

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS NÍVEIS  
EXCITADOS DA Pt<sup>197</sup> E DO Au<sup>197</sup>**

**TESE DE MESTRADO  
SÉRGIO CALZAVARA**

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS NÍVEIS  
EXCITADOS DA Pt<sup>197</sup> E DO Au<sup>197</sup>

TESE DE MESTRADO  
SÉRGIO CALZAVARA

## RESUMO

As transições gama seguindo os decaimentos  $\text{Ir}^{197} \xrightarrow{\beta^-} \text{Pt}^{197} \xrightarrow{\beta^-} \text{Au}^{197}$  foram investigadas usando três detetores Ge(Li) de alta resolução empregando técnicas de espectroscopia com uma, duas e três vias de análise.

Para o decaimento  $\text{Ir}^{197} \xrightarrow{\beta^-} \text{Pt}^{197}$ , foram observadas quatro novas transições gama com energia 877,6; 938,7; 1049,6 e 1341,8 Kev, implicando na suposição de serem níveis de energia em 877,6; 938,7; 1049,6 e 1341,8 Kev na  $\text{Pt}^{197}$  populados através do decaimento  $\beta^-$  do  $\text{Ir}^{197}$ . Não foi observado, entretanto, o raio gama de 1.8 Mev encontrado por Butement e Poe<sup>14</sup>.

Para o decaimento da  $\text{Pt}^{197m}$  (80 min), foi observado pela primeira vez uma transição de 299,5 Kev, interpretada como a de - sexcitação direta de um nível em 299,5 Kev na  $\text{Pt}^{197}$ . Não foi verificado o ramo beta para o nível de 548 Kev do  $\text{Au}^{197}$ , proposto por Bashandy e Migahed<sup>27</sup>.

Um novo esquema de desintegração  $\text{Ir}^{197} \xrightarrow{\beta^-} \text{Pt}^{197} \xrightarrow{\beta^-} \text{Au}^{197}$  é propôsto, baseado nos resultados obtidos neste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Prof<sup>a</sup>. Solange de Barros, pela sugestão e orientação do presente trabalho.

Ao Prof. Alain Touati, pela grande participação na realização dessa tese.

Aos Profs. J. Julien e C.M. do Amaral, pelas inúmeras discussões bastante proveitosas.

À equipe do Cel. Argus Moreira, pelas facilidades de irradiação com o Acelerador Linear, cabendo destacar o interêsse do Eng<sup>o</sup>. Newton Magalhães Sanches nos resultados obtidos.

Ao Prof. J. Goldemberg, pelas facilidades de irradiação com o Reator do Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

Aos meus colegas da Divisão de Física de Neutrons A. M. Gonçalves, D. Russo, L.F. Canto, N.M. Lisbona, L.P. Calôba e A. Lima Filho, pela grande colaboração prestada durante o presente trabalho.

Aos técnicos L.F. Paiva, C. Lopes, M.C. Silveira, J. M. Vasconcellos, E.S. Jacomino e A.M. Ribeiro, por tornarem mais fácil a concretização desta tese.

às Instituições: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Conselho Nacional de Pesquisas, Centro Latino Americano de Física e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio recebido até a presente data.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

À MINHA ESPÔSA  
AOS MEUS PAIS

# I N D I C E

Resumo

Agradecimentos

CAPÍTULO I - Introdução	1
I. 1    Histórico	2
I. 2    Objetivos	8
CAPÍTULO II - Conceitos Teóricos	11
II. 1    Modêlo de de-Shalit	13
II. 2    Cálculos de Kisslinger e Sorensen	15
CAPÍTULO III - Técnicas Experimentais	21
III. 1    Instrumentação	21
III. 1. 1    Preparação das Fontes Radiativas	21
III. 1. 2    Espectroscopia Gama com uma via de Análise	24
III. 1. 3    Espectroscopia Gama com duas vias de Análise	32
III. 1. 4    Espectroscopia Gama com três vias de Análise	34
III. 2    Tratamento dos Dados Experimentais	38
III. 2. 1    Espectroscopia Gama com uma via de Análise	39
III. 2. 1. 1    Determinação das Energias	39
III. 2. 1. 1. 2    Determinação das Intensidades Relativas	39
III. 2. 1. 1. 3    Determinação das Meias-Vida	40
III. 2. 2    Espectroscopia Gama com duas vias de Análise	43
III. 2. 3    Espectroscopia Gama com três vias de Análise	44

CAPÍTULO IV - Resultados Experimentais	47
IV-1 Espectroscopia Gama Direta	47
IV.1.1 Transições seguindo o decaimento $\text{Ir}^{197} \longrightarrow \text{Pt}^{197}$	48
IV.1.2 Transições seguindo o decaimento da $\text{Pt}^{197\text{m}}$	51
IV.1.3 Transições seguindo o decaimento $\text{Pt}^{197} \longrightarrow \text{Au}^{197}$	55
IV.1.4 Transições seguindo o decaimento $\text{Pt}^{191} \xrightarrow{\text{EC}} \text{Ir}^{191}$	56
IV.1.5 Transições seguindo o decaimento da $\text{Pt}^{199}$	59
IV.1.6 Transições da $\text{Pt}^{195\text{m}}$	61
IV-2 Espectroscopia de Coincidência Gama-Gama	61
IV.2.1 Duas vias de Análise	62
IV.2.2 Três vias de Análise	64
IV.2.2.1 Coincidência com 130 Kev	64
IV.2.2.2 Coincidência com 279 Kev	66
IV.2.2.3 Coincidência com 268 Kev	66
IV.2.2.3 Coincidência com 191 Kev	68
IV-3 Conclusões	68
REFERÊNCIAS	74

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Os isótopos da Pt e do Au estão situados em uma região onde a forma estável do núcleo muda abruptamente de uma esfera (Pb e Hg) para um esferóide altamente deformado (Os).

O nosso conhecimento dos níveis de energia dos isótopos da Platina é ainda bastante incompleto. Os cálculos de Kisslinger e Sorensen<sup>1</sup> preveem energias razoavelmente baixas para os estados  $p_{1/2}$ ,  $p_{3/2}$ ,  $f_{5/2}$  e  $i_{13/2}$  nos isótopos de massa ímpar, porém experimentalmente eles não são ainda completamente determinados. Foram também observados um grande número de níveis excitados (acima de 500 Kev) nos isótopos de massa ímpar, por meio de reações (d, p) e (d, t)<sup>2</sup> e de experiências de captura radiativa parcial de neutrons de ressonância<sup>3</sup>, entretanto as informações sobre os spins e paridades desses níveis são bastante deficientes.

No caso do isótopo Au<sup>197</sup>, uma interpretação bastante simples dos níveis excitados foi dada por de-Shalit<sup>4, 5</sup> em termos do acoplamento do estado de próton  $3/2^+$  com o estado  $2^+$  do caroço par-par, porém há algumas discrepâncias entre os resultados experimentais observados nos decaimentos do Hg<sup>197m</sup>(24 h), Hg<sup>197</sup>(65 h), Pt<sup>197</sup>(18 h), Pt<sup>197m</sup>(80

uma nova atividade com período  $80 \pm 5$  min. Entretanto, êles não souberam determinar qual o isótopo da Platina responsável pelo decaimento, o que também não foi conseguido por Mock et al<sup>9</sup> em um trabalho posterior.

Sòmente em 1952, irradiando Platina natural no feixe de raios X de um sincrotron de 70 Mev, Christian et al<sup>10</sup> fizeram um estudo detalhado da atividade beta de 88 min, conseguindo atribuí-la a um estado metaestável do isótopo Pt<sup>197</sup>.

Os decaimentos da Pt<sup>197</sup> e do Hg<sup>197</sup> para o Au<sup>197</sup> foram estudados por Cork et al<sup>11, 12</sup>. Êles observaram diversas linhas de conversão interna do Au<sup>197</sup> e conseguiram determinar as posições das transições de 191.2 e 77.4 Kev no esquema de decaimento mostrado na Fig. I-1.

Um estudo bastante elaborado do decaimento Hg<sup>197</sup> — Au<sup>197</sup> por meio da reação Au<sup>197</sup>(p,n)Hg<sup>197</sup>, obtida no ciclotron da Universidade de Princeton, foi feito por Mihelich e de-Shalit<sup>13</sup>. Êles identificaram 16 linhas de conversão interna das transições de 77.4, 130.2, 191.3 e 279.3 Kev no Au<sup>197</sup> e mediram os seus coeficientes de conversão interna, usando um cintilador de NaI(Tl) na detecção dos raios gama. O esquema de decaimento proposto por êsses autores é apresentado na Fig. I-2.

Butement e Poe<sup>14</sup> estudaram sistematicamente os decaimentos de vários isótopos de Iridium formados através de reações (n,p), (n,pn) e ( $\gamma$ , p) na Platina natural. Uma transição gama de 1.8 Mev seguindo o decaimento Ir<sup>197</sup> 7 min Pt<sup>197</sup> foi detetada por êsses autores. É importante salientar que essa transição não foi encontrada por Homma et al<sup>15</sup> quando estudaram o decaimento do Ir<sup>197</sup> por meio da reação ( $\gamma$ , p) na Pla

$Au^{197}$  foram determinadas como sendo de 77;  $191.8 \pm 0.5$  e  $269.2 \pm 0.5$  Kev com intensidades 68.7, 15.6 e 1 respectivamente. O raio gama de 269.2 Kev foi mostrado ser proveniente da desexcitação do nível de 269, 1 Kev no  $Au^{197}$ , baseado na soma  $(191.8 \pm 0.5) + (77.345 \pm 0.04) = 269.1 \pm 0.5$ , onde o valor 77,345 Kev foi determinado por Marklund e Lindstron<sup>22</sup>. O esquema proposto por Helmer<sup>21</sup>, mostrado na Fig. I-5, indica que a transição de 279 Kev observada por Potnis<sup>20</sup> precede o nível 269, 1. Por outro lado, o raio gama de 273 Kev que Stelson<sup>19</sup> pensara ser unicamente devido à cascata 273+279 é, pelo menos em parte, resultante da desexcitação do nível 269, 1 Kev para o fundamental.

O decaimento do estado metaestável da  $Pt^{197}$  (80 min) foi pesquisado por Griesacker e Roy<sup>23</sup> com detetores de NaI(Tl) e Si(Li) para raios gama e partículas beta. Por meio de medidas de coincidência gama-gama, beta-gama e de considerações de meia vida, observaram várias transições que ainda não tinham sido detetadas anteriormente, introduzindo inclusive um nível em 155 Kev que contrariava os cálculos feitos para o  $Au^{197}$  por de-Shalit<sup>4, 5</sup>. Foi também admitida a existência de uma transição gama com período 2, 8 h alimentando o estado isomérico da  $Pt^{197}$ . A Fig. I-6 mostra o esquema proposto por êsses autores.

Os resultados obtidos por Prasad et al<sup>24</sup>, investigando o decaimento da  $Pt^{197m}$ , foram bastante diferentes. Eles não encontraram diversas transições no  $Au^{197}$  detetadas por Griesacker<sup>23</sup>, além de não observarem nenhuma atividade de 2, 8 h alimentando o estado metaestável da  $Pt^{197}$  (80 min). A observação de uma transição de 50 Kev em coinci-

em 280 Kev que ainda não foi observado em experiências de decaimento beta ou gama. Vários níveis observados por Mukherjee foram também excitados através de captura radiativa parcial de neutrons<sup>3</sup> na Pt<sup>196</sup>, sendo que a atribuição de spins e paridades para êsses níveis são bastante incertas.

Os decaimentos da Pt<sup>197</sup>(18 h) e Pt<sup>197m</sup>(80 min) foram também investigados por Haverfield et al<sup>26</sup> com detetores de Ge(Li) e Si(Li). O coeficiente  $\alpha_k$  e a relação  $\frac{K}{L}$  da transição de 191 Kev no Au<sup>197</sup> foram medidos e a transição interpretada como sendo do tipo M 1 + 28% E2 ao invés de M 1-EO. O nível de 268 Kev foi então determinado ser  $\frac{3^+}{2}$ , o que é consistente com os cálculos de de-Shalit<sup>4,5</sup>. Também não foram confirmados os resultados de Griesacker e Roy<sup>23</sup>, pois o raio gama de 202 Kev foi visto ter uma intensidade de 5% do de 279 Kev, enquanto que êsses últimos autores indicam que a transição de 202 Kev é mais intensa que a de 279 Kev.

Em um trabalho mais recente, Bashandy e Migahed<sup>27</sup> investigaram as linhas de conversão interna e externa dos decaimentos da Pt<sup>197m</sup> e Pt<sup>197</sup> por meio de um espectrômetro beta de alta resolução (0,15%). A transição de 269 Kev citada anteriormente foi verificada ser composta de duas transições ainda não resolvidas: uma de energia  $268,2 \pm 0,2$  Kev com período de 18 h e outra  $269,1 \pm 0,2$  Kev e período 86 min. Além disso, foi observada uma transição de  $548,4 \pm 0,4$  Kev, mostrando que o nível 548,4 Kev é alimentado pelo decaimento beta da Pt<sup>197m</sup>, o que permitiu que a transição de 269,1 Kev fosse interpretada como devido à desexcitação 548,4 - 279,3 Kev. A transição de 202 Kev (279 - 77) mencionada por

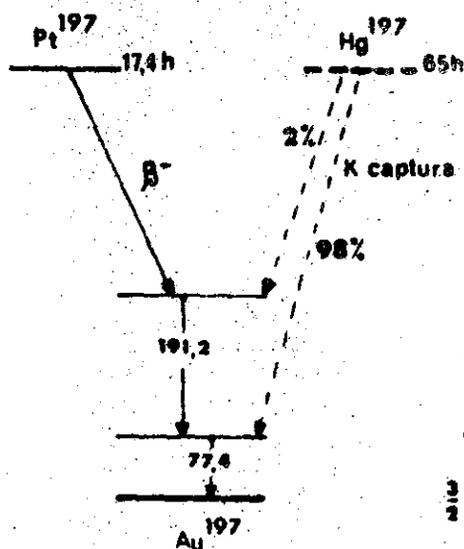


Fig. I-1  
Ref. 11

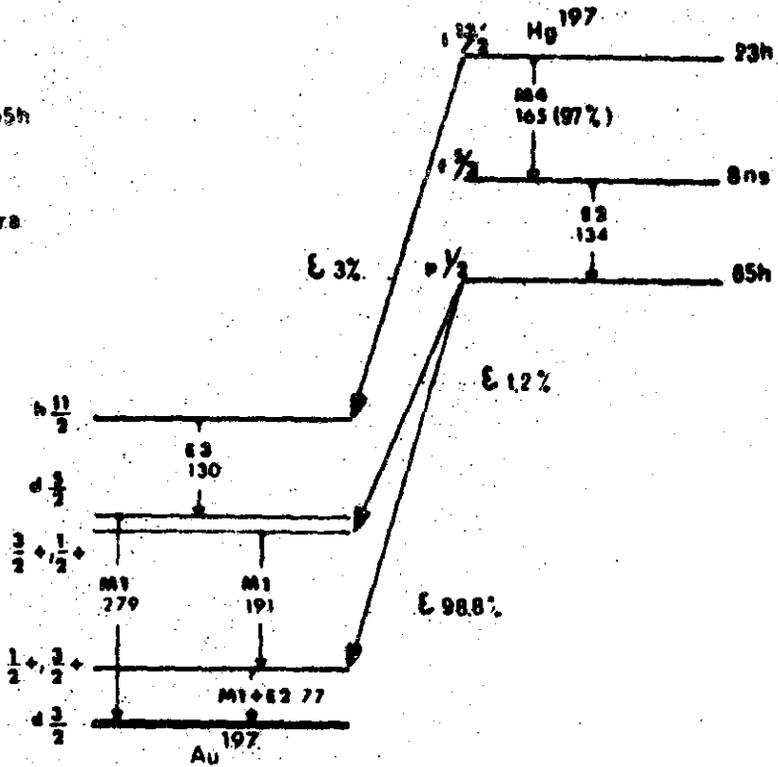


Fig. I-2  
Ref. 13

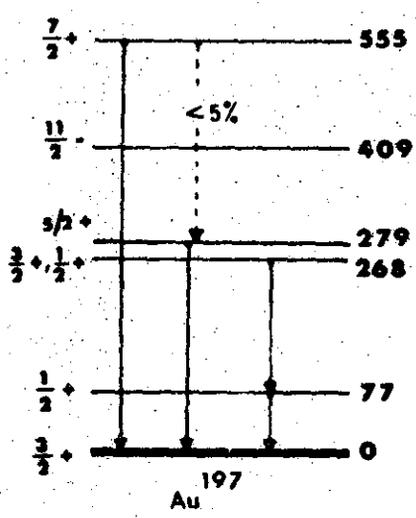


Fig. I-3  
Ref. 18

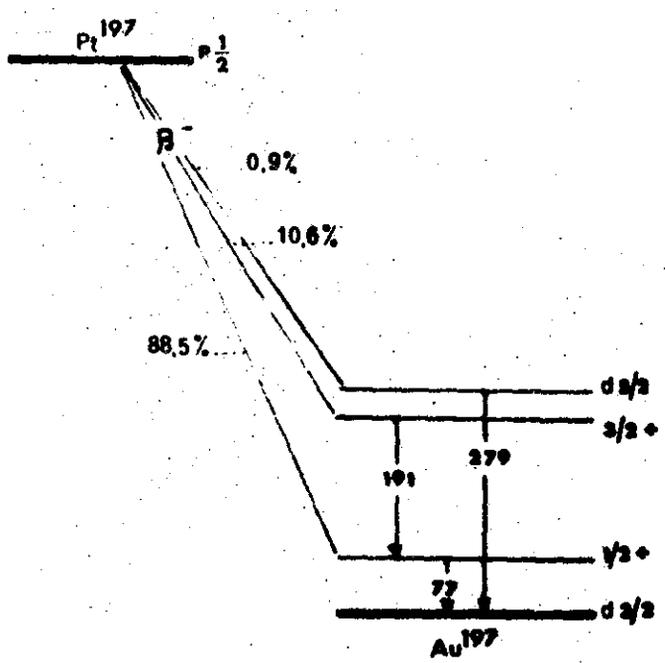


Fig. I-4  
Ref. 20

## CAPÍTULO II

### CONCEITOS TEÓRICOS

A dificuldade fundamental no estabelecimento de uma boa teoria de estrutura nuclear é o conhecimento impreciso da natureza das interações entre os nucleons. Além disso, mesmo admitindo a hipótese de que a Mecânica Quântica seja aplicável sem restrições ao caso nuclear, o que já é pôsto em dúvida por alguns autores<sup>29, 30</sup>, a resolução da equação de Schrödinger para um sistema de "A" partículas é ainda um problema extremamente complexo.

Para contornar essas dificuldades e resolver em parte o problema, introduzimos os chamados **MODÉLOS NUCLEARES**.

O modelo das camadas substitui o problema real de A nucleons em interação por um outro mais simples, onde cada nucleon se move independentemente em um potencial médio gerado pelos (A-1) nucleons restantes. Um dos potenciais que pode ser introduzido, e de frequente uso, é o do tipo oscilador harmônico corrigido com uma interação spin-órbita<sup>31</sup>. A resolução da equação de Schrödinger à um nucleon leva a uma sequência de estados que são preenchidos independentemente pelos A nucleons.

Essas suposições permitiram prever com bastante sucesso algumas propriedades de núcleos com A ímpar, além de explicar a excepcional estabilidade de núcleos com números mágicos de prótons e de neutrons.

mento de um par de prótons dando um  $J_p \neq 0$ , que acopla com  $j_n$  resultando o momento angular total  $J$ .

De-Shalit<sup>4</sup> fez uma generalização dessa idéia, considerando alguns estados excitados de núcleos de  $A$  ímpar como excitações do carôço par-par acoplada ao nucleon ímpar em seu estado de menor energia.

Kisslinger e Sorensen<sup>1</sup> fizeram cálculos detalhados para investigar os estados de baixa energia de núcleos não muito afastados das camadas fechadas. Eles aproximaram a parte de curto alcance das interações residuais por uma força de emparelhamento entre os neutrons e os prótons. Foi também assumida uma força do tipo quadrupolar entre todos os pares de partículas.

Descreveremos de uma maneira sucinta os resultados obtidos por êstes autores para os núcleos que foram estudados neste trabalho,  $Au^{197}$  e  $Pt^{197}$ .

## II. 1 - MODÉLO DE DE-SHALIT

A interpretação de níveis de energia de alguns núcleos com  $A$  ímpar foi feita por de-Shalit<sup>4</sup> através de um modelo simples, sendo importante salientar que resultados bastante significativos foram encontrados<sup>5</sup> para o isótopo  $Au^{197}$ .

Os níveis excitados de núcleos ímpar-par foram investigados representando os estados quânticos de tais núcleos pelos

Ket  $|J_c j, JM\rangle$ , onde  $J_c$  e  $j$  são os momentos angulares do carôço e do nucleon extra-carôço e  $J$  é o momento angular total, com  $J_z = M$ . Na

Com esse esquema simples, de-Shalit calculou o momento magnético do estado  $\frac{1}{2}^+$  do  $\text{Au}^{197}$ , tendo encontrado o valor  $0,60 \pm 0,04$  m. n. Este valor é bastante diferente dos momentos magnéticos dos estados  $S_{\frac{1}{2}}$  dos isótopos de  $\text{Tl}$ , porém está em boa concordância com o valor experimental. Além disso, foram determinadas probabilidades de transição E2 e previstas vidas média e momentos estáticos de níveis excitados do  $\text{Au}^{197}$ .

## II. 2 - CÁLCULOS DE KISSLINGER E SORENSEN

A principal dificuldade no cálculo dos níveis excitados de núcleos não deformados está na estimativa das interações residuais entre os nucleons fora das camadas fechadas.

A observação de que  $J = 0$  para os núcleos par-par, no estado fundamental, é uma forte indicação de que as forças nucleares causam o emparelhamento de nucleons iguais em estados com  $J = 0$ .

Sendo assim, a parte de curto alcance das forças residuais pode ser aproximada pelo uso da interação de emparelhamento. Esta interação é um dos elementos essenciais do modelo da supercondutividade, cuja aplicabilidade ao caso nuclear foi realçada por Bohr et al<sup>37</sup> e Belyaev<sup>38</sup>.

É também necessária a suposição de uma interação residual de longo alcance, para descrever o comportamento coletivo dos núcleos. Embora seja conhecido que a deformação do deuteron resulta de forças tensoriais, é mais conveniente introduzir uma interação com propriedades analíticas mais simples, como a força do tipo quadrupolar sugerida

por Elliot<sup>39</sup>.

sobre os estados de núcleos com número ímpar de neutrons. Os níveis de energia das quase-partículas, na ausência da interação quadrupolar, estão mostrados em linhas cheias enquanto que os estados de baixa energia levando em conta a interação quadrupolar são mostrados em linhas pontilhadas.

Os níveis de energia previstos por Kisslinger e Sorensen para os isótopos ímpar são apresentados na Fig. II-3. Os círculos mostram os níveis observados experimentalmente.

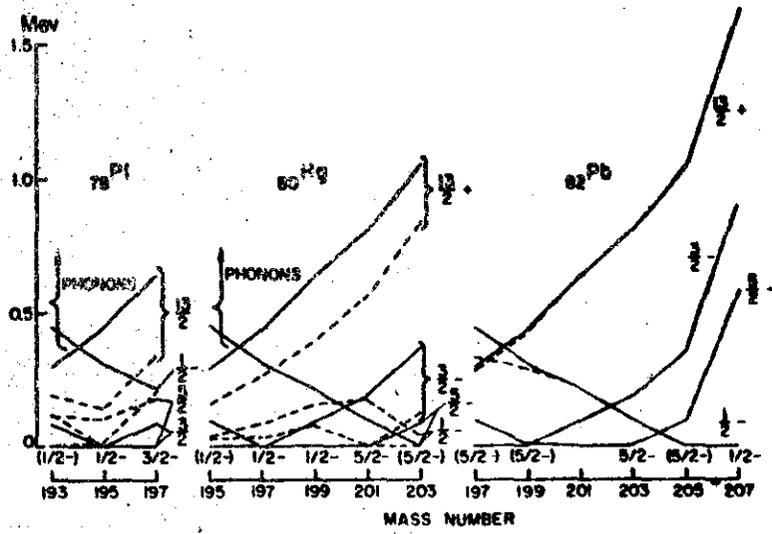


Fig. II-2  
Ref. 1

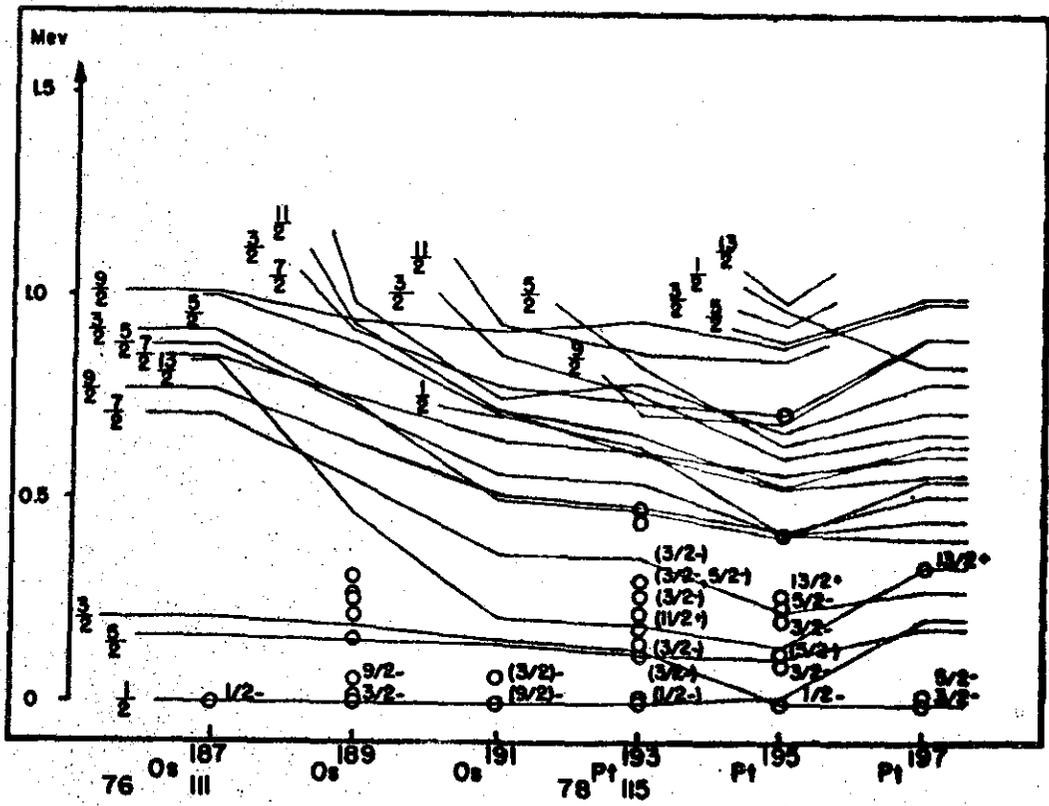


Fig. II-3  
Ref. 1

## CAPÍTULO III

### TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo faremos uma descrição das técnicas experimentais utilizadas na preparação das fontes radiativas e na detecção e análise da radiação gama proveniente das mesmas. Descreveremos de uma maneira sucinta a sequência de Instrumentação utilizada nas medidas de espectroscopia gama com 1, 2 e 3 vias de análise assim como os métodos por nós empregados no tratamento dos dados experimentais.

Dividiremos o capítulo em duas partes, a saber:

- Instrumentação
- Tratamento dos dados

#### III. 1 - INSTRUMENTAÇÃO

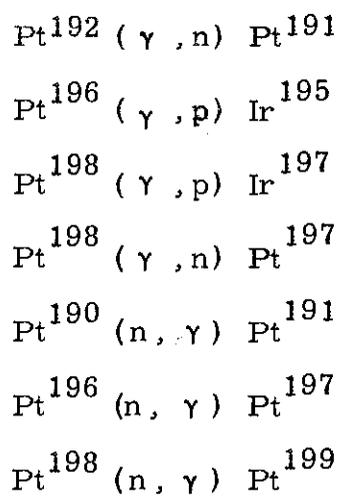
Esta parte será subdividida em quatro seções:

- a) preparação das fontes radiativas
- b) espectroscopia gama com uma via de análise
- c) espectroscopia gama com duas vias de análise
- d) espectroscopia gama com três vias de análise

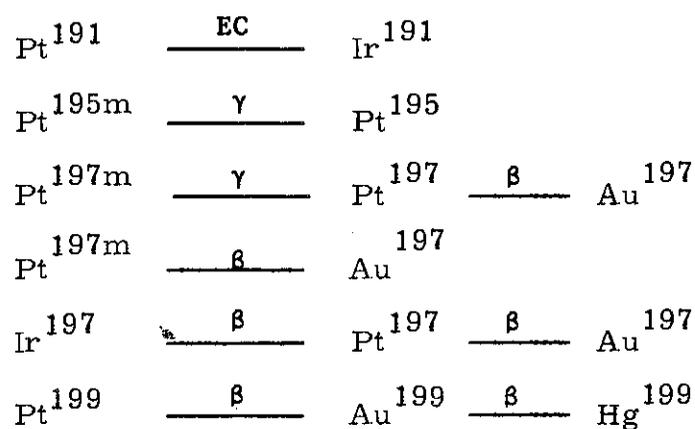
#### III. 1.1 - PREPARAÇÃO DAS FONTES RADIATIVAS

Na preparação das fontes radiativas foram utilizados:

- 1) O feixe de bremsstrahlung do Acelerador Linear de Elétrons do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas<sup>41</sup>, cujas características são as seguintes:



o que nos permitiu observar transições gama provenientes dos seguintes decaimentos:



Nas irradiações com neutrons térmicos foram formados os isótopos radiativos  $\text{Pt}^{197}$  e  $\text{Pt}^{199}$  com muito maior rendimento que os demais, como mostra a TABELA III. 2.

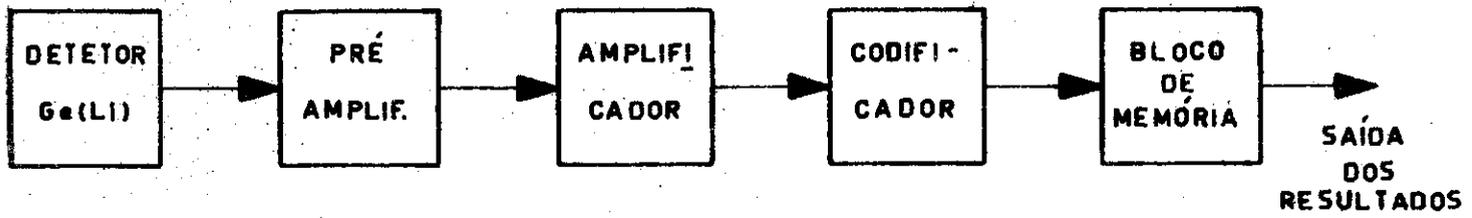


Fig. III-1

DIAGRAMA EM BLOCO: 1 VIA DE ANÁLISE

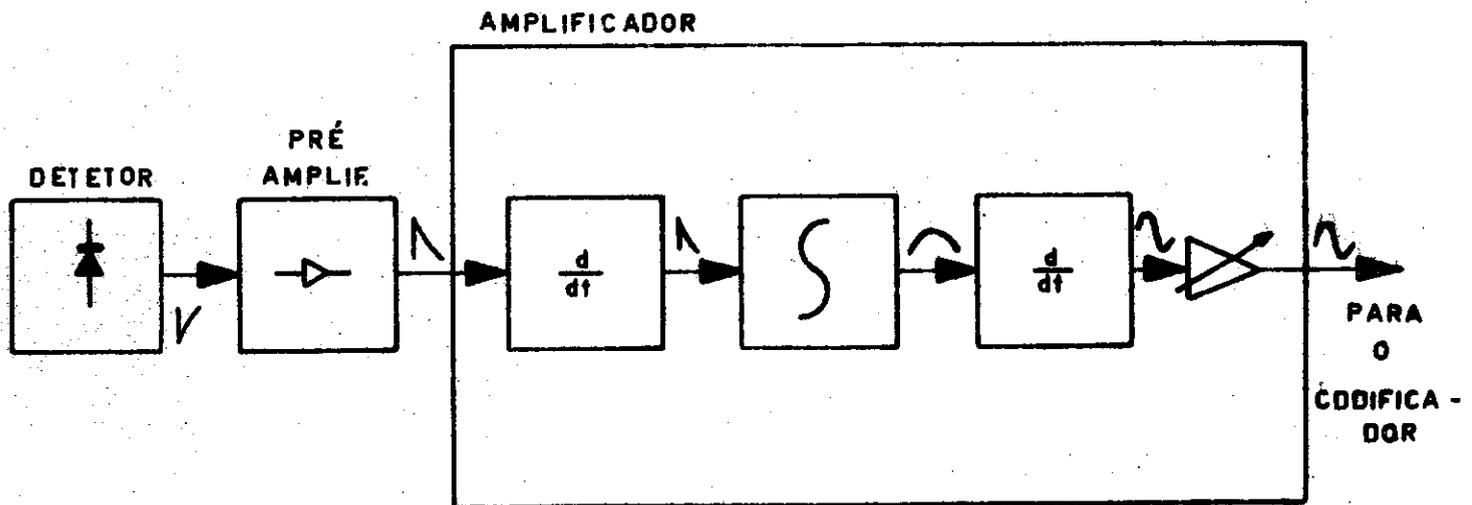


Fig. III-5

DUPLA DIFERENCIAÇÃO

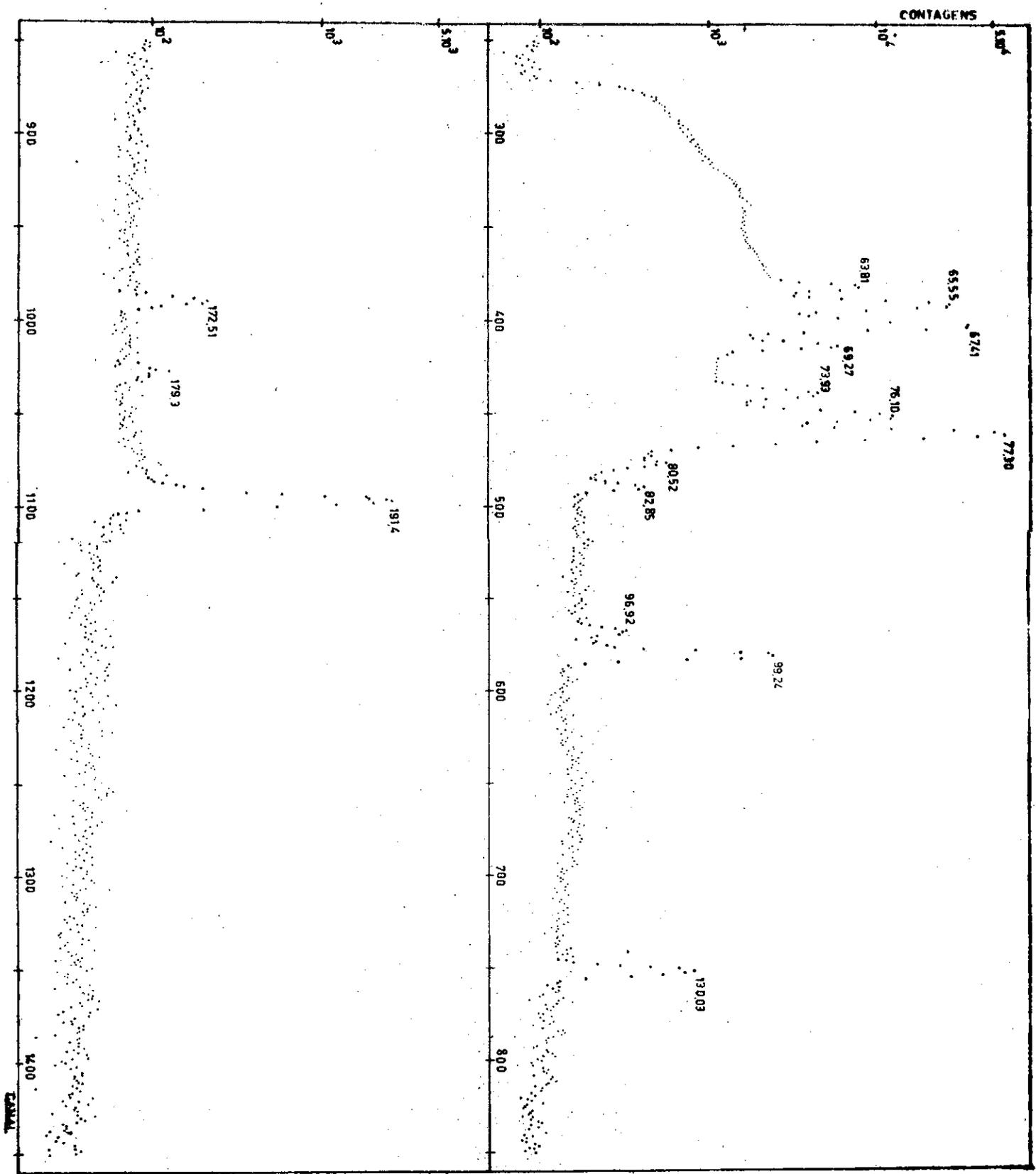


Fig. III-2 Detetor 1.0 cm<sup>3</sup>

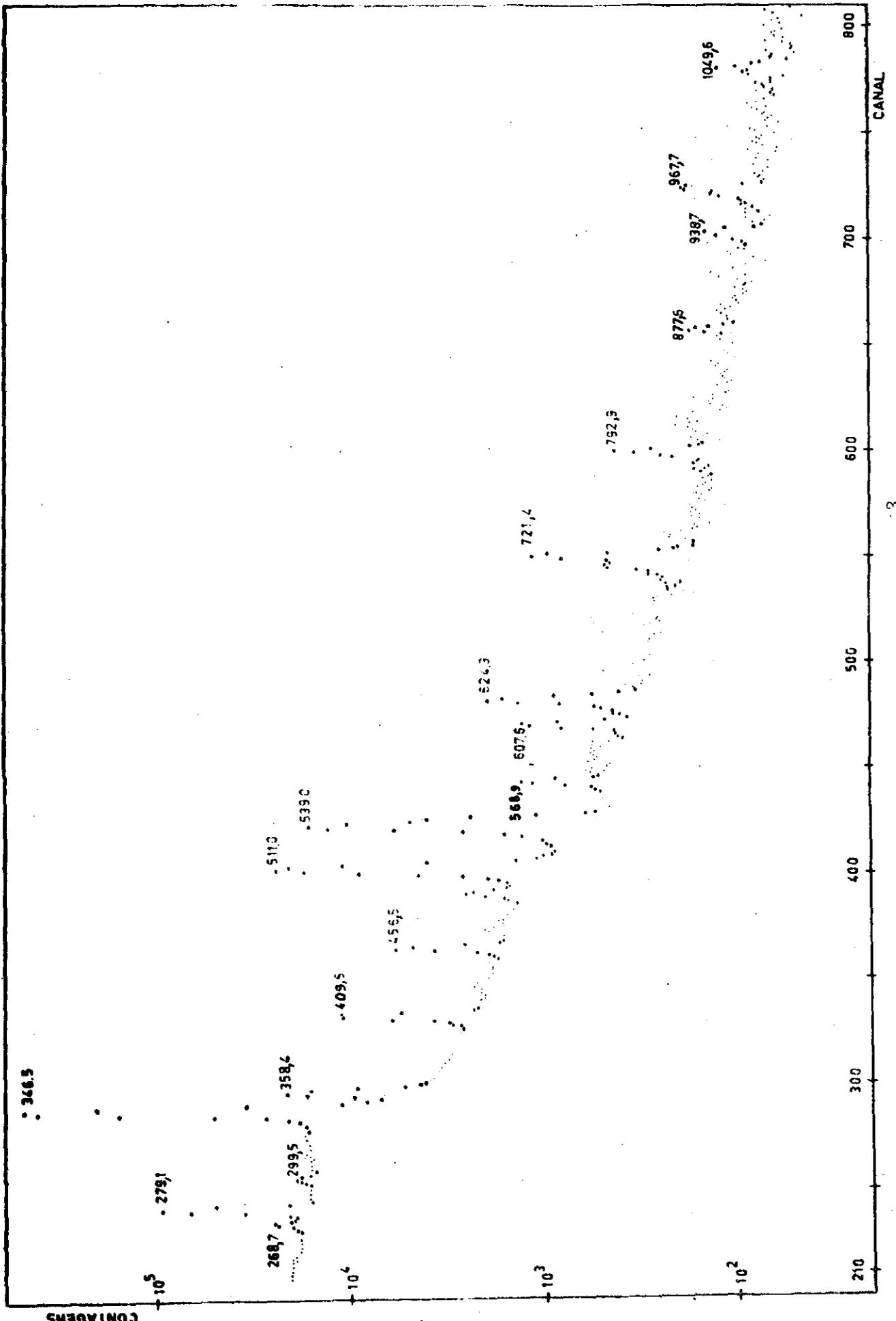


Fig. III-4 Detetor 30 cm<sup>3</sup>

campo na entrada e trabalhando à temperatura ambiente.

O Pré-Amplificador usado para as medidas com o espectrômetro de raios X (detetor de  $1.0 \text{ cm}^3$ ) foi um ORTEC MODÉLO 109 PC com um transistor de efeito de campo na entrada refrigerado à temperatura de  $-190^\circ \text{C}$ , o que diminui consideravelmente o ruído térmico do transistor e melhora bastante a resolução do sistema.

### AMPLIFICADORES

Os Amplificadores empregados foram ORTEC MODÉLO 485 funcionando com dupla diferenciação, uma vez que a taxa de contagem, nesse trabalho, foi bastante alta ( $>1000$  contagens/seg) e o efeito de empilhamento (PILE-UP) se fazia sentir.

A Fig. III. 5 mostra a dupla diferenciação em detalhe.

### CODIFICADORES

Foram utilizados codificadores analógico-digital Intertechnique Tipo CA-13 que aceitam na entrada pulsos unipolar ou bipolar com amplitudes entre 0 e + 10 V e distribuem os resultados da conversão, em código binário, para 12 bits paralelos ( $2^{12} = 4096$  canais). Os analisadores apresentam erros de linearidade integral de 0,1 %.

### BLOCOS DE MEMÓRIA

Os blocos de memória empregados foram Intertechnique Tipo BM-96B que fazem a estocagem dos pulsos de entrada já codificados pelo CA-13.

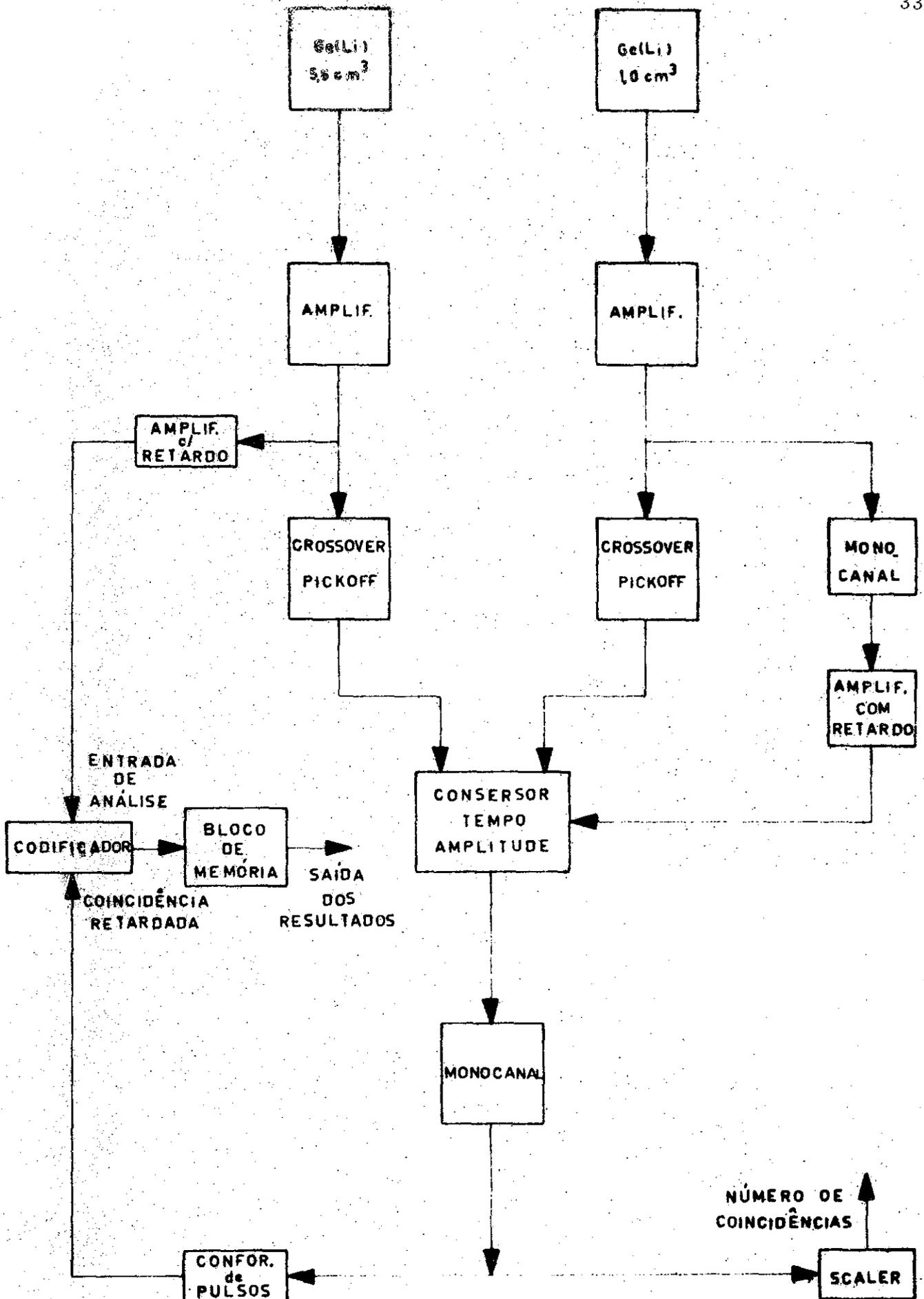


Fig. III-6.

DIAGRAMA EM BLOCO: 2 VIAS DE ANÁLISE

é a verificação, com uma só experiência, de tôdas as possíveis coincidências existentes entre os raios gama provenientes de nossa fonte radiativa.

A principal vantagem das três vias de análise é a possibilidade de selecionarmos várias transições em um dos detetores e examinarmos os respectivos espectros em coincidência no outro detetor, dentro de um subintervalo qualquer de tempo, desde que este esteja contido no intervalo 0 - 200 nseg. Isto fornece uma grande maleabilidade para estudarmos transições com períodos curtos ou intensidades baixas, evitando a repetição de várias irradiações.

O diagrama utilizado nessas medidas com três vias de análise é apresentado na Fig. III. 7 e tem os seguintes elementos:

- 1) detetores Ge(Li) de 1.0 e 5.6 cm<sup>3</sup>
- 2) amplificadores ORTEC MODÉLO 485
- 3) crossover pickoff ORTEC MODÉLO 407
- 4) amplificador com retardo ORTEC MODÉLO 427
- 5) conversor tempo amplitude ORTEC MODÉLO 437A
- 6) codificadores Intertechnique tipo CA-13
- 7) codificador Intertechnique tipo C 97
- 8) gerador de pulsos Tektronix tipo R 116
- 9) sistema de registro e leitura em fita magnética

O princípio de funcionamento do circuito é o seguinte:

Os pulsos duplamente diferenciados que saem do estágio de amplificação são processados pelo conversor tempo amplitude (200 nseg = 10 V), após terem tido seus tempos bem definidos pelos crossover-pickoff.

Os amplificadores com retardo são ajustados para que as três informações cheguem simultaneamente nos três codificadores. Os

codificadores 1 e 3 farão a análise das energias (amplitudes) dos raios gama que incidem nos detetores de  $5,6 \text{ cm}^3$  e  $1,0 \text{ cm}^3$  respectivamente. O codificador 2 fará a análise do intervalo de tempo entre dois raios gama incidindo nos dois detetores, desde que este esteja compreendido entre 0 e 200 nseg.

O pulso proveniente do conversor tempo amplitude provoca o envio, pelo codificador 2, de um sinal de banda para os geradores 1 e 2. O gerador 1, ao receber o sinal de banda, envia um pulso de  $5 \mu \text{ seg}$  autorizando a análise da coincidência por meio dos codificadores 1 e 3. O gerador 2 recebe o sinal de banda e,  $120 \mu \text{ seg}$  depois, envia um pulso de  $1 \mu \text{ seg}$  autorizando a transferência externa das três informações. A escolha do retardo de  $120 \mu \text{ seg}$  foi feita baseada no máximo tempo necessário à análise nos três codificadores. As três informações são enviadas, simultaneamente, para um sistema de registro em fita magnética.

A leitura das fitas pode ser realizada com imposição de condições nas três vias, como será descrito a seguir.

O sistema de registro e leitura das fitas magnéticas foi uma cadeia multiparamétrica Intertechnique constituída dos seguintes elementos:

- 1) Agulhador AP 19
- 2) Memória Intermediária BM 10
- 3) Sistema de registro e leitura em fita magnética BK 33 - RG 32
- 4) Agulhador AP 20
- 5) Condicionador Principal de leitura AP 22
- 6) Condicionador Secundário de leitura AP 25
- 7) Matriz de Condicionamento U 67
- 8) Bloco de Memória BM 96

### III. 2.1 - ESPECTROSCOPIA GAMA COM UMA VIA DE ANÁLISE

#### III. 2.1.1 - DETERMINAÇÃO DAS ENERGIAS

Como o codificador utilizado nesse trabalho apresenta um desvio da linearidade de 0,1 %, não podemos determinar as energias dos raios gama com bastante precisão usando apenas uma reta de calibração CANAL X ENERGIA.

Sendo assim, utilizamos um programa de computador que determina a curva de calibração usando raios gama de fontes padrões bem conhecidas para interpolar um polinômio em C (número do canal) empregando o método dos mínimos quadrados. O grau do polinômio usado para representar esse conjunto de pontos é escolhido tendo como base o teste  $\chi^2$ , onde  $\chi^2$ , é definido como a relação entre a soma dos quadrados dos desvios e o grau de liberdade (número de pontos menos o número de parâmetros à determinar)<sup>43</sup>.

Os erros na determinação das energias das transições são devidos ao conhecimento impreciso da posição exata do máximo do fotopico, das energias dos padrões utilizados e da forma da curva de calibração.

A melhor determinação das energias foi obtida sempre com um polinômio do segundo grau.

#### III. 2.1.2 - DETERMINAÇÃO DAS INTENSIDADES RELATIVAS

Para a determinação das intensidades relativas dos raios gama, faz-se necessário o cálculo das áreas sob os fotopicos corrigi

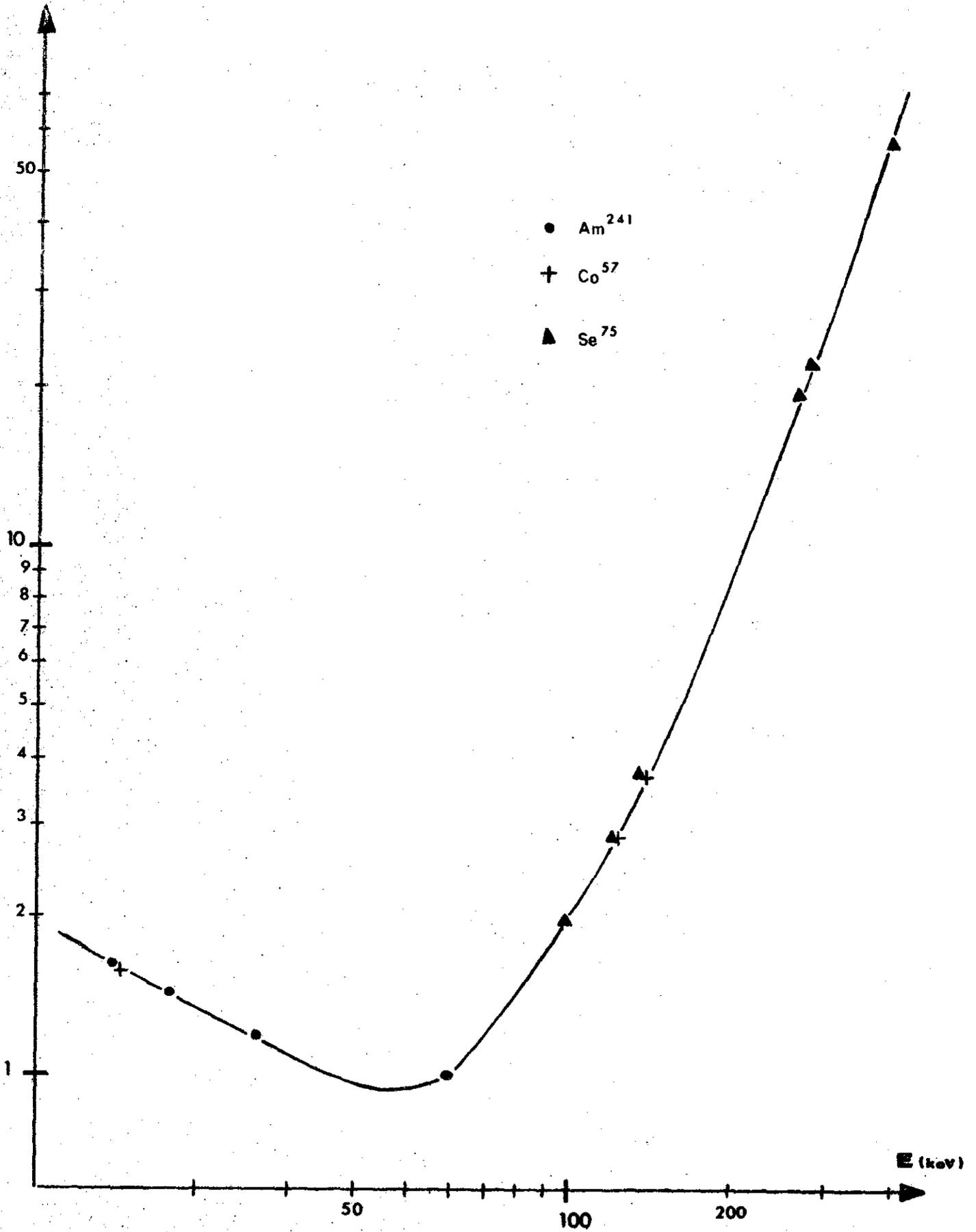


Fig. III-8 Curva de Eficiência  
Detetor  $1.0 \text{ cm}^3$

quência do logaritmo das contagens em tempo conhecidos.

O ajuste, pelo método dos mínimos quadrados, da melhor reta passando por êsse conjunto de pontos, permite a determinação da meia vida, com o respectivo êrro, da transição em questão.

A correção do tempo morto foi obtida dividindo-se a área sob os fotopicos por um fator igual ao quociente do número de raios gama analisados e do número de raios gama registrados numa escala rápida de contagens (25 MHz).

### III. 2.2 - ESPECTROSCOPIA GAMA COM DUAS VIAS DE ANÁLISE

Para a interpretação correta dos espectros de coincidência obtidos em nossas medidas com o dispositivo experimental mostrado na Fig. III. 6, é necessário determinar:

- o número de coincidências acidentais
- a forma de espectro de coincidências acidentais

A determinação do número de coincidências acidentais é feita medindo-se as taxas de contagem em cada uma das vias de análise por meio de uma escala rápida (SCALER), regulada de maneira a só registrar as impulsões que são analisadas pelo codificador CA 13. O número de coincidências acidentais é então dado por<sup>46</sup>

$$N_{A_c} = 2 T N_1 N_2$$

onde  $N_1$  e  $N_2$  designam as taxas de contagem na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> via, respectivamente e  $T$  é a resolução em tempo do conjunto de coincidência utilizado (70 nseg).

a leitura das fitas magnéticas com os seguintes condicionamentos.

### CONDICIONAMENTO EM ENERGIA

O condicionamento em energia foi feito selecionando-se primeiro a região correspondente ao fotopico da transição com a qual queremos examinar as coincidências no outro detetor e, a seguir, condicionando-se uma região adjacente ao fotopico a fim de obtermos informações concernentes ao fundo radiativo. A Fig. III. 10 ilustra bem o condicionamento em energia

### CONDICIONAMENTO EM TEMPO

O condicionamento do intervalo de tempo das coincidências foi feito selecionando-se primeiro uma região que corresponde às coincidências reais e, depois, uma região que corresponde às coincidências acidentais. A Fig. III. 11 mostra os detalhes do condicionamento em tempo.

Sendo assim, para cada raio gama selecionado, examinamos quatro espectros em coincidência:

- 1) espectro obtido selecionando o pico em questão e fazendo a seleção em tempo na região 40-100 nseg, que corresponde às coincidências reais.
- 2) espectro obtido selecionando o pico em questão e fazendo a seleção em tempo na região 140-200 nseg, que corresponde às coincidências acidentais.
- 3) espectro obtido selecionando uma região adjacente ao pico e fazendo a seleção em tempo na região 40-100 nseg.
- 4) espectro obtido selecionando uma região adjacente ao pico e fazendo a seleção em tempo na região 140-200 nseg.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Utilizando as técnicas experimentais descritas no capítulo anterior, analisamos em detalhe os vários espectros, direto e em coincidência, dos raios gama provenientes de nossas fontes radiativas.

A principal dificuldade, ou melhor, a parte mais árdua dêsse trabalho, foi a identificação dos vários isótopos radiativos formados na amostra de Platina natural utilizada. Para cada espectro gama obtido nas diferentes irradiações com os feixes de bremsstrahlung (Acelerador) e de neutrons térmicos (Reator), foi preciso determinar com a maior precisão possível as meias-vida e intensidades relativas de tôdas as transições, que são em grande número.

A disponibilidade de isótopos separados ou de amostras enriquecidas, evitaria parte dêsse trabalho e aumentaria as possibilidades de observação de novas transições, que ficam algumas vêzes encobertas pelo grande fundo radiativo de outros isótopos ou então aparecem com uma estatística bastante baixa em presença do mesmo.

#### IV. 1 ESPECTROSCOPIA GAMA DIRETA

As várias transições gama observadas em nossas medidas com o dispositivo experimental mostrado na Fig. III-1 serão apresentadas. A comparação das nossas determinações de energias e intensidades relativas com os resultados obtidos por outros autores também será feita,

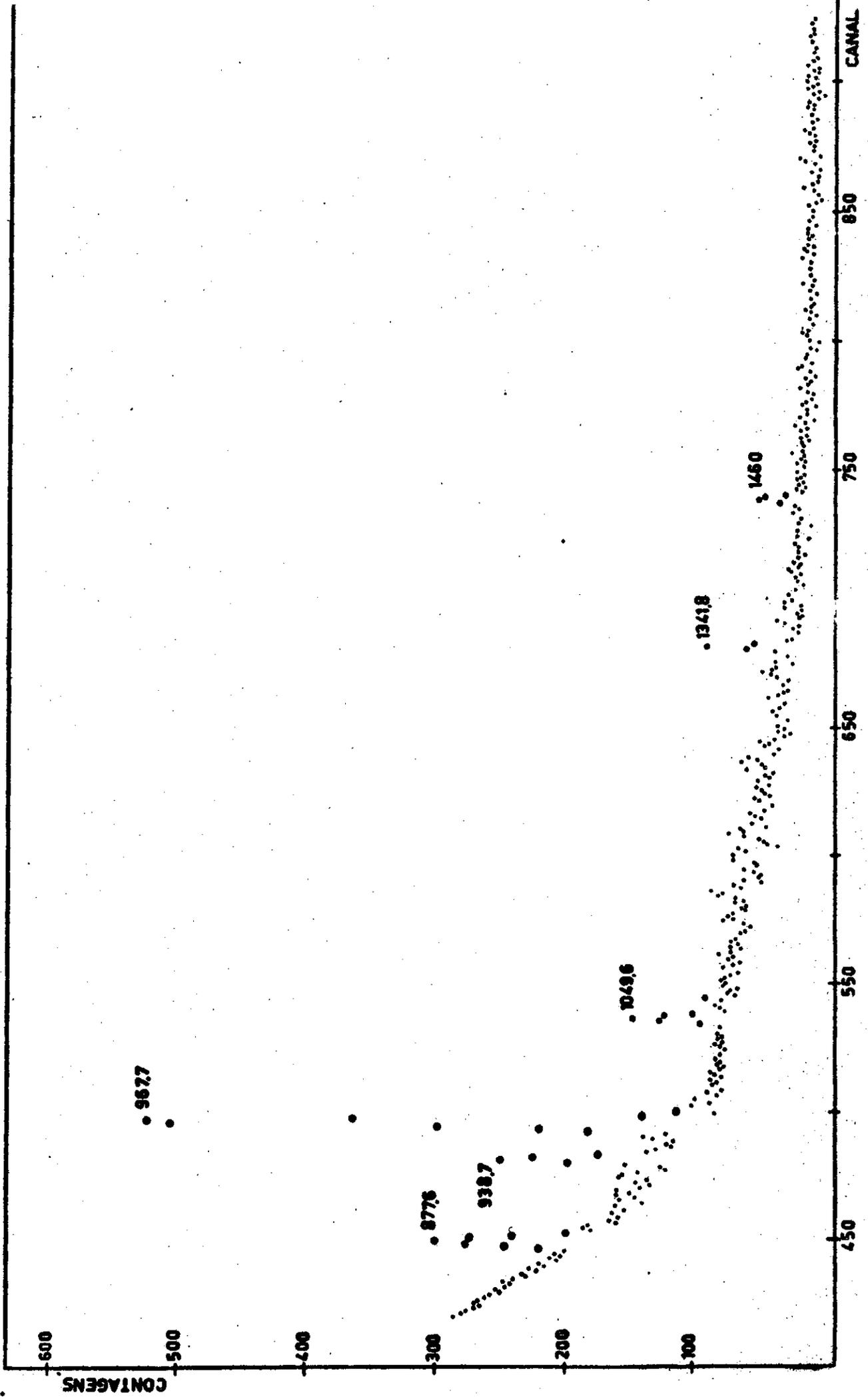


Fig. IV-1 Detetor 30 cm<sup>3</sup>

NOSSO TRABALHO $\text{Ir}^{197} \rightarrow \text{Pt}^{197}$	MUKHERJEE <sup>2</sup>		SAMOUR <sup>2</sup>
	$\text{Pt}^{196}(\text{d}, \text{p})\text{Pt}^{197}$	$\text{Pt}^{198}(\text{d}, \text{t})\text{Pt}^{197}$	$\text{Pt}^{196}(\text{n}, \gamma)\text{Pt}^{197}$
877,6 ± 0,3	880 ± 20	880 ± 20	-----
938,7 ± 0,3	-----	-----	965 ± 30
1049,6 ± 0,3	1070 ± 20	1050 ± 20	1076 ± 30
1341,8 ± 0,3	-----	1320 ± 20	-----

TABELA IV-2

Níveis de Energia da  $\text{Pt}^{197}$ IV. 1.2 TRANSIÇÕES SEGUINDO O DECAIMENTO DA  $\text{Pt}^{197\text{m}}$ 

A Fig. IV-2 mostra as transições gama com energia 346,5; 279,1 e 299,5 Kev, identificadas como pertencendo ao decaimento do estado isomérico da  $\text{Pt}^{197}$  (80 min).

As intensidades relativas foram determinadas e são mostradas na Tabela IV-3, onde fazemos a comparação com os resultados obtidos por Haverfield et al<sup>26</sup>.

NOSSO TRABALHO		HAVERFIELD ET AL <sup>26</sup>	
ENERGIA (Kev)	INTENSIDADE RELATIVA	ENERGIA (Kev)	INTENSIDADE RELATIVA
346,5 ± 0,2	100	346	100
279,1 ± 0,2	21 ± 2	279	21 ± 2
299,5 ± 0,2	0,9 ± 0,1	-----	-----

TABELA IV-3

Transições Gama seguindo o decaimento da  $\text{Pt}^{197\text{m}}$

#### IV. 1. 2. 1 OBSERVAÇÕES

1) A transição gama de 299,5 Kev teve sua meia-vida medida e o valor obtido foi  $85 \pm 6$  min. É importante assinalar que essa transição, cuja intensidade é 0,9% da de 346,5 Kev, não foi ainda detectada em trabalhos anteriores. Ela é interpretada como oriunda de um nível em 299,5 Kev na  $Pt^{197}$ , que deve ser o nível de  $280 \pm 20$  Kev proposto por Mukherjee<sup>2</sup>.

2) As nossas determinações em energia concordam com os valores de 346,6 e 279,3 Kev obtidos em um trabalho mais recente<sup>27</sup>.

3) As intensidades das transições gama de 346,5 Kev (M4) e 279,1 Kev (M1 + 13% E2), juntamente com os seus coeficientes de conversão teóricos<sup>47,48</sup>, 7,58 e 0,3 respectivamente, mostram que 3,1% das desexcitações do estado metaestável da  $Pt^{197}$  se dão por emissão  $\beta$  para o nível de 409 Kev do  $Au^{197}$ .

4) A transição de 202 Kev proveniente do nível de 279 Kev no  $Au^{197}$  (ver Fig. I-8) é pouco intensa, sendo a medida de sua intensidade relativa bastante imprecisa. Podemos, entretanto, associar o valor limite ( $< 0,4$ ) para a intensidade dessa transição, o que concorda com o valor obtido por Haverfield et al<sup>26</sup>.

5) A Fig. IV-3 mostra um espectro obtido com o detector de  $1.0 \text{ cm}^3$ , onde vemos o raio gama de  $50,32 \pm 0,04$  Kev resultante da desexcitação do nível  $\frac{5^-}{2}$  da  $Pt^{197}$ .

6) As transições gama de 548,4 e 269,1 Kev provenientes do nível de 548 Kev não foram observadas em nossas medidas com uma via de análise. A diminuição do fundo radiativo com medidas de coincidência poderia, entretanto, permitir o aparecimento desses raios gama e possibilitar a confirmação ou não do ramo beta da  $Pt^{197m}$  (80 min) para o nível de 548 Kev, proposto por Bashandy e Migahed<sup>27</sup>. Essas medidas serão descritas na Seção IV-2.

7) A transição de 130 Kev (E3) da  $Pt^{197m}$  é muito convertida e só apareceu nas medidas de coincidência, que mostraremos posteriormente quando discutirmos os resultados obtidos com 2 e 3 vias de análise. O raio gama de 129,8 Kev é uma mistura das transições da  $Pt^{191}$  e  $Pt^{195m}$ .

#### IV. 1. 3 TRANSIÇÕES SEGUINDO O DECAIMENTO $Pt^{197} \rightarrow Au^{197}$

As transições gama de 77,3; 191,4 e 268,7 Kev, identificadas como seguindo o decaimento da  $Pt^{197}$ , são mostradas na Fig. IV-3.

A comparação das nossas determinações de energias e intensidades relativas com os valores obtidos por Helmer e McIsaac<sup>49</sup> e Haverfield et al<sup>26</sup> é apresentada na Tabela IV-4.

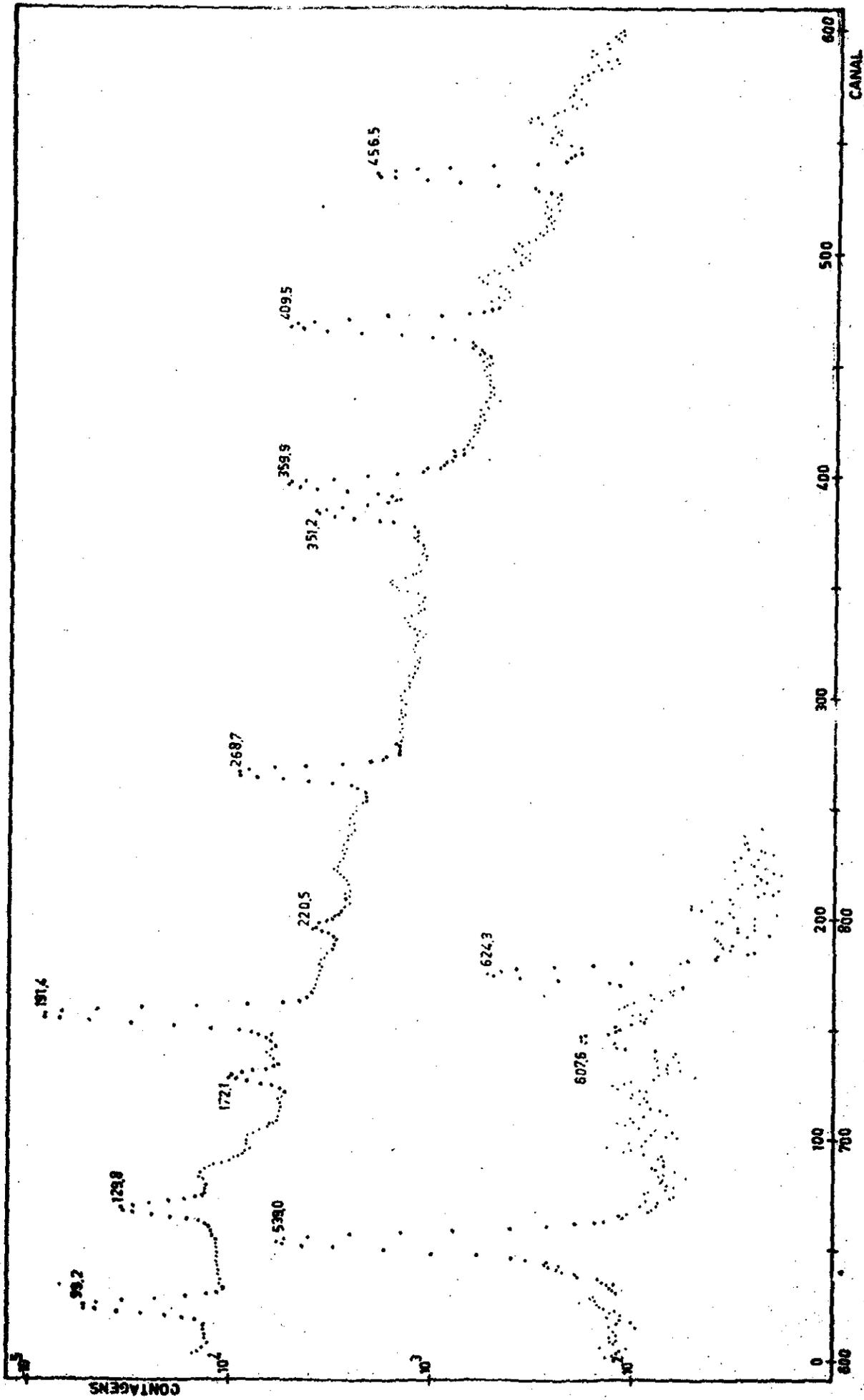


Fig. IV-4 Detetor 5,6 cm<sup>3</sup>

trado por Malmkog et al<sup>50</sup> consistir de três transições com energias 219,74; 221,78 e 223,76 e intensidades 10,9; 1,7 e 1,3 respectivamente, o que é concordante com a intensidade  $11 \pm 1$  encontrada no nosso trabalho.

#### IV. 1.5 TRANSIÇÕES SEGUINDO O DECAIMENTO DA Pt<sup>199</sup>

A Fig. IV-5 mostra as transições gama identificadas como resultantes do decaimento da Pt<sup>199</sup>. Esse espectro foi obtido em uma irradiação com o feixe de neutrons térmicos do Reator do Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

As energias e intensidades relativas encontradas no nosso trabalho são comparadas com os valores obtidos por Bäcklin et al<sup>51</sup> na Tabela IV-6.

NOSSO TRABALHO		BÄCKLIN ET AL <sup>51</sup>	
ENERGIA (Kev)	INTENSIDADE RELATIVA	ENERGIA (Kev)	INTENSIDADE RELATIVA
246,3 ± 0,2	15 ± 2	246,30 ± 0,07	16,4 ± 5%
316,8 ± 0,2	35 ± 3	316,88 ± 0,07	35 ± 5%
493,5 ± 0,2	37 ± 3	493,59 ± 0,1	40 ± 5%
542,8 ± 0,2	100	542,84 ± 0,06	100
714,3 ± 0,2	11 ± 1	714,17 ± 0,20	11,8 ± 6%
791,4 ± 0,2	6 ± 1	791,32 ± 0,20	6,47 ± 7%

TABELA IV-6  
Transições seguindo o decaimento da Pt<sup>199</sup>

#### IV. 1.5.1 OBSERVAÇÕES

1) A Fig. IV-5 mostra que as transições de 465,50 ; 467,95 e 474,55 Kev, observadas por Bäcklin et al<sup>51</sup>, não apareceram completamente definidas, devido ao alto fundo. Porém, um cálculo aproximado mostrou uma boa concordância entre as nossas intensidades e as encontradas pelos autores acima.

2) É interessante assinalar a presença das transições de 158,2 e 208,3 Kev do Hg<sup>199</sup>, resultantes do decaimento Pt<sup>199</sup> → Au<sup>199</sup> → Hg<sup>199</sup>. Esses devem ser os raios gama que Griesacker e Roy<sup>23</sup> interpretaram como transições de 155 e 202 Kev no Au<sup>197</sup>.

#### IV. 1.6 TRANSIÇÕES DA Pt<sup>195m</sup>

A formação do estado metaestável da Pt<sup>195</sup> foi verificada em nosso trabalho. O espectro mostrado na Fig. IV-3 apresenta os raios gama de  $30,82 \pm 0,03$ ;  $99,24 \pm 0,06$  e  $130,03 \pm 0,08$  Kev identificados como pertencendo ao decaimento da Pt<sup>195m</sup>.

#### IV- 2 ESPECTROSCOPIA DE COINCIDÊNCIA GAMA-GAMA

As medidas de coincidências gama-gama tiveram duas importâncias fundamentais nesse trabalho. Facilitar o posicionamento, em um esquema de níveis, das transições que ocorrem em um dado isótopo e permitir, em certos casos, a identificação do isótopo responsável por uma dada transição.

Fig.IV-6 COINCIDÊNCIA COM 268 Kev

Detetor 5,6 cm<sup>3</sup>

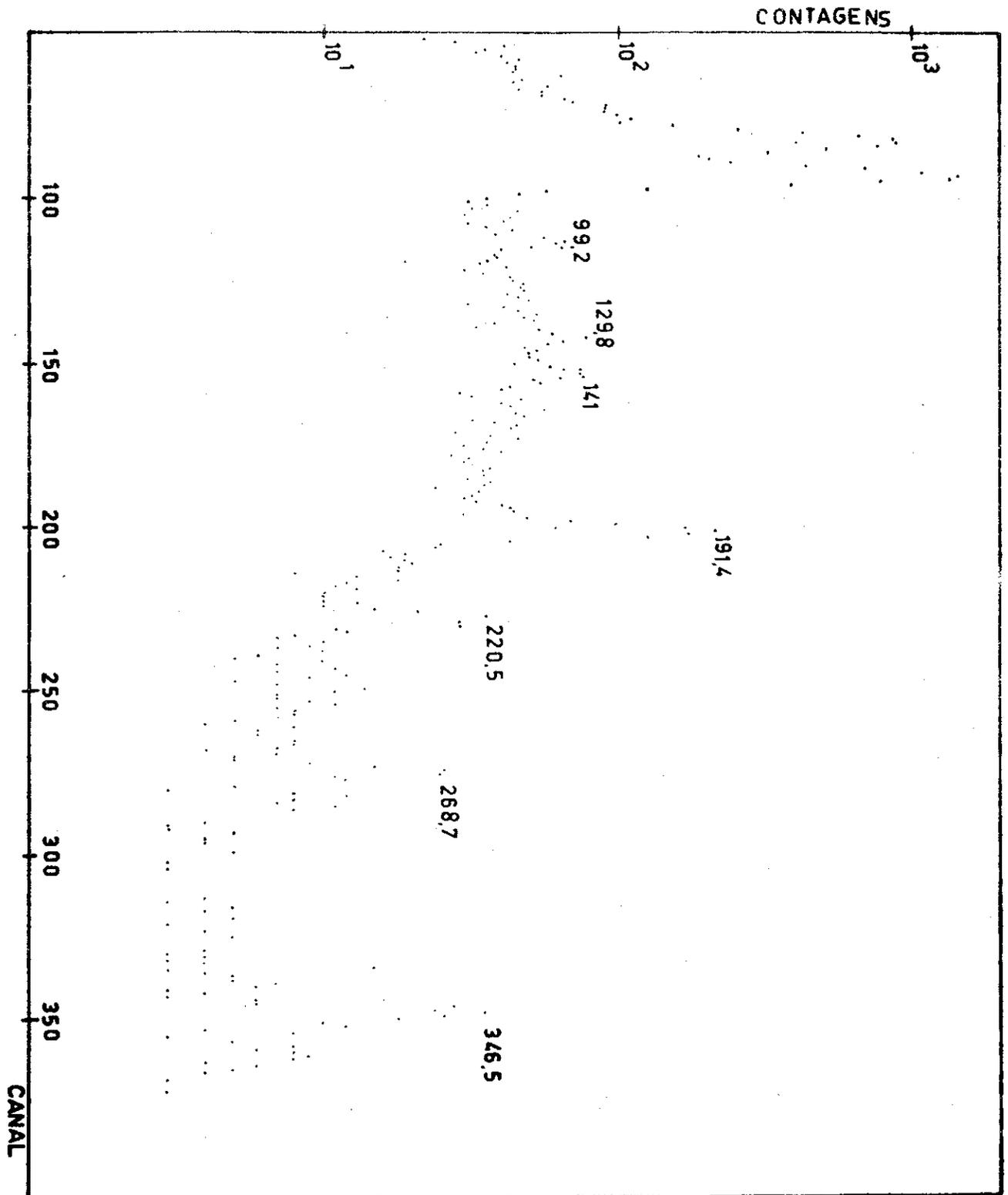


Fig. IV-7 COINCIDÊNCIA COM 130 Kev  
Detetor 5,6 cm<sup>3</sup>

A - Logo após a irradiação  
B - 6 horas após a irradiação

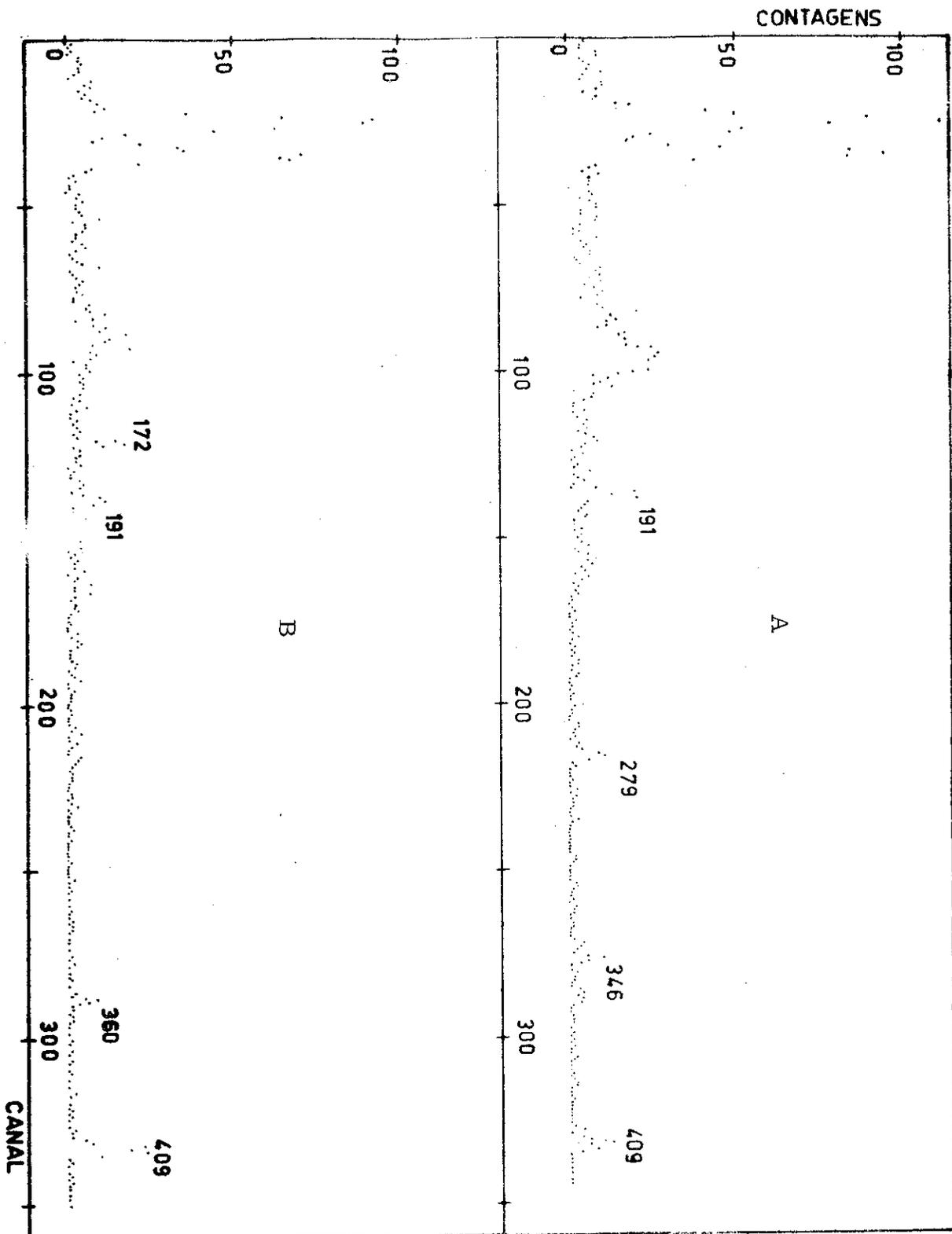


Fig. IV-9 COINCIDÊNCIA COM 268 Kev  
Detetor 5,6 cm<sup>3</sup>

A

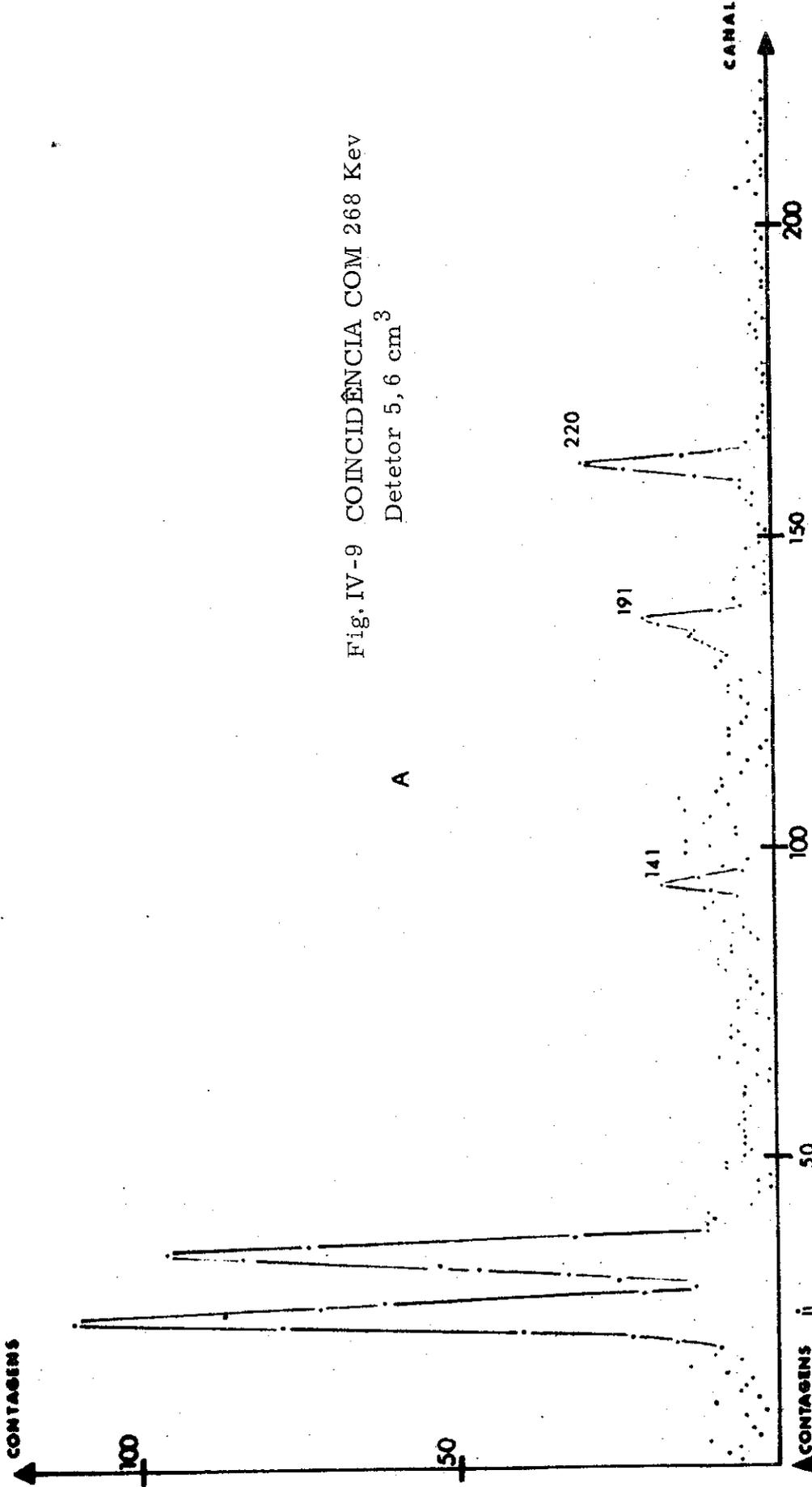
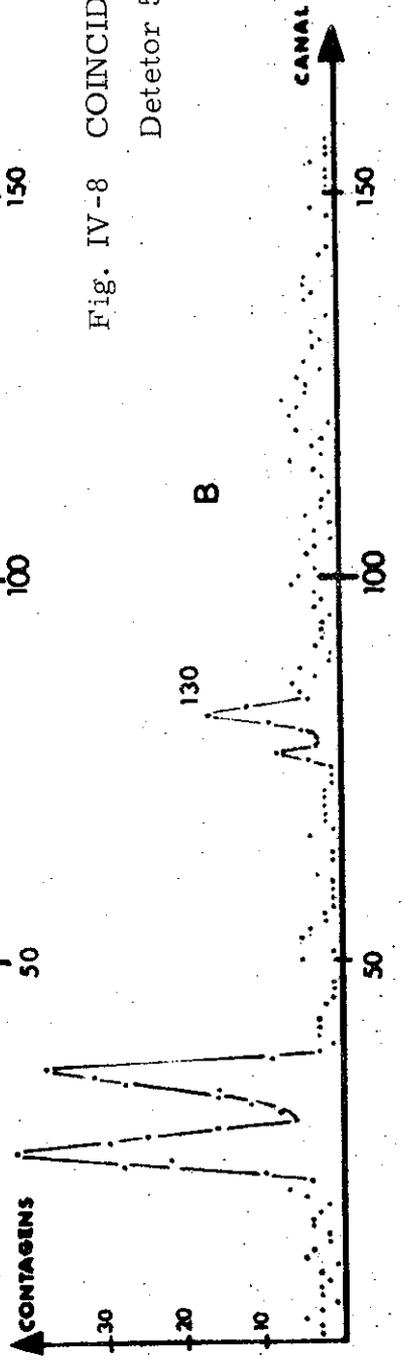


Fig. IV-8 COINCIDÊNCIA COM 279 Kev  
Detetor 5,6 cm<sup>3</sup>

B



CONTAGENS

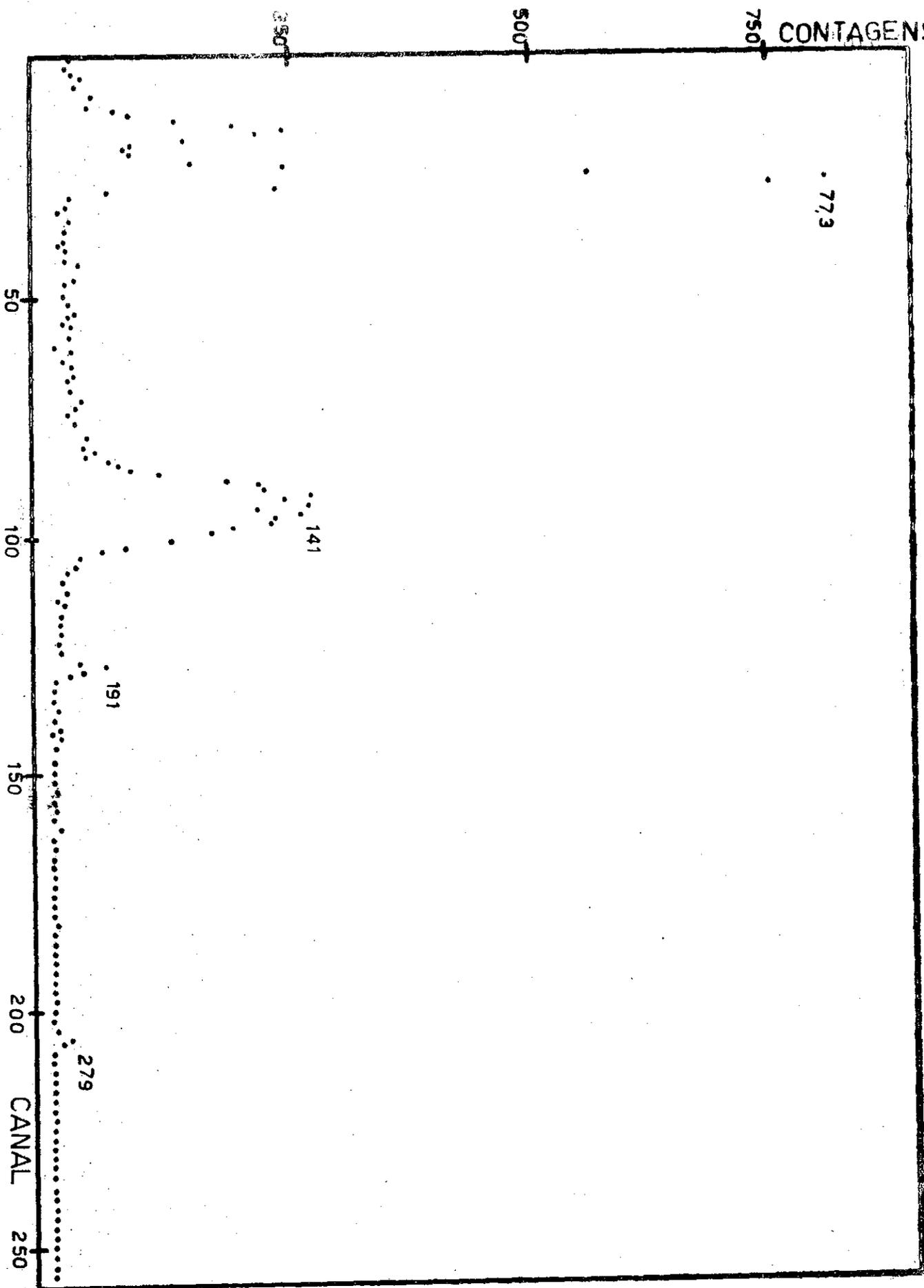


Fig. IV-10 COINCIDÊNCIA COM 191 KeV

Detector 5,6 cm<sup>3</sup>

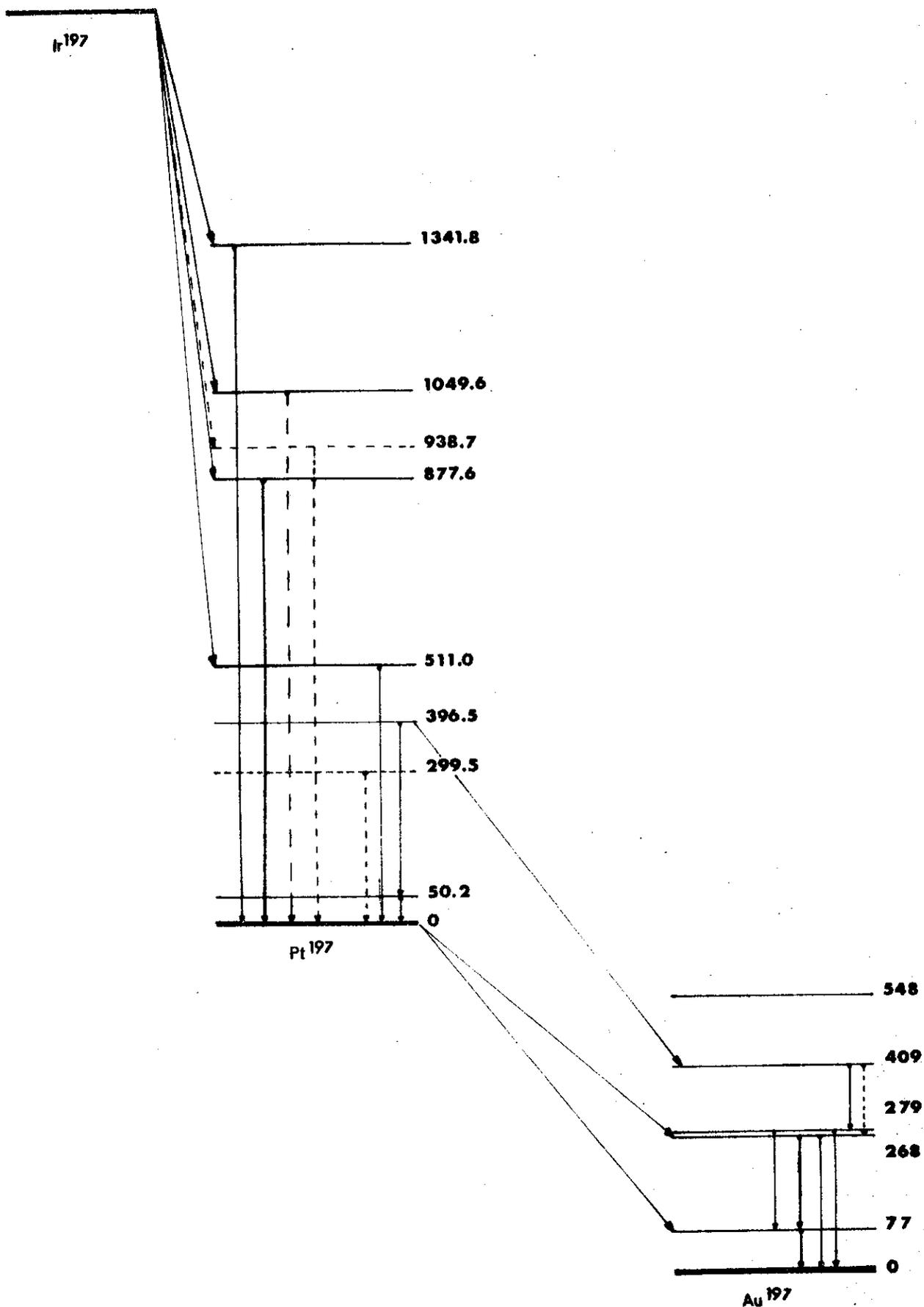


Fig. IV-12

- 26 - A. J. Haverfield, H. T. Easterday e J.M. Hollander, Nuclear Physics 64, 379 (1965)
- 27 - E. Bashandy e M. Migahed, Annalen der Physik, Vol. 7, Nº 20, 152 (1967)
- 28 - F. Smend, W. Weiranch, W.D. Schmidt-Ott e A. Flammersfeld, Z. Physik 191, 1 (1966)
- 29 - P. Marmier e E. Sheldon, Physics of Nuclei and Particles I, Academic Press 1969
- 30 - W.A. McKinley, Am. J. Phys. 28, 129 (1960)
- 31 - M.G. Mayer e J.H.D. Jensen, Nuclear Shell Structure, John Wiley & Sons, 1955
- 32 - A. Bohr, Dan. Mat. Fys. Medd. 26, Nº 14 (1952)
- 33 - J. Rainwater, Phys. Rev. 79, 432 (1950)
- 34 - N. Bohr e F. Kalckar, Dan. Mat. Fys. Medd. 14, Nº 10 (1937)
- 35 - R.D. Lawson e J.L. Uretsky, Phys. Rev. 108, 1300 (1957)
- 36 - C.M. Lederer, J.M. Hollander e I. Perlman, Table of Isotopes. pg. 381, John Wiley & Sons, 1967
- 37 - A. Bohr, B.R. Mottelson e D. Pines, Phys. Rev. 110, 936 (1958)
- 38 - S.T. Belyaev, Dan. Mat. - Fys. Medd. 31, Nº 11 (1959)
- 39 - J.P. Elliot, Proc. Roy. Soc. 245A, 128, 562 (1952)
- 40 - J. Bardeen, L.N. Cooper e J.R. Schrieffer, Phys. Rev. 108, 1175 (1957)
- 41 - Francira Cunha, Tese P. U. C. 1968
- 42 - L.G. Groshev, A.M. Devidov, V.N. Lutsenko e V.I. Palekhov, Atlas of  $\gamma$  -ray spectra from Radiative Capture of Thermal Neutrons
- 43 - H.O. Lancaster, The Chi-Squared Distribution - John Wiley & Sons, 1969
- 44 - D.P. Donnelly, H.W. Baer, J.J. Reidy e M.L. Wiedenbeck, Nucl. Instr. Methods 57, 219 (1967)
- 45 - W.R. Kane e M.A. Mariscotti, Nucl. Instr. Methods 56, 189 (1967)
- 46 - M. Duquesne, R. Grégoire e M. Lefort, Travaux Pratiques de Physique Nucléaire et de Radiochimie - pg. 198
- 47 - R.S. Hager e E.C. Seltzer, Nuclear Data A, Vol. 14, N<sup>OS</sup> 1 e 2 (1968)
- 48 - O. Dragoun, H.C. Pauli e F. Schmutzler, Nuclear Data A, Vol. 6, Nº 3 (1969)
- 49 - R.G. Helmer e L.D. McIsaac, Phys. Rev. 137, B232 (1965)
- 50 - S.G. Malmskog, V. Berg, A. Bäcklin e G. Hedin, Nuclear Physics A143, 160 (1970)
- 51 - A Bäcklin, B. Fogelberg e S.G. Malmskog, Nuclear Physics A103, 337 (1967).

# **“CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS NÍVEIS EXCITADOS DA Pt197 E DO Au**

**SÉRGIO MURILO CALZAVARRA ALVES**

Tese apresentada no Centro  
Brasileiro de Pesquisas Físicas, do Conselho  
Nacional de Desenvolvimento Científico e  
Tecnológico, fazendo parte da Banca Exa-  
minadora os seguintes Professores:

Alfredo Marques de Oliveira/CBPF

Hervásio Guimarães de Carvalho/CBPF

Anna Maria Freire Endler/CBPF

Neusa Margem Amato/CBPF

Ivan Cunha Nascimento/USP

Rio de Janeiro, 02 de fevereiro de 1971