustíveis Nucleares

Trabalhos feitos anteriormente no laboratório^(4,5,6) já demonstraram a performance do espectrômetro VGA-100, que apresentou um limite de detecção de 0,05% com uma precisão de 2%.

Para possibilitar a realização da análise de forma reprodutível, alguns detalhes das etapas de análise foram estabelecidos em comum acordo com os técnicos da KWU. Um detalhe importante foi a de realizar a extração do gás de vareta de forma que um volume constante do gás fosse introduzido ao sistema de análise, a uma pressão constante; valores esses foram fixados em 1 cm^3 a 500 mTorr.

TESTES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dentro do procedimento de qualificação do método e do laboratório, uma série de testes foi realizada. A primeira série foi feita em varetas sem combustível nuclear sem material fóssil (pastilhas de UO_2), objetivando só a viabilização do método analítico.

Os resultados das análises constam na Tabela I. Sendo 96% o limite mínimo de hélio permitido nas varetas combustíveis, podem-se considerar aceitáveis os lotes A e C ao contrário de B. Uma análise quantitativa do lote A determinou a presença de cerca de 1% de Ar como gás residual da solda e cerca de 1% de N_2 residual com procedência da atmosfera e os gases H_2 , H_2O e CO_2 em teores inferiores a 5%. O lote C por sua vez, apresentou maior pureza de hélio que no lote A, em torno de 98%, com teores de H_2 e N_2 inferiores a 1% o Ar não foi detectado.

O lote B apresentou teores de He de 55%, muito inferior ao mínimo de 96% permissível. Os teores de 23% de Ar e 14% de N_2 , bastante elevados, foram também detectados; o teor de O_2 foi da ordem de 2%. Estas impurezas, típicas de uma contaminação da atmosfera (N_2 , O_2 e Ar), resultaram de uma simulação de defeito na soldagem feita nas varetas deste lote. As soldagens dos tampões das varetas, foram realizadas com a bomba mecânica, que arrasta o gás para fora da vareta e posterior preenchimentos com He, operando em condições atípicas.

Nove lotes de varetas combustíveis propriamente ditos foram analisados. De conformidades com os resultados, apresentados nas Tabelas II, III e IV, os lotes II, III e VI foram rejeitados por não satisfazerem os limites de pureza de He especificados.

CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um método analítico para fins de controle de rotina do gás de enchimento em varetas combustíveis para reatores PWR.

O procedimento analítico desenvolvido é resumido em onze passos como descrito a seguir (ver Figuras 2 e 3):

- 1) Introduzir a vareta combustível no dispositivo de punção da vareta; a mesma deve ser introduzida no lado em que se encontra a mola. As válvulas V_1 , V_2 , V_3 e V_7 devem permanecer fechadas e as válvulas V_4 , V_5 e V_6 devem estar abertas;
- 2) Fazer vácuo por todo o sistema. Monitorar a pressão por meio do termopar TP-1. Quando a pressão atingir aproximadamente 30 mTorr fechar a válvula V_6 e abrir a válvula molecular V_7 ; monitorar a pressão pelo íon gauge. Quando atingir a pressão de $2,0 \times 10^{-7}$ Torr o sistema está pronto para realizar a análise. O espectro típico do branco é o atmosférico, isto é, massas 28, 32 e 18;
- 3) Fechar as válvulas V_1 , V_2 e V_7 ;
- 4) Furar a vareta. O furo na vareta é realizado por meio do parafuso. É recomendável ter marcas no mesmo, sinalizando a profundidade do furo. Logo após a furada é preciso desparafusar o parafuso uma meia volta, para deixar, espaço livre aos gases;

Tabela II

Análise qualitativa e quantitativa nas varetas combustíveis

Nº da vareta	Lote	He	Ar	H ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	O ₂
00 207	I	98,14	0,60	n.d.	n.d.	1,26	n.d.	n.d.
00 189	I	97,75	0,98	n.d.	n.d.	1,27	n.d.	n.d.
00 202	I	98,07	0,60	n.d.	n.d.	1,33	n.d.	n.d.
00 193	I	97,64	1,03	n.d.	n.d.	1,33	n.d.	n.d.
100 285	II	94,07	1,88	n.d.	n.d.	4,05	n.d.	n.d.
100 612	II	93,15	1,95	n.d.	n.d.	4,90	n.d.	n.d.
1-612	II	95,75	2,01	n.d.	n.d.	2,25	n.d.	n.d.
77-647	III	82,30	17,05	0,05	0,13	0,45	0,02	n.d.
77-646	III	96,98	1,52	0,06	0,31	1,07	0,06	n.d.
77-172	III	92,75	6,53	0,03	0,12	0,54	0,03	n.d.
77-173	III	97,04	0,76	0,13	0,40	1,60	0,07	n.d.
77-791	III	93,55	5,11	0,14	0,24	1,03	0,05	n.d.
77-86	III	90,26	8,26	0,01	0,03	1,29	0,15	n.d.

Tabela III

Análise qualitativa e quantitativa nas varetas combustíveis

Nº da vareta	Lote	He	Ar	H ₂	H ₂ C	N ₂	CO ₂	O ₂
000 24	IV	97,91	0,58	n.d.	n.d.	1,51	n.d.	n.d.
000 26	IV	97,98	0,59	n.d.	n.d.	1,45	n.d.	n.d.
00 253	V	96,93	1,14	0,78	n.d.	1,15	n.d.	n.d.
00 315	V	96,90	1,15	0,79	n.d.	1,16	n.d.	n.d.
00 295	V	96,38	1,70	0,78	n.d.	1,14	n.d.	n.d.
00 280	V	97,03	1,11	0,75	n.d.	1,11	n.d.	n.d.
1-285	V	96,23	1,93	n.d.	n.d.	1,84	n.d.	n.d.
2-106	VI	96,89	1,99	n.d.	n.d.	1,12	n.d.	n.d.
100 620	VI	94,59	3,91	n.d.	n.d.	1,50	n.d.	n.d.
2-239	VI	96,87	1,60	n.d.	n.d.	1,53	n.d.	n.d.

Tabela IV

Análise qualitativa e quantitativa nas vareta^s combustíveis

Nº da vareta	Lote	He	Ar	H ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	O ₂
12346	VII	98,24	n.d.	0,90	n.d.	0,87	n.d.	n.d.
12347	VII	98,48	n.d.	0,55	n.d.	0,98	n.d.	n.d.
12348	VII	98,09	n.d.	0,87	n.d.	1,04	n.d.	n.d.
00024	VIII	97,19	0,97	n.d.	n.d.	1,83	n.d.	n.d.
00026	VIII	97,41	0,82	n.d.	n.d.	1,77	n.d.	n.d.
00027	VIII	98,29	n.d.	n.d.	n.d.	1,71	n.d.	n.d.
00023	VIII	98,18	0,56	n.d.	n.d.	1,26	n.d.	n.d.
08208	IX	97,37	2,05	n.d.	n.d.	0,58	n.d.	n.d.
08987	IX	98,04	1,40	n.d.	n.d.	0,56	n.d.	n.d.
08987	IX	97,73	1,71	n.d.	n.d.	0,56	n.d.	n.d.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VEGA, J. O.; RIELLA, H.; MARTINELLI, J. R. e RODRIGUES, C. Análises quantitativas de misturas gasosas por espectrometria de massa. An. Ass. Bras. Quim. vol. XXXI, 1980 nº 1 e 2 p.7-11.
2. VEGA, J. O.; RIELLA, H.; IYER, S. S. e RODRIGUES, C. "Measurement of mass and isotopic sensitivity of a quadrupole mass analysis for noble gases". International Mass Spectrometry Conference, Oslo, Norway (1979).
3. VEGA, J. O.; RIELLA, H. e RODRIGUES, C. "Quantitative analysis of occluded gases in UO₂ pellets by quadrupole mass spectrometer and its application in quality control of nuclear fuel". J. Nucl. Mat. 106 (1982) 121-126.
4. BIGUENET, C. "Spectrométrie de masse dans l'analyse des gaz résiduels". La Vide, 27 (159):143-51, 1972.
5. ASHCRAFT, R. W. "Analysis of mass spectrometer data by weighted least squares". MHSMP-75-20V.
6. KISER, R. W. "Introduction to mass spectrometry and its applications". Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall Inc. 1965.