

# PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-839

**MANUAL PARA MEDIDA DE ESPESSURA DE ALVOS  
POR IRRADIAÇÃO DE PARTÍCULAS ALFA**

**J.F. Dias e M.N. Martins**

**Instituto de Física, Universidade de São Paulo**

**Abril/1990**

# MANUAL PARA MEDIDA DE ESPESSURA DE ALVOS POR IRRADIAÇÃO DE PARTÍCULAS ALFA

J.F. Dias e M.N. Martins

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Neste trabalho descrevemos um sistema utilizado para medida de espessura de alvos finos através da perda de energia de partículas alfa quando estas atravessam o alvo. Também é descrito o programa utilizado na análise da espessura dos alvos.

## I - INTRODUÇÃO TEÓRICA

### I.1 NATUREZA DA INTERAÇÃO DAS PARTÍCULAS ALFA

As partículas alfa interagem com a matéria primeiramente através das forças de coulomb entre sua carga positiva e a carga negativa dos átomos do meio absorvedor. Embora interações da partícula com o núcleo do átomo (como, por exemplo, no espalhamento de Rutherford) sejam possíveis, tais interações acontecem raramente. Ao atingir um determinado absorvedor, a partícula carregada interage com muitos elétrons. Em cada um dos encontros das partículas, o elétron sente um impulso da força atrativa de coulomb gerado pela partícula alfa ao passar por sua redondeza. Dependendo da aproximação do encontro esse impulso pode ser suficiente para levar o elétron do átomo para um nível mais energético (excitação) ou mesmo para arrancar o elétron do átomo (ionização). Como resultado do encontro temos que a energia transferida ao elétron implica em que a velocidade da partícula incidente diminua.

A energia máxima que pode ser transferida de uma partícula carregada de massa  $m$  e energia cinética  $E$  para um elétron de massa  $m_e$  em uma colisão é  $4Em_e/m$  ou, aproximadamente, 1/500 da energia da partícula alfa. Sendo esta uma pequena fração da energia total, a partícula incidente deve perder sua energia em muitas interações durante sua passagem através do absorvedor. Assim, a partícula interage continuamente com muitos elétrons e sua velocidade vai diminuindo até que atinja zero (ou seja, ela foi totalmente freada).

Os caminhos descritos pelas partículas alfa em um meio são, aproximadamente, linhas retas, uma vez que as partículas não são muito defletidas (exceto quando as partículas alfa já perderam muita energia e sua velocidade, portanto, está próxima de zero).

As partículas carregadas são, portanto, caracterizadas por um alcance num dado material. O alcance representa a distância máxima que uma partícula consegue penetrar no meio.

## 1.2 - PODER DE FREAMENTO

O poder linear de freamento  $S$  para partículas carregadas em dado absorvedor é definido como a energia diferencial perdida pela partícula no material dividido pelo correspondente espaço diferencial percorrido por ela:

$$S = - dE/dx \quad (1)$$

O valor  $- dE/dx$  ao longo do caminho percorrido pela partícula também é chamado de perda de energia específica. Para partículas carregadas,  $S$  aumenta à medida que a velocidade da partícula diminui. A expressão clássica que descreve a perda de energia específica é conhecida como "fórmula de Bethe":

$$- \frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2 NB}{m_0 v^2} \quad (2)$$

$$\text{onde } B = Z \left[ \ln (2m_0 v^2/I) - \ln (1-v^2/c^2) - v^2/c^2 \right] \quad (3)$$

Nesta expressão  $v$  e  $z$  são a velocidade e a carga iniciais da partícula,  $N$  e  $Z$  são a densidade e o número atômico do absorvedor,  $m_0$  é a massa de repouso do elétron e " $e$ " é a carga eletrônica. O parâmetro  $I$  representa a excitação média e o potencial de ionização do absorvedor e  $e$  é um parâmetro determinado

experimentalmente para cada elemento.

Para partículas carregadas não relativísticas ( $v \ll c$ ), somente o primeiro termo em B é significativo. As equações (2) e (3) são válidas para diferentes tipos de partículas carregadas desde que sua velocidade seja grande comparada com a velocidade dos elétrons dos átomos do absorvedor.

A fórmula de Bethe falha para partículas de baixa energia onde a troca de carga entre a partícula e o absorvedor se torna importante. Maiores detalhes podem ser encontrados, por exemplo, na ref. 1.

Na figura 1 mostramos um gráfico da perda de energia específica ao longo da trajetória de um feixe de partículas alfa. Essa curva é conhecida como curva de Bragg. O exemplo mostra um feixe de partículas alfa de energia inicial de vários MeVs. Para a maior parte do caminho percorrido a carga das partículas alfa equivale a duas cargas eletrônicas e a perda de energia específica cresce aproximadamente com  $1/E$  como mostra a equação (2). Quase no fim de sua trajetória, a carga é reduzida através da captura de elétrons do meio e a curva cai abruptamente.

## II - ARRANJO EXPERIMENTAL

Em se tratando de partículas carregadas devemos trabalhar em vácuo a fim de que as partículas não percam energia no ar. Fazemos, aqui, uma breve discussão do sistema de vácuo utilizado neste trabalho.

Esse sistema de vácuo é composto de uma bomba difusora acoplada a uma bomba mecânica. Utilizando-se somente a bomba mecânica podemos atingir pressões no interior da câmara da ordem de  $10^{-3}$  torr. Com a bomba mecânica trabalhando junto com a bomba difusora obtemos uma pressão da ordem de  $10^{-6}$  torr. Na figura 2 vemos um esquema do sistema por nós utilizado.

A eletrônica utilizada no sistema de espectrometria alfa é bastante simples. Envolve, basicamente, os seguintes componentes:

- detector de barreira de superfície
- pré-amplificador
- amplificador
- conversor analógico-digital (ADC)

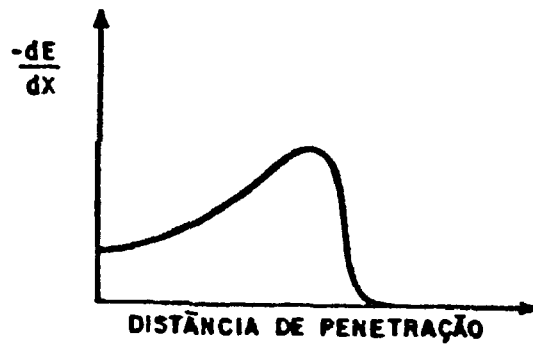


Figura 1 - Gráfico da perda de energia específica versus distância de penetração para partículas alfa ("Curva de Bragg").

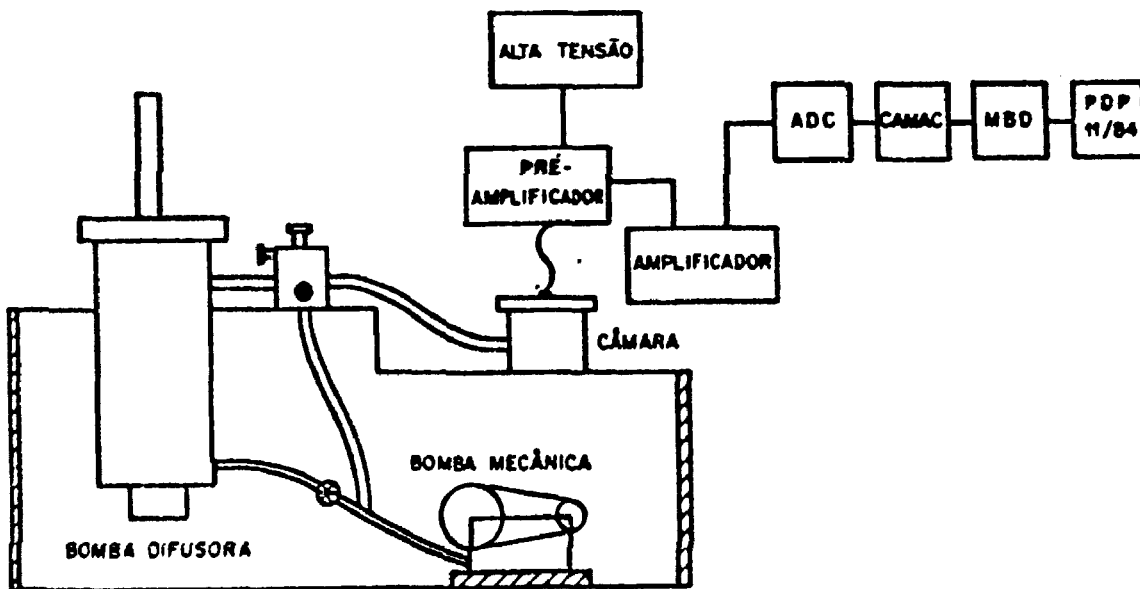


Figura 2 - Esquema do sistema de vácuo e eletrônica utilizados neste trabalho.

- sistema de aquisição de dados

O diagrama de blocos da eletrônica utilizada também pode ser vista na figura 2.

### III - OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a obtenção dos dados basta seguirmos, basicamente, três passos:

- 1) Realizar uma medida de calibração envolvendo somente uma fonte de partículas alfa ( $^{241}\text{Am}$ ) e um detector de barreira de superfície (esquema da figura 3);
- 2) Realizar outra medida colocando-se o alvo em questão entre a fonte de partículas alfa e o detector (figura 4);
- 3) Fazer uma medida como na descrita pelo item 1 só que, ao invés de usarmos a fonte de  $^{241}\text{Am}$ , utilizamos outra fonte de partículas alfa (Urânio ou Tório). Desta forma podemos melhorar nossa calibração em energia do sistema.

Na tabela I mostramos os principais picos alfa de interesse do Americio, do Urânio e do Tório.

No caso de alvos não auto-sustentáveis devemos proceder como anteriormente, tomando-se o cuidado de que as partículas alfas devem sempre atravessar primeiro o backing e depois o alvo propriamente dito. No caso de não conhecermos previamente a espessura do backing devemos realizar uma medida da perda de energia das alfas no backing. Isso implica que tenhamos uma amostra do backing em separado para podermos realizar esse tipo de medida (como descrito no item 2)).

### IV - ANÁLISE DOS DADOS

Os alvos a serem estudados serão irradiados por partículas alfa provenientes de uma fonte de  $^{241}\text{Am}$  com 86% das partículas tendo energia de 5486 KeV.

Quando partículas alfa de energia  $E$  incidem num alvo podem ocorrer duas coisas: ou as partículas não passam pelo alvo em questão ou passam atingindo o detector com uma energia  $E'$  (onde  $E' < E$ ) conforme o esquema da figura 5.

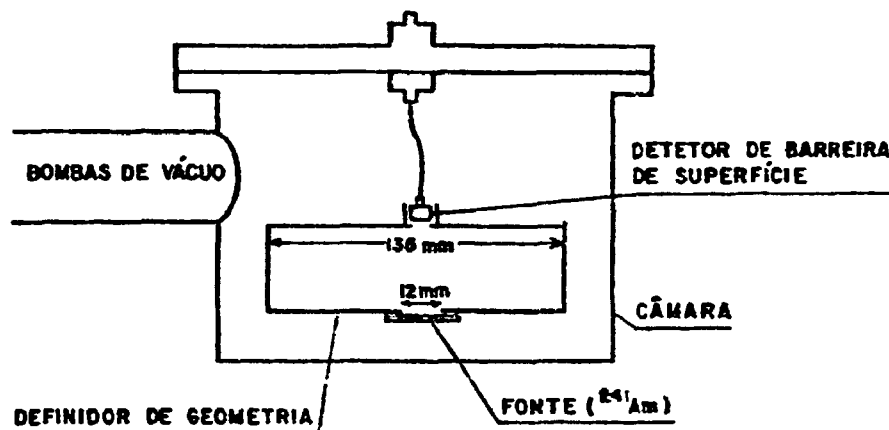


Figura 3 - Montagem utilizada para medidas de calibração de energia. Na câmara temos somente a fonte de  $^{241}\text{Am}$  e o detector de barreira de superfície.

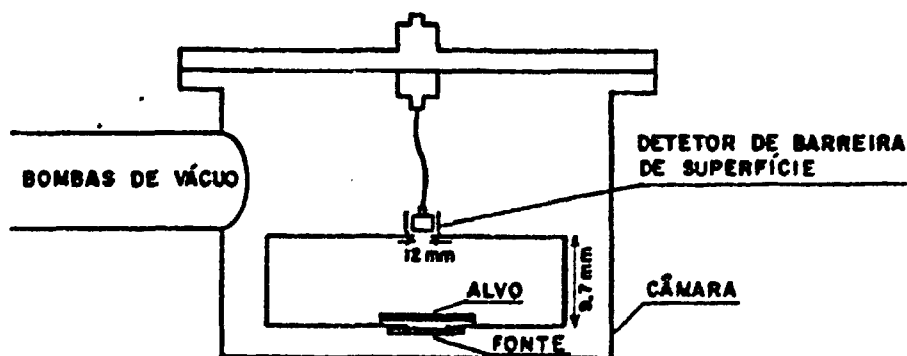


Figura 4 - Montagem utilizada para a medida da perda de energia das partículas alfa no alvo. Neste caso o alvo é colocado entre a fonte e o detector.

Elemento	Energia (KeV)	Intensidade (%)
$^{241}\text{Am}$	5545(1)	0.25
$^{241}\text{Am}$	5513(1)	0.12
$^{241}\text{Am}$	5485.74(.12)	86
$^{241}\text{Am}$	5443(1)	12.7
$^{241}\text{Am}$	5389(1)	1.3
$^{236}\text{U}$	4776.8(2.0)	72
$^{236}\text{U}$	4724.1(2.0)	28
$^{238}\text{U}$	4196(4)	77
$^{238}\text{U}$	4149(5)	23
$^{232}\text{Th}$	4016(5)	77
$^{232}\text{Th}$	3957(8)	23
$^{220}\text{Rn}$	6288(2)	99.93
$^{216}\text{Po}$	6778.5(1.2)	99

Tabela I - Elementos utilizados na calibração de energia. Os quatro últimos elementos pertencem à família do  $^{232}\text{Th}$ . (dados extraídos da referência 2).



A energia perdida  $\Delta E$  pela partícula alfa ao atravessar um alvo de espessura  $L$  é:

$$\Delta E = \int_0^L \frac{\delta E}{\delta x} dx \quad (4)$$

Para pequenos intervalos de energia das partículas alfa podemos considerar  $\delta E/\delta x$  constante. Portanto, dividindo a amostra em espessuras infinitesimais  $\delta x_1$  tal que a partícula alfa perca uma fração  $\delta E_1$  de sua energia nessa "fatia", temos:

$$\delta E_1 = \delta E \Big|_{E_0} = \frac{\delta E}{\delta x} \Big|_{E_0} \delta x_1 \quad (5)$$

$$\delta E_2 = \delta E \Big|_{E_0 - \delta E} = \frac{\delta E}{\delta x} \Big|_{E_0 - \delta E} \delta x_2$$

$$\vdots$$

Repetimos esse procedimento até que, na  $n$ -ésima vez, obtenhamos a perda de energia desejada. Assim:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n \delta E_i \quad (6)$$

Portanto a espessura do alvo será:

$$L = \sum_{i=1}^n \delta x_i \quad (7)$$

A seguir descrevemos o método utilizado no cálculo da espessura de alvos por irradiação de partículas alfa.

## V - CÁLCULO DA ESPESSURA DE ALVOS - PROGRAMA THICK.BAS

### V.1 - ESTUDO DAS TABELAS DE PERDA DE ENERGIA

Neste trabalho foram escolhidos 21 elementos que serão por nós estudados. Esses elementos foram selecionados de acordo com as necessidades atômicas do LAL.

Para esses elementos utilizamos as tabelas de perda de energia dadas pela referência 1. Ao graficar esses pontos no computador vemos que todos os elementos se comportam de maneira análoga. As curvas (que nada mais são que as curvas de Bragg) obtidas possuem duas regiões distintas: uma região crescente e outra decrescente. Trabalharemos, aqui, somente com a parte decrescente dessa curva, limitando-a de 1000 a 6000 KeVs.

Após algumas tentativas verificamos que essa parte da curva é ajustada muito bem por um polinômio de terceiro grau para todos os elementos. Na figura 6 mostramos os pontos obtidos da referência 1 para o caso do Alumínio e o ajuste de um polinômio de terceiro grau a esses pontos. Com este ajuste pudemos obter os valores interpolados que as tabelas de perda de energia não forneciam. Essa interpolação foi feita entre 5486 KeV e 1035 KeV com passos de 50 KeV. Obtivemos, assim, 90 pontos para cada elemento. Esses resultados foram gravados em disquete a fim de serem utilizados pelo programa THICK.BAS para a análise da espessura dos alvos.

### V.2 - PROGRAMA THICK.BAS

O programa THICK.BAS foi desenvolvido especialmente para a medida de espessura de alvos por irradiação de partículas alfa provenientes de uma fonte de  $^{241}\text{Am}$ . Até a presente data, os elementos possíveis de serem estudados por este método são: Alumínio, Bismuto, Carbono, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estanho, Ferro, Magnésio, Mangans, Niquel, Ouro, Paládio, Platina, Prata, Silício, Tântalo, Titânio, Zinco e Zircônio. Poderia, porém, inserir qualquer outro elemento de interesse, bastando, para isso, que gravemos a tabela de perda de energia do determinado elemento no disquete conforme descrito anteriormente. Também devemos inserir

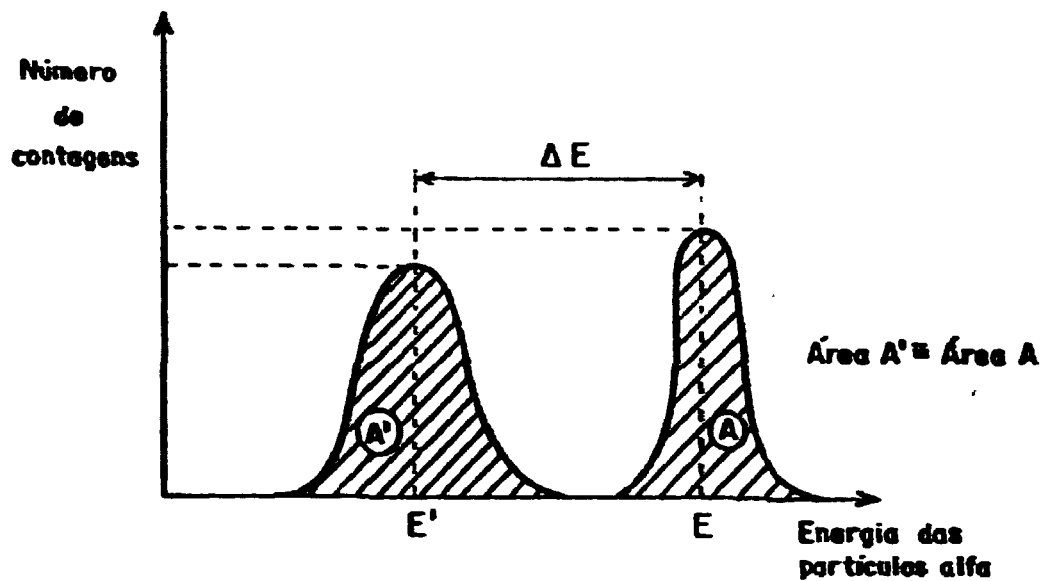


Figura 5 - Gráfico esquematizando a perda de energia ( $\Delta E$ ) das partículas alfa ao atravessarem um determinado alvo. As partículas alfa incidem no alvo com uma energia  $E$  e saem do mesmo com uma energia  $E'$ .

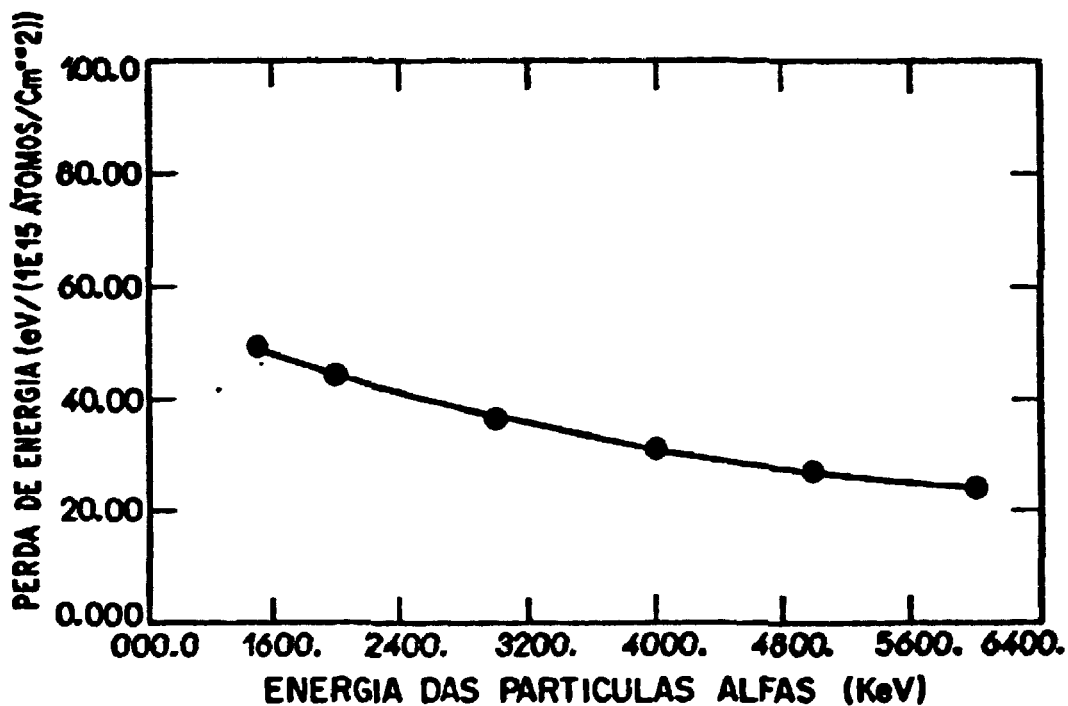


Figura 6 - Gráfico da perda de energia das partículas alfa em função da energia para o caso do Alumínio. A curva continua representa um ajuste de um polinômio do terceiro grau aos pontos extraídos da referência 1.

uma linha no programa (entre as linhas 790 e 990) contendo a massa atômica do referido elemento conforme pode ser visto no programa.

Esse programa é do tipo interativo e é de fácil manuseio. No item 6 do menu principal do programa existe um sumário contendo algumas informações sobre os outros itens do menu. Basicamente, os dados de entrada do programa se resumem às posições (canais) dos picos alfa e suas respectivas energias e erros.

O programa realiza uma calibração de energia ajustando uma reta aos dados experimentais. Esse ajuste é feito através do método dos mínimos quadrados e leva-se em conta que a posição dos picos alfa possui erro. Para um entendimento melhor desse ajuste pode-se consultar, por exemplo, o capítulo V e o apêndice C da referência 3.

Os cálculos que o programa realiza baseiam-se nas equações 5, 6 e 7 do capítulo 4 deste trabalho. Assumimos passos constantes de 50 KeV de modo que, na equação 5,  $\delta E_1 = 50$  KeV e os valores  $dE/dx$  calculados nos pontos  $E_0 - (i-1)\delta E_1$  foram obtidos da interpolação referente ao ajuste feito das tabelas de perda de energia. A equação 6 representa a perda de energia total das partículas alfa no alvo em questão e a equação 7 representa a espessura do alvo correspondentes à perda de energia dada pela equação 6.

Com este programa podemos calcular a espessura de alvos auto-sustentáveis e não auto-sustentáveis. Sendo o alvo não auto-sustentável devemos ou medir a perda de energia das alfas no backing (opção 1) do item 8) do menu) ou conhecermos previamente a espessura do backing dado em  $mg/cm^2$  (opção 2) do item 8) do menu).

### V.3 - UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa THICK.BAS foi feito em linguagem BASIC por ser uma linguagem simples e de fácil manuseio e está gravado em um disquete butável. No mesmo disquete estão gravados o sistema BASICA e as tabelas de perda de energia para os vários elementos. Esse disquete encontra-se a disposição dos interessados no Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

Após colocar o disquete no drive devemos carregar o sistema BASICA dando o comando "BASICA". Após alguns instantes o sistema estará carregado quando, então, aparecerá a mensagem "OK". O próximo passo é carregar o programa THICK.BAS e, para isso, basta

darmos o comando "LOAD THICK.BAS". Agora, para iniciarmos a utilização do programa devemos dar o comando "RUN". A partir de então, o programa mostra o menu contendo 8 opções. Vale ressaltar que todo esse procedimento deve ser feito em letras maiúsculas (inclusive enquanto estamos usando o programa THICK.BAS). A utilização de letras minúsculas implica numa mensagem de erro de leitura de dados das tabelas arquivadas no disquete.

Para o cálculo da espessura dos alvos devemos, primeiramente, fazer a calibração de energia usando, para isso, a opção 7 do menu. Depois desse passo podemos, então, proceder com o cálculo da espessura de alvos utilizando as opções 2) no caso de alvos auto-sustentáveis ou 8) no caso de alvos não auto-sustentável.

Vários testes da medida de espessura de alvos foram feitos e o sistema mostrou-se versátil, simples e adequado para essas medidas, especialmente de alvos muito finos onde fica difícil uma medida através da absorção de raios-X (referência 4) por exemplo.

Na tabela II mostramos algumas medidas de espessura de alvos realizadas pelo método descrito neste trabalho em comparação com a espessura obtida por outros métodos.

Alvo	Espessura nominal (mg/cm <sup>2</sup> )	Espessura medida neste trabalho (mg/cm <sup>2</sup> )	Método utilizado (espes. nominal)
Alumínio	1.9(0.1)	1.93(0.08)	pesagem
Alumínio	3.0	3.10(0.09)	alvo padrão*
Ouro	1.54	1.54(0.22)	pesagem
Tântalo	2.5	2.6(0.1)	pesagem

Tabela II - Resultados de espessuras calculadas neste trabalho em comparação com os resultados obtidos pelo método de pesagem. O alvo padrão\* utilizado possui uma espessura calibrada de 3 mg/cm<sup>2</sup> pela Nuclear Associates Inc. - USA.

## OBSERVAÇÕES FINAIS

1) Para a calibração de energia é adequado o uso de todos os picos alfas listados na tabela 1. Uma boa medida desses picos depende de fatores como: resolução do detector utilizado; tempo de aquisição; disponibilidade de alvos de Urânio e Tório; intensidade das fontes; etc. No caso do alvo ser muito fino ( em torno de  $1 \text{ mg/cm}^2$ ) podemos utilizar somente os próprios picos alfas do Americio para a calibração de energia. Na figura 7 vemos um espectro alfa obtido de uma fonte não selada de  $^{241}\text{Am}$ . O tempo de aquisição desse espectro foi de 30 minutos. Devido a resolução do detector e o tempo de contagem não conseguimos separar o pico de 5513 KeV.

2) Dependendo da densidade dos alvos de Urânio e Tório, a obtenção dos espectros alfa desses elementos podem demorar da ordem de 1 dia ou mais dependendo da estatística desejada. Nossas experiências demonstraram que utilizando uma fonte de  $^{241}\text{Am}$  de  $0.015 \mu\text{C}$  e a geometria mostrada nas figuras 3 e 4 vemos que aquisição de 30 minutos é mais que suficiente para a medida da espessura de alvos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Ziegler, J.F.. "Helium: Stopping Powers and Ranges in All Elemental Matter". In: Ziegler, J.F.. The Stopping Powers and Ranges of Ions in Matter. New York, Pergamon Press, vol. 4: 45-58, s.d..
- 2) Lederer, C.M. and Shirley, V.S. "Table of Isotopes". John Wiley & Sons (1978).
- 3) Helene, O.A.M. e Vanin, V.R.. "Tratamento Estatístico de dados em Física Experimental". Editora Edgard Blucher (1978).
- 4) Cataldi, M.I. e Martins, M.N.. "Manual Para Medidas de Espessura de Alvos por Absorção de Raios-X". Publicações IFUSP/P - 453 (1984).

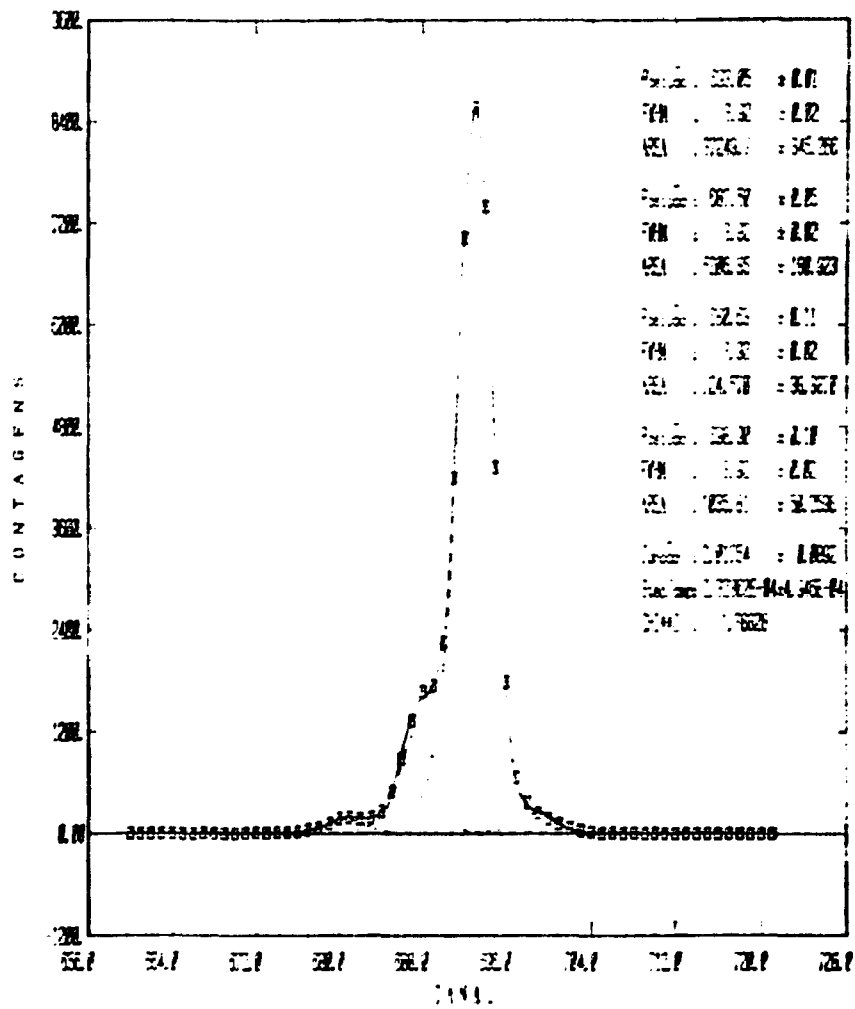


Figura 7 - Espectro alfa do  $^{241}\text{Am}$  obtido com uma aquisição de 30 minutos (medida feita por Maria Lúcia P. Antunes no LAL).