

UM MEDIDOR DE ESPESURA DO REVESTIMENTO DE
PLACAS DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

M.U.C. Camargo

Instituto de Estudos Avançados - CTA
12200 - São José dos Campos, SP.

É apresentada uma técnica não destrutiva de medição de espessura de filmes finos que utiliza radiação beta retroespalhada. Foram realizadas medidas de espessura de folhas finas de alumínio na faixa de 200 a 500 μm utilizando radiação beta (fonte de ^{137}Cs) retroespalhada por cerâmica de $\text{UO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, com o intuito de calibrar o equipamento e determinar a precisão atingível pelo método. Dentro da faixa de espessura utilizada, os resultados mostram que as medidas podem ser efetuadas com uma precisão de $\pm 10\%$.

1. INTRODUÇÃO

O controle de qualidade, por métodos não destrutivos, é um dos problemas que surgem na fabricação de elementos combustíveis de reatores de potência. Uma das formas de realizar esse controle é a medida de espessura do revestimento de alumínio das placas de combustível.

Uma técnica não destrutiva de medida dessa espessura, com base no retroespalhamento de radiação beta pelo elemento combustível através da camada de alumínio, foi testada e a precisão atingível foi determinada.

Para tanto, foi desenvolvido um aparato, que provou ser perfeitamente adequado para a finalidade proposta.

Com a crescente utilização de técnicas radioisotópicas em processos industriais, a técnica aqui apresentada e o equipamento utiliza

do, embora desenvolvidos com finalidade específica, poderão certamente ter aplicabilidade bem mais ampla.

2. ARRANJO EXPERIMENTAL

O conjunto do medidor de espessura é basicamente constituído de uma câmara de ionização, uma câmara de retroespalhamento, um porta amostra e instrumentos periféricos.

2.1 Da Câmara de Ionização

A construção da câmara de ionização deste trabalho teve como principal desenvolvimento os conectores do tipo cerâmica-metal utilizados.

Conforme a figura 1, são conectores vazados de aço-inoxidável-alumina brazados em forno a 900°C, cujas propriedades de estanqueidade a alto vácuo, resistência mecânica ao cisalhamento e isolamento elétrico foram avaliadas em testes de seleção conforme mostrado na tabela I.

A figura 2 mostra em detalhes a construção da câmara de ionização utilizada.

Embora uma câmara de ionização possa ser operada a pressão atmosférica após uma simples purga do ar com um gás seco, sendo possível o emprego de conectores elétricos e outros materiais comuns, desejou-se construir um equipamento sensível, de boa reprodutibilidade de resultados e operável em ambientes de considerável agressividade como por exemplo, os ambientes industriais. Consequentemente, decidiu-se pelo tipo pressurizado, de boa resistência a impactos, a atmosferas corrosivas, etc.

2.2 Do Medidor de Espessura

Dado às características construtivas do elemento combustível (fig. 3), o fenômeno explorado foi o do retroespalhamento da radiação beta de uma fonte de Cs¹³⁷, tendo sido a espessura x do revestimento de alumínio medida segundo a lei:

$$I = I_0 e^{-ux} \quad (1)$$

Protótipo Nº	Vácuo (Torr)	Limite de estanqueidade (Torr)	Isolamento elétrico (Mohm)	Corrente a 2500 V (A)	Resistência mecânica (Kg/cm ²)
1	10 ⁻⁶	--	150	1.6 x 10 ⁻⁵	500
2	10 ⁻⁶	--	50	5.0 x 10 ⁻⁵	650
3	10 ⁻⁴	--	150	1.6 x 10 ⁻⁵	150
4	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	>50 x 10 ³	~5.0 x 10 ⁻⁸	550
5	10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁰	50 x 10 ³	5.0 x 10 ⁻⁸	300
6	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	1 x 10 ³	2.5 x 10 ⁻⁶	650

TABELA I. - Resultados obtidos dos testes do lote nº 1 (protótipos nºs 1, 2 e 3) e do lote nº 2 (protótipos nºs 4, 5 e 6) .

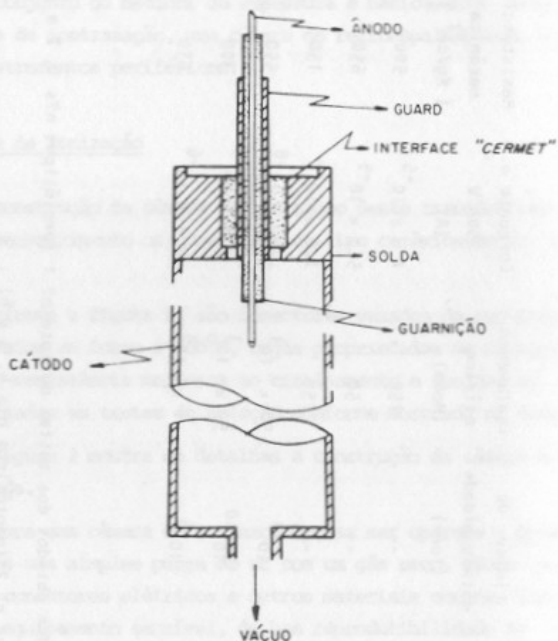


FIGURA I - MONTAGEM DOS TESTES DE SELEÇÃO

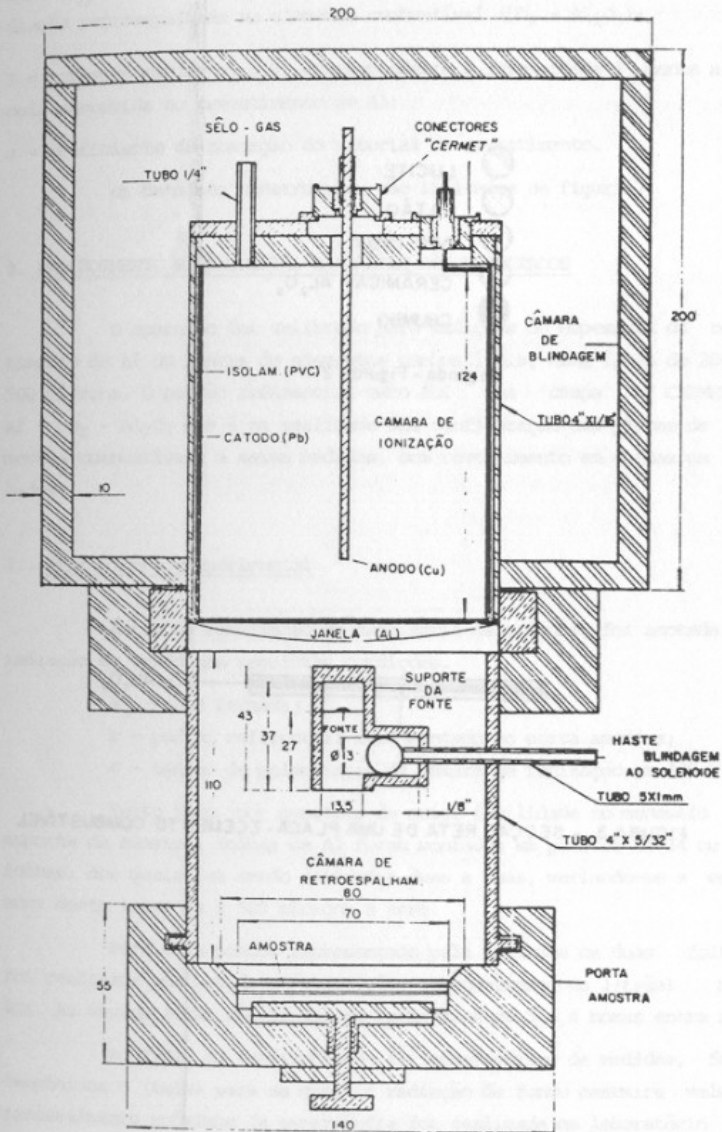
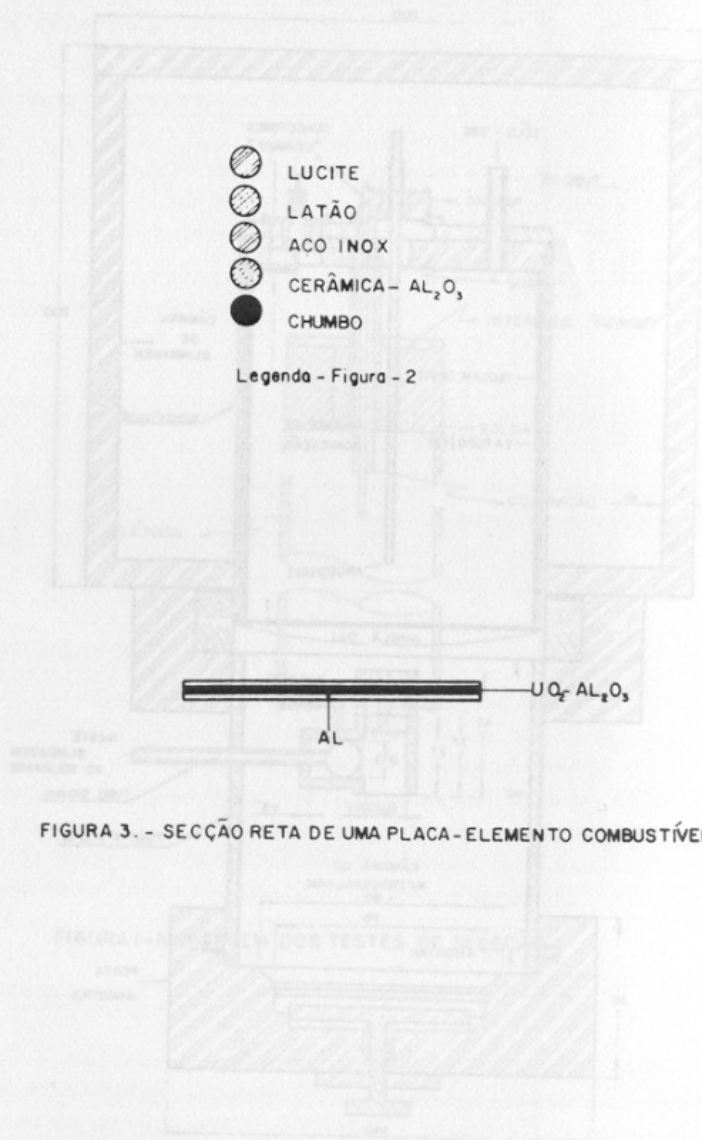


FIGURA 2 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO MEDIDOR DE ESPESURA



onde: I_0 = corrente medida na C.I. correspondente a intensidade da radiação retroespalhada no elemento combustível ($UO_2 - Al_2O_3$);

I = corrente medida na C.I. correspondente à intensidade I_0 menos a parcela absorvida no revestimento de Al;

μ = coeficiente de absorção do material de revestimento.

Os detalhes construtivos são indicados na figura 2.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O aparelho foi calibrado para medições de espessura do revestimento de Al de placas de elementos combustíveis, numa faixa de 200 a 500 microns. O padrão referencial-zero foi uma chapa "CERMET" Al - UO_2 - Al_2O_3 que é na realidade uma configuração das placas de elementos combustíveis a serem medidas, com revestimento em apenas um dos lados.

3.1 Procedimento Experimental

Antes da realização de cada série de medidas, foi anotada a radiação de fundo nas seguintes condições.

- a - fonte fechada;
- b - padrão referencial-zero montado no porta amostra;
- c - tensão de polarização da câmara de ionização em 100 V.

Feito isto, por questões de maior facilidade no manuseio do suporte de amostra, folhas de Al foram montadas em pacotes de 34 ou 35 folhas, dos quais iam sendo retiradas duas a duas, variando-se a espessura desta forma de ± 500 microns a zero.

Para cada ponto, representado pela retirada de duas folhas, foi realizada uma medida em exposições cronometradas de 3 (três) minutos. As séries foram realizadas em intervalos de 3 a 4 horas entre si.

Ao final da realização de 11 (onze) séries de medidas, foram escolhidas 6 (seis) para as quais a radiação de fundo assumira valores razoavelmente próximos (a experiência foi realizada em laboratório de aplicações de radiações e radioisótopos - CARREI - (IPEN)* - com radiação de fundo relativamente alta).

3.2 Análise dos Resultados

Para os cálculos de regressão, foi utilizado um programa IBM no qual os pontos experimentais de entrada são tratados tal que uma polinomial ordinária deve ser ajustada pelo método dos mínimos quadrados⁽²⁾. Dois tipos de exponenciais, com 2 ou 3 parâmetros, são ajustados conforme figura 4.

4. COMENTÁRIOS

Dos resultados obtidos destacamos o seguinte:

- a - A operação do instrumento e, portanto, a realização de uma medida qualquer, pode ser levada independentemente da radiação de fundo se forem utilizados padrões de aferição (se possível para o "zero" e para um ponto qualquer na faixa de operações);
- b - Das equações obtidas, duas saídas podem ser avaliadas para a operação do instrumento:
 - b.1 tabelar todos os valores da função (meio indireto).
 - b.2 construir uma escala em unidades de espessura sobre a escala do picoamperímetro (meio direto).
- c - O motivo de dois tipos de exponenciais (primeira e segunda ordem) terem sido estudados deu-se pelo seguinte fato:

A geometria de câmara de retroespalhamento não sendo ideal, faz com que apareça uma contribuição do espalhamento secundário nas redes da câmara representada por um termo de segunda ordem ($C \cdot x^2$). Como pode ser observado na fig. 4, uma lei exponencial simples como a citada em (2), não se ajusta tão bem aos pontos experimentais quanto uma do tipo (3). Todavia, para a faixa de operação relativamente restrita para a qual o aparelho foi projetado (200 - 500 μ), o uso poderá ser opcional de pendendo de um trabalho de calibração⁽³⁾.

Embora o presente trabalho possa representar apenas uma contribuição no já vasto campo das aplicações e radioisótopos na engenharia e indústria, conclui-se terem sido muito compensadores os esforços

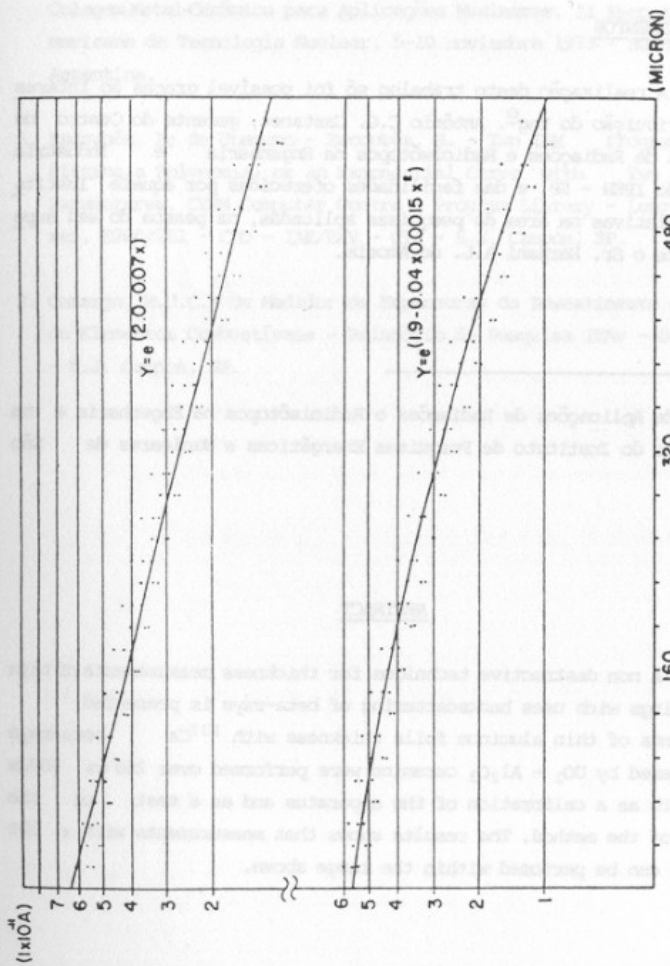


FIG. 4- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PONTOS EXPERIMENTAIS
(EXPESSURA X CORRENTE MEDIDA)

até aqui dispendidos, já que o equipamento em si dependeu de pequenos acertos para o atendimento de uma necessidade imediata.

5. AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao interesse e contribuição do Eng^o. Antônio C.G. Castanet, gerente do Centro de Aplicações de Radiações e Radioisótopos na Engenharia e Indústria (CARFEI) do IPEN - SP, e das facilidades oferecidas por aquele Instituto às iniciativas na área de pesquisas aplicadas, na pessoa do seu superintendente o Sr. Hernani A.L. de Amorim.

* Centro de Aplicações de Radiações e Radioisótopos na Engenharia e na Indústria do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo

ABSTRACT

A non destructive technique for thickness measurements of thin film coatings which uses backscattering of beta-rays is presented. Measurements of thin aluminum foils thickness with ^{137}Cs beta-rays backscattered by $\text{UO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ ceramics were performed over 200 to 500 μm range, both as a calibration of the apparatus and as a test of the accuracy of the method. The results shows that measurements with $\pm 10\%$ precision can be performed within the range above.

BIBLIOGRAFIA

1. Camargo, M.U.C.; Dafferner, J.M. - Desenvolvimento de um Método de Colagem Metal-Cerâmica para Aplicações Nucleares. II Encontro Latinoamericano de Tecnologia Nuclear, 5-10 noviembre 1979 - Buenos Aires - Argentina.
2. Escoubés, B; de Unamuno - Escoubés, S. - Two IBM Programmes for Fitting a Polynomial or an Exponential Curve with Two or Three Parameters. CERN Computer Centre - Program Library - Long Write Up. ref. E200/201 - CPD - IAE/EAV - CTA - S.J. Campos, SP.
3. Camargo, M.U.C.; Um Medidor de Espessuras do Revestimento de Placas de Elementos Combustíveis - Relatório de Pesquisa IEAv - 004/83 - CTA - S.J. Campos, SP.