

4

Condicionamento do Espectrômetro de Massa

O espectrômetro de massa utilizado foi construído no próprio Laboratório do Acelerador Van de Graaff da PUC. Ele é um equipamento projetado para trabalhar tanto em PDMS quanto em MALDI; ou seja seus métodos de produção de íons secundários são por impacto de fragmentos de fissão do ^{252}Cf ou por pulsos de laser ultravioleta, respectivamente. Ele também está munido de um espelho eletrostático de dois estágios (Reflectron), adequado para a obtenção de espectros de massa com alta resolução. Desta forma, o instrumento pode ser empregado no modo linear e no modo refletor, independentes ou combinados, tendo um detector de íons secundários para cada modo de operação.

4.1

Descrição do Equipamento

4.1.1

Espectrômetro de massa

Para a descrição do espectrômetro, vamos dividi-lo em quatro partes: a fonte de íons, o tubo de tempo de voo, o espelho eletrostático e o sistema de bombeamento. Os sistemas de aquisição serão descritos como parte dos sistemas de detecção. Neste trabalho o espelho foi utilizado somente como um filtro eletrostático, por este motivo essa parte não será descrita detalhadamente; mais informações podem ser encontradas na ref. [16].

a) Fonte de Íons

A câmara do espectrômetro foi projetada no laboratório e confeccionada pela MDC High Vacuum Components. Ela foi construída de acordo com o padrão de ultra-alto-vácuo (UHV). Uma pré-câmara permite trocar alvos sem

que o sistema todo seja exposto à pressão atmosférica. Um diagrama mostrando sua estrutura, vista pela parte superior, é apresentado na fig. 4.1.

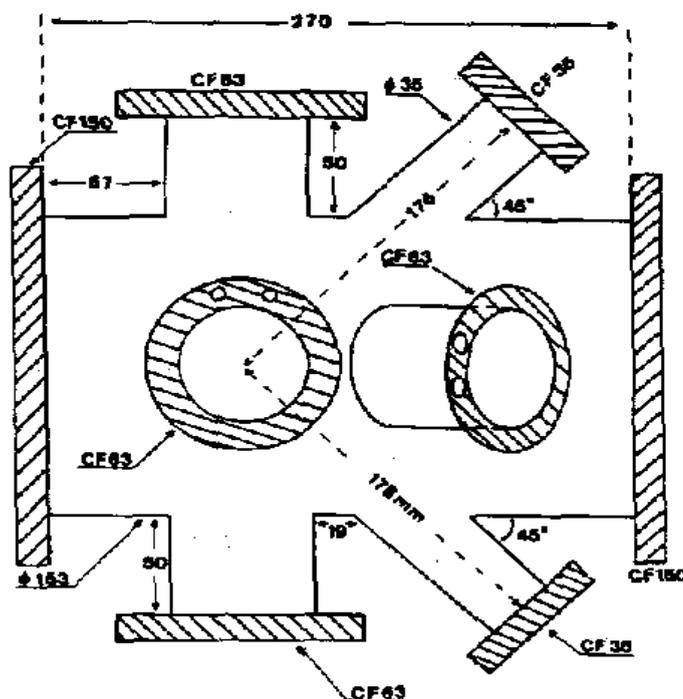


Fig. 4.1: Vista superior da câmara principal anterior ao analisador TOF do espectrômetro de massa utilizado

O porta-amostras, com capacidade para até cinco amostras, é introduzido através de uma das portas laterais na qual é acoplada a pré-câmara (não exibida na figura). A amostra sob investigação é posicionada no centro da câmara, através de um manipulador adaptado à porta lateral oposta a da pré-câmara. O feixe laser penetra na câmara por uma das portas a 45° do plano horizontal. No caso de PDMS, a fonte de ^{252}Cf e o detector “start” ficam atrás da amostra. As duas portas inferiores são para a passagem de cabos de alta tensão. As portas superiores servem como visores.

A fig. 4.2 apresenta uma vista geral do espectrômetro. Vê-se, na fonte de íons desenhada fora da câmara, a fonte de Cf entre o porta-amostras e o detector start. Três micrômetros externos comandam do exterior o suporte da grade aceleradora com o espectrômetro em funcionamento, possibilitando um alinhamento fino da direção de extração dos íons. Permitem também estabelecer um compromisso entre alta resolução (menor d_1 possível) e faixa de massas detectada mais ampla (como d_1 não é muito pequeno, se pode aumentar U).

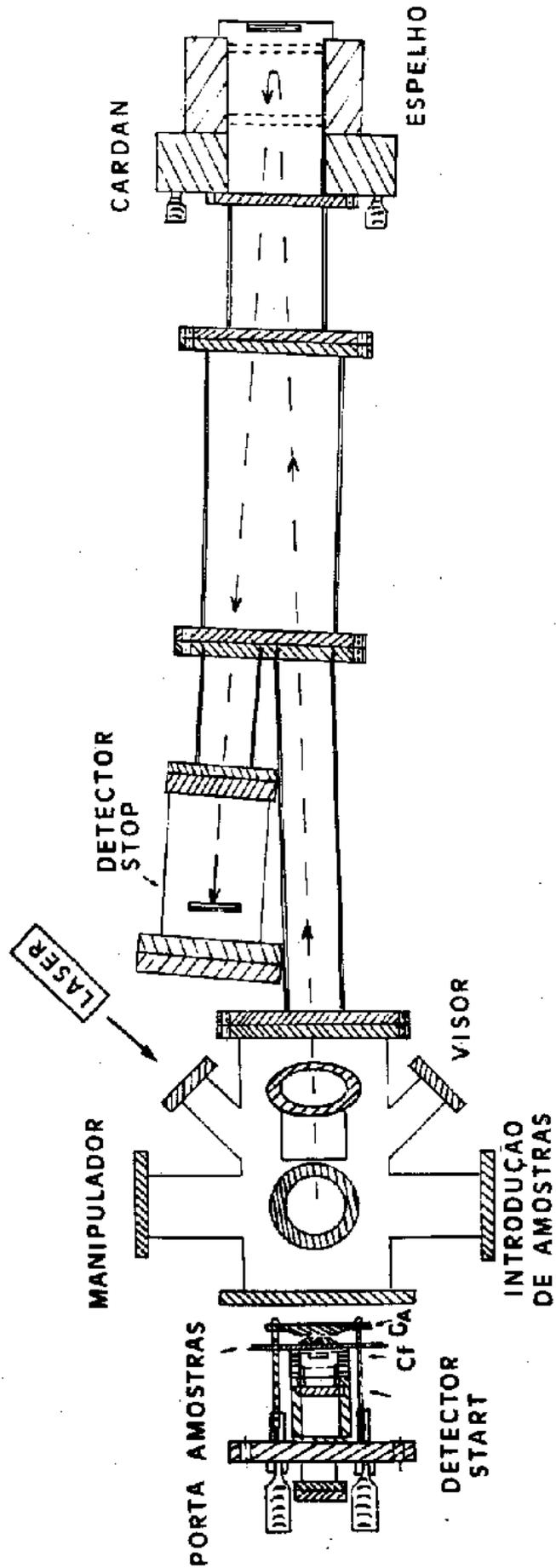


Fig. 4.2: Espectrômetro de massa
(fonte de íons desenhada fora do espectrômetro)

b) Tubo de Tempo de Vôo

Conectado à câmara principal encontra-se um tubo de tempo de vôo longo, com 110 cm. Junto à entrada deste tubo encontram-se uma lente focalizadora Einzel e um par de placas defletoras. Estes dois dispositivos além dos seus usos normais, descritos nos itens 4.1.3 e 4.1.4, respectivamente, também podem ser utilizados no alinhamento do espectrômetro, ajudando a focalizar o feixe de íons secundários no detector stop linear.

c) Espelho Eletrostático

O espectrômetro é munido com um espelho eletrostático constituído por três grades paralelas, com 90% de transmissão cada, a última das quais está aterrada, e por doze eletrodos anulares com diâmetros internos de 80 mm, uniformemente espaçados de 1 cm, e por mais dois outros eletrodos na entrada do espelho. Na figura 4.2 é mostrada a posição dele no espectrômetro de massa. Para mais detalhes ver referência [16]. Este equipamento foi fabricado pelo IPN-Orsay.

No presente trabalho este dispositivo foi utilizado apenas como filtro eletrostático, refletindo todos os íons secundários e permitindo apenas a passagem de átomos e moléculas neutras.

d) Sistema de Bombeamento

Uma bomba turbomolecular (modelo Balzers TPU 240, vazão 230 l/s de N₂) mantém todo o sistema sob pressão inferior a 10⁻⁶ torr. Como é mostrado na fig. 4.3, a bomba turbomolecular opera seqüencialmente com uma bomba mecânica.

A troca de alvos é feita utilizando-se uma pré-câmara auxiliar, permitindo que todo o interior do espectrômetro não seja exposto à umidade e à pressão atmosférica. Os medidores de pressão, fabricados pela Edwards, são do tipo “ativo” e centralizados em um único controlador. Os medidores tipo Penning não devem estar ligados durante a aquisição de dados porque introduzem ruído de fundo nos espectros. O medidor Pirani inclui um dispositivo

de segurança que desliga as fontes de alta tensão caso a pressão do sistema se eleve acima de 10^{-3} torr. Este dispositivo protege os detectores MCP, eletrodos do espelho, e principalmente a região de aceleração (onde os campos são mais intensos) contra descargas acidentais devidas à falha do sistema de bombeamento, vazamento acidental ou falha durante a troca de amostras.

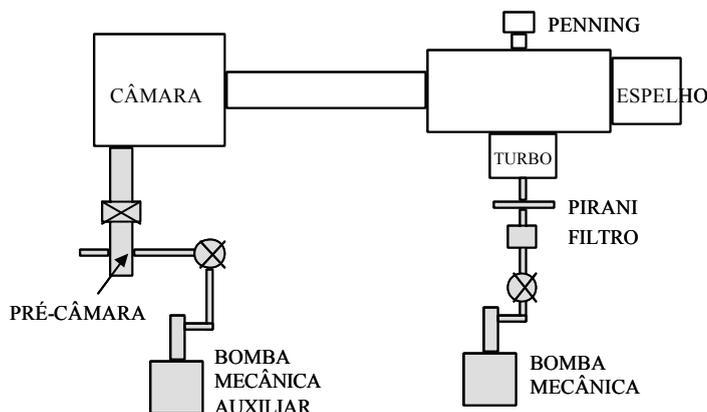


Fig. 4.3: Sistema de bombeamento do espectrômetro

e) Outras características

O espectrômetro de massa dispõe dos seguintes componentes:

- A fonte de raio laser, fabricada pela LSI, tipo VSL-337 ND. O laser do tipo N_2 pulsado (1-10 Hz), emite no ultravioleta próximo ($\lambda = 337$ nm). A energia por pulso é de $300 \mu\text{J}$. No presente trabalho este equipamento não foi utilizado.
- Três detectores de placas de microcanais (MCP), da marca Galileo. Para a determinada etapa do trabalho usou-se um detector MCP sensível à posição fabricado pela RoentDek, no lugar do MCP comum, para detectar os íons secundários no modo linear.
- Fontes de alta tensão FUG e ORTEC: para os detectores (5 kV), para polarizar o alvo (35 kV), para o filtro eletrostático (20 kV), para a Einzel (6.5 kV) e para as placas defletoras (3 kV).

4.1.2

Lente Eletrostática Einzel

A Einzel é uma lente eletrostática que permite focalizar os íons. As partículas carregadas, com uma dada energia e emitidas por um único ponto em um plano perpendicular ao eixo do espectrômetro são focalizadas em um ponto no plano da imagem, quando os caminhos das partículas são paraaxiais, ou seja, quando se movimentam sempre a uma distância pequena do eixo e têm sempre uma pequena inclinação. Tais raios geram uma imagem estigmática [69]. A fig. 4.4 mostra uma simulação da trajetória dos íons secundários que passam pela lente.

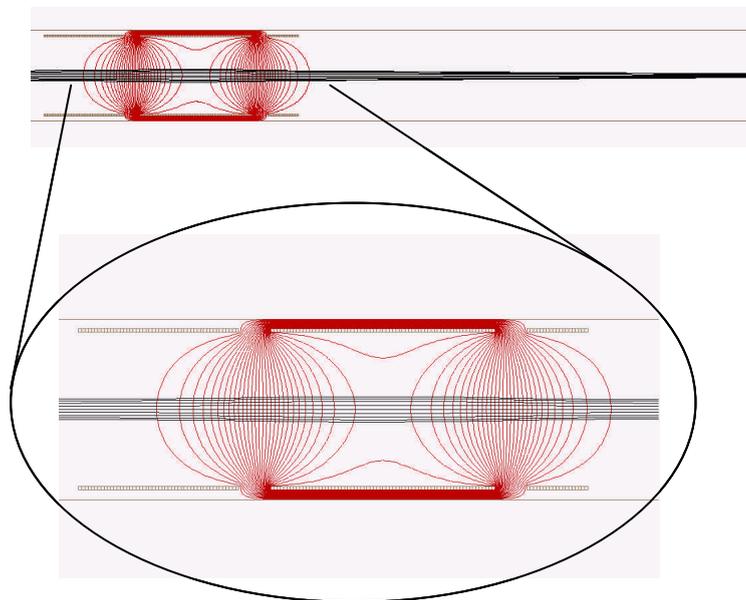


Fig. 4.4: Simulação em Simion dos campos de força da Einzel

Aplicando a formulação integral para um conjunto de condutores polarizados no vácuo, na ausência de cargas no espaço, o potencial e o campo para a Einzel num ponto qualquer estão relacionados à densidade de carga $\sigma(r')$ sobre os eletrodos pelas expressões:

$$\mathbf{f}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_s \frac{\mathbf{s}(r')}{R} ds' \quad (4.1)$$

$$E(r) = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \int_s \mathbf{s}(r') \nabla \left(\frac{1}{R} \right) ds' \quad (4.2)$$

onde $R = |r - r'|$ (plano de referencia) e S representa a superfície de todos os eletrodos. Quando r' é tomado sobre S , $f(r)$ é conhecido e a eq. (4.1) passa a ser uma equação de integral conhecida, para $\sigma(r')$ [70].

4.1.3

Placas Defletoras

Dos dois pares de placas defletoras, um par está no plano vertical e o outro no plano horizontal. O primeiro par fica mais próximo da amostra e tem uma separação entre as placas de 2 cm. As placas horizontais têm uma separação entre elas de 2,3 cm. As quatro placas têm as mesmas dimensões: 4 cm de comprimento por 2 cm de largura.

Estas placas têm a função de eliminar íons secundários leves quando se está trabalhando com a técnica MALDI. Tais íons saturam os detectores, dificultando a detecção dos íons mais pesados que lhes sucedem. Quando usadas desta forma, elas trabalham com um pulsador Avtech, modelo AVR-7B-C-P. Neste trabalho, as placas defletoras foram usadas como instrumentos de alinhamento, como será visto mais adiante.

4.1.4

Sistemas de Detecção

Dois tipos de detectores foram utilizados. Ambos utilizam placas de microcanais (*microchannel plates* - MCP). A diferença entre eles está no anodo; em um deles o anodo é uma simples placa metálica e no outro um anodo sensível à posição. A seguir descreve-se o funcionamento do MCP cada um dos anodos e sua eletrônica.

a) Placas de Microcanais (MCP)

Os detectores estão construídos com duas placas de microcanais paralelas, com os eixos dos canais em direções opostas; este modo de operação é conhecido como arranjo *chevron*. Os canais de cada placa têm uma inclinação de

aproximadamente oito graus com relação à superfície da placa [71]. Estas placas são fabricadas com um material isolante e revestidas com um material eficiente na emissão de elétrons. Também têm uma cobertura de material condutor para aplicar uma diferença de potencial entre as faces de cada placa. Quando uma partícula colide com a parede de um microcanal ocorre a emissão de elétrons que são acelerados; a repetição deste processo gera um efeito em cascata. Na configuração *chevron* um ganho de 10^6 ou 10^7 pode ser obtido [34]. A principal propriedade das placas de microcanais quando, atingida por partículas rápidas ou fótons, é gerar pacotes de elétrons [72].

O detector deve funcionar sob pressões menores que 10^{-5} torr. Em pressões maiores ocorre progressivamente o risco de faíscas e/ou ionização do gás residual no interior dos canais, que podem inutilizar o detector [27,15]. A fig. 4.5 mostra como é montado o detector.

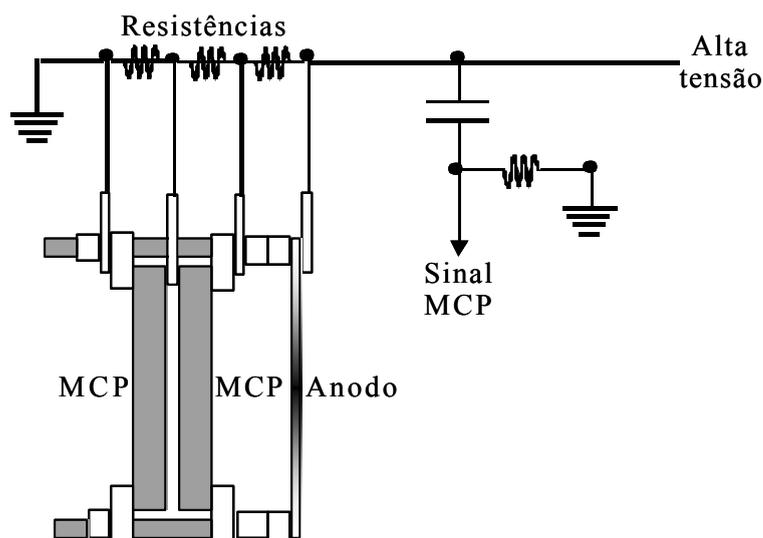


Fig. 4.5: Montagem das placas MCP em um detector

b) Anodo Metálico Simples

Nos detectores convencionais, uma placa de aço inoxidável atrás do par de placas MCP atua como anodo. A seguir detalha-se a eletrônica utilizada com este sistema.

- Eletrônica para aquisição e processamento de sinais

O sinal analógico gerado na configuração de detector descrita é um pulso negativo rápido que é processado por um discriminador de fração constante (constant fraction discriminator - CFD). O CFD serve para converter o pulso do detector, num pulso padrão. O CFD também serve para filtrar ruídos gerados no MCP e sinais não desejados, só gerando os pulsos padrão quando o sinal recebido tem amplitude superior a um valor escolhido [27]. O sinal assim obtido do CFD é facilmente reconhecido pelo conversor para tempo digitalizado (time to digital converter - TDC) que é um cronômetro digital composto pelas unidades CTN-M2 e TMS- ϕ mostradas no diagrama da eletrônica (fig. 4.6). O cronômetro digital possui uma resolução nominal em tempo de 0,5 ns e permite o registro de até 256 eventos stop por cada evento start, ou seja é um TDC *multi-stop*. O intervalo de tempo entre dois sinais starts detectados pode ser pré-estabelecido na faixa de 5 μ s a 320 ms. O controle do cronômetro digital é realizado por meio de um programa de computador chamado DMI 400 [16,27,32]. O ajuste da eletrônica foi objeto de uma publicação interna [73].

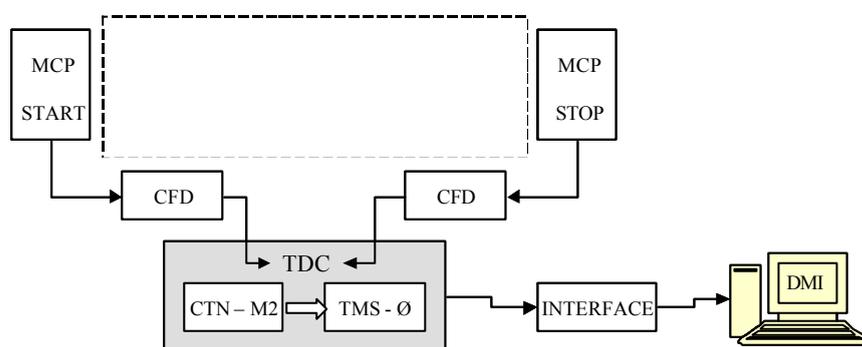


Fig. 4.6: Esquema da eletrônica do sistema de aquisição de dados

c) Anodo Sensível à Posição

O anodo sensível à posição utilizado neste trabalho, baseia-se no princípio de medida do tempo de propagação de um sinal em um fio condutor (*delay line*) [74,75]. O anodo é composto por uma estrutura de fios de cobre que servem para coletar os elétrons gerados no MCP e que funcionam como uma linha de transmissão, de maneira que a medida do atraso nos tempos de chegada do sinal nas duas extremidades do fio é uma medida direta da posição de impacto da partícula no MCP. A figura 4.7 ilustra este sistema de determinação de posição,

onde um "chuveiro" de elétrons gerados no MCP é coletado no anodo. Esse pulso de carga viaja pelo fio e é detectado nas suas extremidades (X1 e X2). A diferença de tempo detectada ($X1 - X2$) será proporcional à distância do centróide da posição do evento. Outra característica importante deste sistema, é que a soma dos tempos de chegada do sinal nas extremidades dos fios é constante ($X1 + X2 = \text{constante}$), independentemente do ponto de impacto da partícula no MCP.

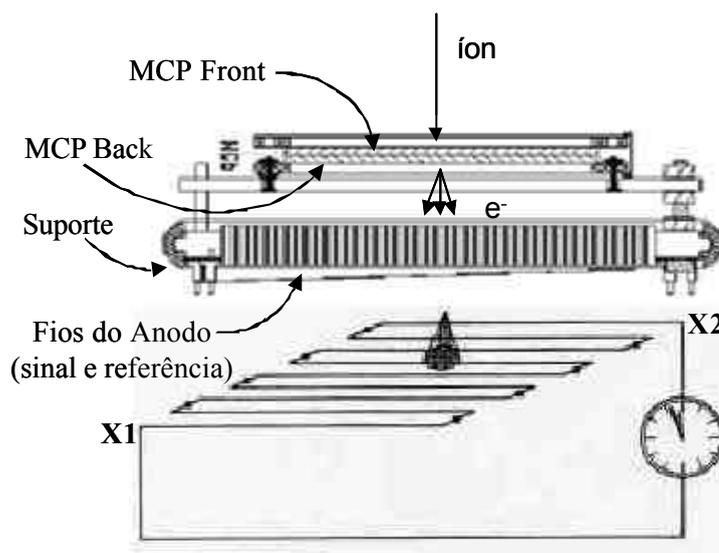


Fig. 4.7: Determinação da posição de uma partícula detectada

A posição do impacto é então calculada através de duas redes de fios dispostos *ortogonalmente*, cujos sinais propagados em cada rede são processados independentemente, e corresponderão às posições dos eixos X e Y.

A rede de fios em cada dimensão é formada por dois fios paralelos chamados de *sinal* e *referência*, os quais são ligados à entrada de um amplificador diferencial. O fio de *sinal* opera com uma voltagem cerca de 30 V superior a do fio de *referência*, dessa maneira a carga coletada no fio de sinal será maior do que a do fio de referência. O uso de um par de fios para cada dimensão tem dupla função: i) Reduzir ruído e ii) Servir de espaçador para diminuir a comunicação (“*crosstalk*”) entre os diversos enrolamentos. O ruído captado pelos fios, principalmente devido a um efeito de antena, será idêntico para cada um dos fios do par, já a carga vinda do MCP será coletada principalmente pelo fio de *sinal*, dessa maneira, o amplificador diferencial eliminará o ruído e o sinal fica praticamente inalterado.

As voltagens, de polarização do detector e do anodo sensível a posição, utilizadas foram: $MCP_{front} = 0$ V, $MCP_{back} = 2400$ V, Suporte = 2700 V, Anodo_{sinal} = 2800 V, Anodo_{ref} = 2780 V (ver fig. 4.7).

Como resultado final, este anodo fornece resolução *submilimétrica* na localização da posição do impacto do íon no detector, podendo resolver sinais com frequências superiores a 3 kHz. O anodo e o detector MCP a ele acoplado possuem uma área circular sensível com diâmetro de 40 mm.

- Eletrônica para aquisição e processamento de sinais

Os sinais do anodo sensível à posição foram tratados através do módulo de eletrônica Roentdek DLATR6, o qual recebe os sinais vindos das extremidades de cada fio. Para cada posição (X e Y) tem-se duas extremidades em cada fio do par *sinal-referência*. Para as duas posições tem-se então um total de 8 sinais. Cada um dos quatro pares *sinal-referência* é processado por um amplificador diferencial independente com ganho ajustável. Os quatro sinais de saída são então processados por CFDs independentes. O sinal do detector acoplado ao anodo (*MCP-Stop*) é processado separadamente, passando por um amplificador ORTEC FTA 820 e por um CFD TENELEC TC 454.

Os sinais dos CFDs alimentam um TDC Roentdek TDC8-ISA (baseado no *chip* LeCroy MTD133B), com resolução de 500 ps/canal e com oito canais de entrada.

O sinal do detector *MCP-Start* é processado por um CFD TENELEC TC 454, e é dividido em duas partes: uma dá o início para contagem do tempo-de-vôo e a outra dispara um *gate* (Ortec *gate & delay generator* 416A) com um pulso com largura de 16 μ s. Este sinal do *gate* entra juntamente com o sinal do *MCP-Stop* em um módulo de coincidência LeCroy 465. A saída do módulo de coincidência é utilizada então como sinal de parada no TDC (*common stop*). A figura 4.8 mostra esquematicamente os módulos eletrônicos utilizados.

O sistema pode ser mais bem entendido observando-se a cronologia dos sinais na figura 4.9. O primeiro sinal gerado é do *MCP-Start*, o qual dispara o *gate* de largura 16 μ s. Quando um íon secundário atinge o *MCP-Stop*, este gera um sinal que é atrasado por 128 ns para permitir que os sinais do anodo (X1, X2, Y1 e Y2) sejam processados. Além disso, o sistema somente grava estes eventos

quando ocorre o sinal *common stop*, o qual é gerado pela coincidência entre o sinal atrasado do MCP-*Stop* e o sinal do *gate*.

Por fim, o TDC envia os sinais para um microcomputador e o programa CoboldPC [76] é utilizado para gerenciar a aquisição. Os dados adquiridos são então gravados em disco, evento-por-evento (formato *list-mode*), onde as coordenadas adquiridas são gravadas simultaneamente em diferentes colunas. Isto é desejável, pois desta maneira as análises trabalhosas podem ser feitas posteriormente, com os dados gravados.

Convém salientar que o usuário tem acesso às rotinas de análise utilizadas pelo CoboldPC, as quais são escritas em linguagem FORTRAN e podem ser modificadas, compiladas e re-introduzidas no programa.

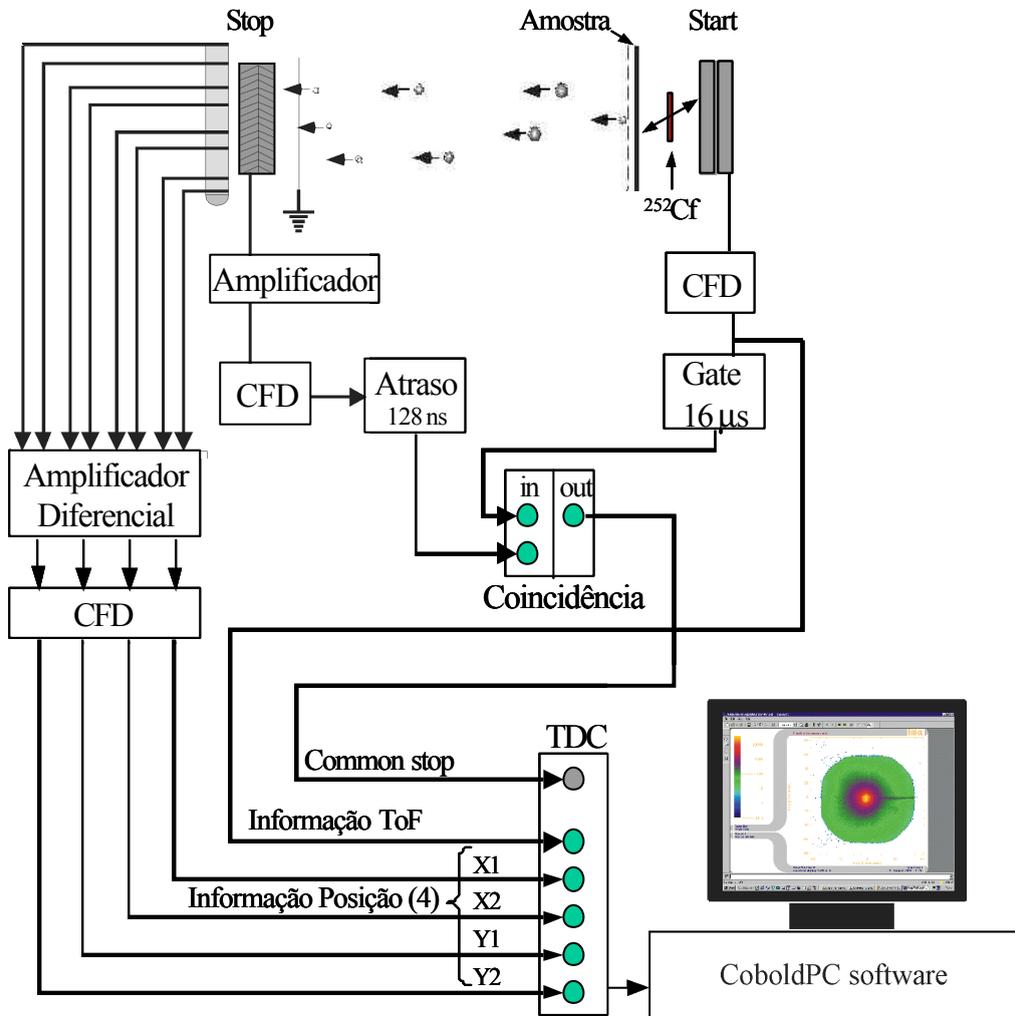


Fig. 4.8: Eletrônica do sistema sensível à posição

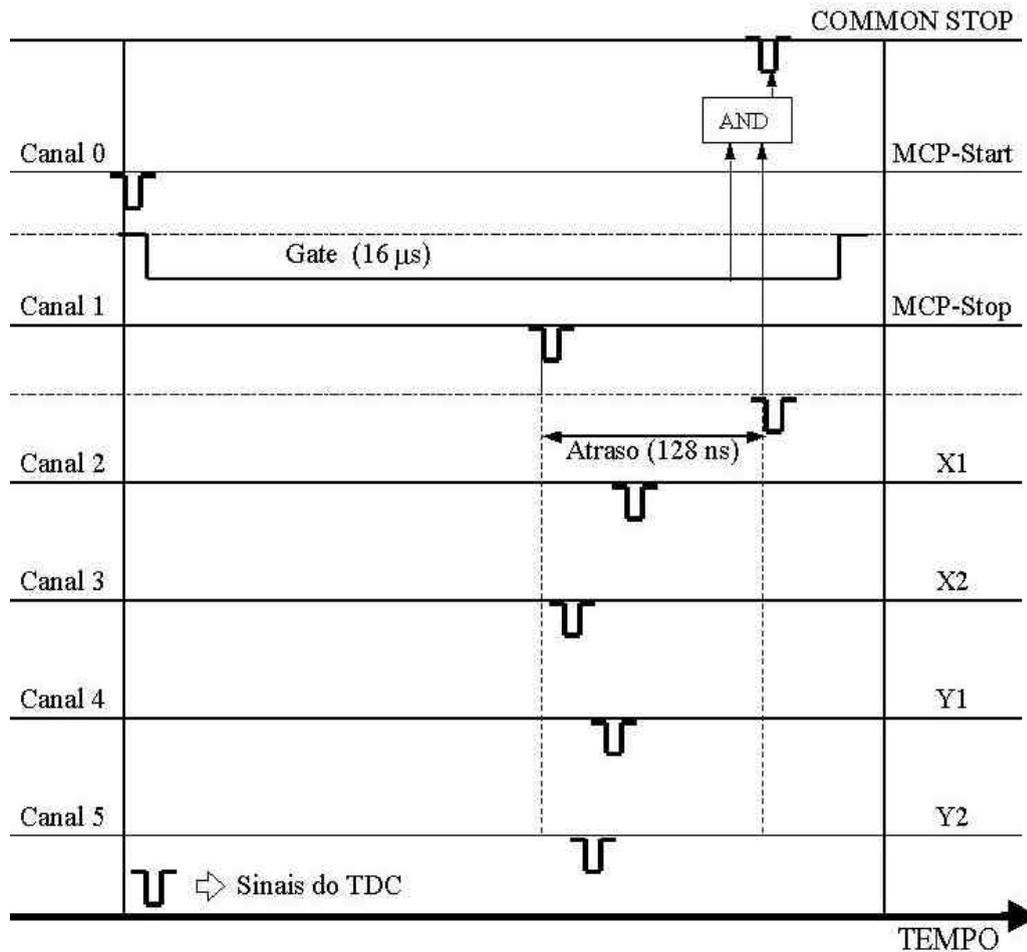


Fig. 4.9: Cronologia de processamento dos sinais no detector XY

4.2

Otimização do Equipamento

4.2.1

Modificações do Detector Start

Ao fazer experiências preliminares notou-se que o detector start apresentava dois problemas:

- Diminuição na detecção dos elétrons (gerados no filme fino de Al, ao ser atravessado pelos fragmentos de fissão) em função da tensão aplicada no alvo. Ou seja, quando a tensão de aceleração era aumentada, as contagens no detector start diminuía (fig. 4.10), o que não é correto.

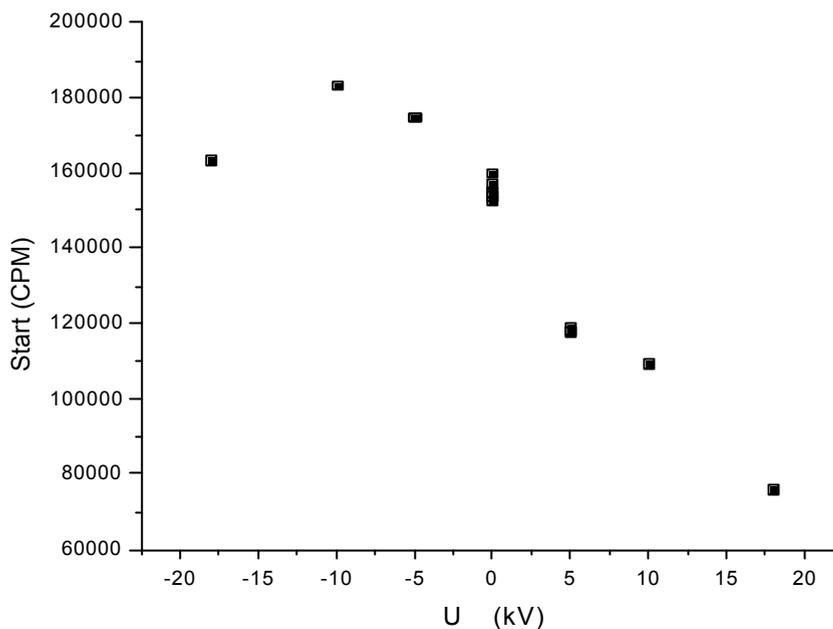


Fig. 4.10: Diminuição das contagens no detector start em função de U

- O detector, logo após ser ligado, demorava em alcançar estabilidade; i.e. no início mostrava contagens muito altas, diminuindo com o tempo quase exponencialmente e alcançando estabilidade em cerca de uma hora (fig. 4.11a).

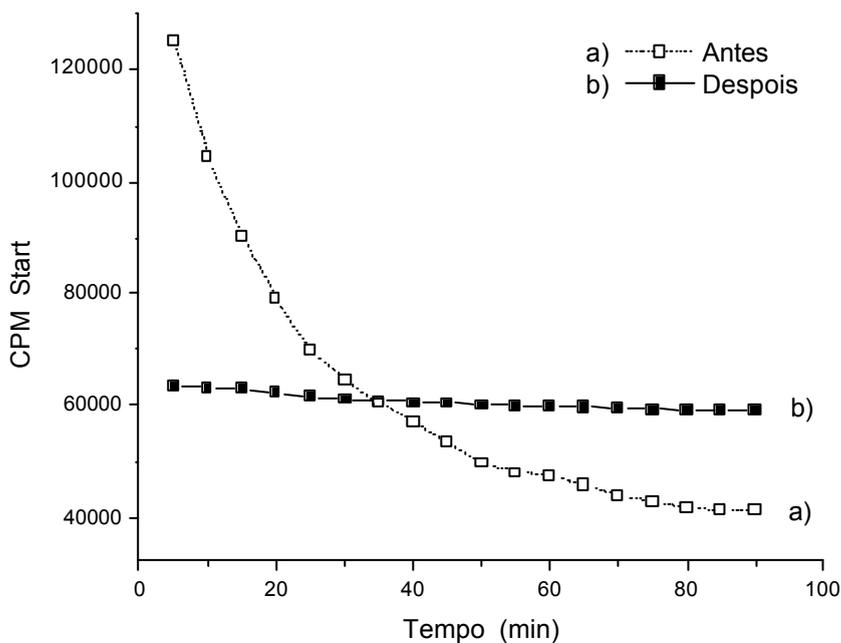


Fig. 4.11: Estabilidade do detector start em função do tempo antes e depois das modificações no detector

Concluiu-se que ao incrementar a tensão no alvo, o campo elétrico produzido atrás do porta-alvos perturbava a trajetória dos elétrons no seu caminho até o MCP-start. As contagens em coincidência com o MCP-stop eram afetadas, uma vez que a diminuição de starts impedia a medida correta da evolução da área dos picos TOF em função de U . Foram feitas as seguintes modificações

- A folha de Al recoberta com CsI foi substituída por uma nova.
- Uma proteção elétrica (blindagem) aterrada foi introduzida em torno da folha de Al/CsI.
- Novos resistores, de maior potência (1/2 W), foram colocados para diminuir seu aquecimento.
- Mudou-se a resistência R_4 (ver diagrama da fig. 4.12), de $1\text{M}\Omega$ para $3\text{M}\Omega$; para que a voltagem entre o MCP e o anodo fosse maior, gerando um sinal com maior intensidade no CFD. O novo valor da tensão de aceleração passou de 2,5 kV para 3,65 kV, mantendo-se fixa a corrente $i = 0,53\text{ mA}$, com $R_T = 6,9\text{ M}\Omega$.

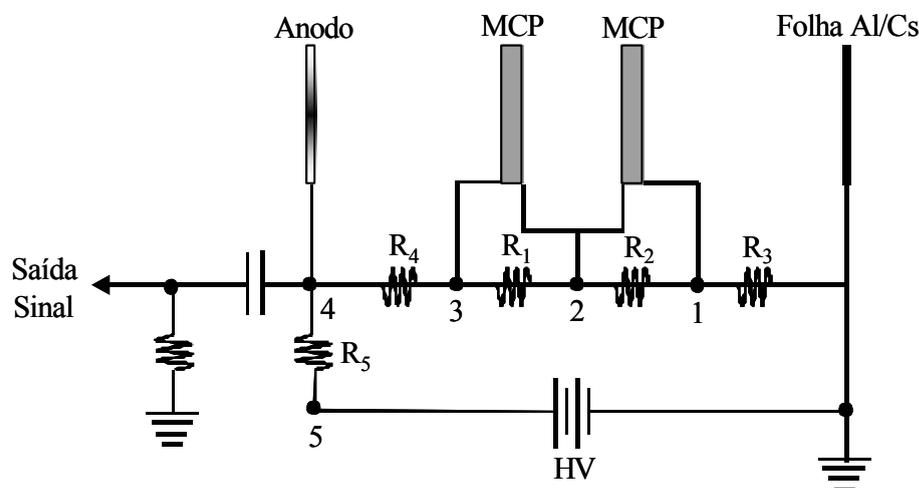


Fig. 4.12: Configuração do detector start

Com tais aperfeiçoamentos, obteve-se uma melhora na detecção e na estabilidade dos sinais *start*, como mostram as figuras 4.13 (nas tensões de trabalho usuais do espectrômetro) e 4.11b (em função ao tempo). Mesmo assim, recomenda-se deixar estabilizar o detector, ligado na tensão de trabalho, pelo menos 30 minutos antes de fazer a primeira medida.

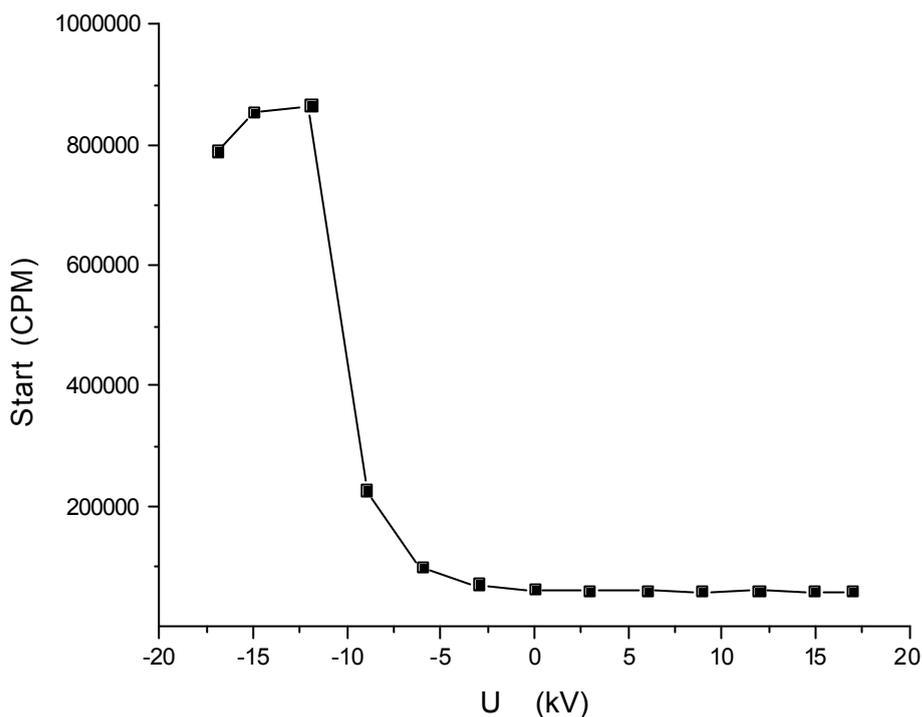


Fig. 4.13: Resultado das modificações feitas no detector start.

A taxa de *starts* é constante para tensões positivas de U

4.2.2

Detectores start/stop e sua Otimização

Na técnica de PDMS, são fragmentos de fissão (FFs) que geram os sinais *starts* comunicados ao TDC. Os “falsos” *starts* gerados pelo ruído do MCP e as partículas alfa produzidas na fissão do ^{252}Cf devem ser discriminados. Como o impacto de um FF na folha de conversão (Al/CsI) produz mais elétrons secundários que uma partícula alfa, o sinal gerado por um FF é mais intenso. Em consequência, é preciso regular o limiar do CFD e assim selecionar só os sinais produzidos pelos FFs. Este ajuste é ilustrado na figura 4.14, onde se desenham as contagens por minuto (CPM) em função do limiar de disparo do CFD, para várias tensões aplicadas ao MCP. Nota-se que as três curvas têm o mesmo comportamento típico, só que para voltagens mais altas no MCP o sinal maior gerado aumenta a taxa de disparo do detector. Fixando as CPM mais altas apenas

para os sinais gerados por FFs, e para a tensão no MCP mais baixa obtém-se o limiar mais apropriado. (ver fig. 4.14)

O detector *stop* também foi otimizado para a obtenção de espectros de massa de boa qualidade. O critério empregado neste ajuste foi a tensão aplicada no detector: se for pequena, a eficiência de detecção é insatisfatória e se for grande, o ruído aumenta devido à retroalimentação dos íons. A fig. 4.15 mostra a resposta do detector ao impacto de íons e de agregados iônicos, produzidos na dessorção de uma amostra de CsI, em função da tensão no MCP. Ao incrementar a tensão, as CPM também aumentam, atingindo um patamar a aproximadamente 2,65 kV para todos os íons. O detector deve trabalhar na região do patamar para não ser afetado por pequenas variações da tensão aplicada. Então a tensão ótima de trabalho é 2,65 kV. O limiar do CFD foi fixado no mínimo possível, isto é, 51 mV; assim assegura-se perda mínima de sinal.

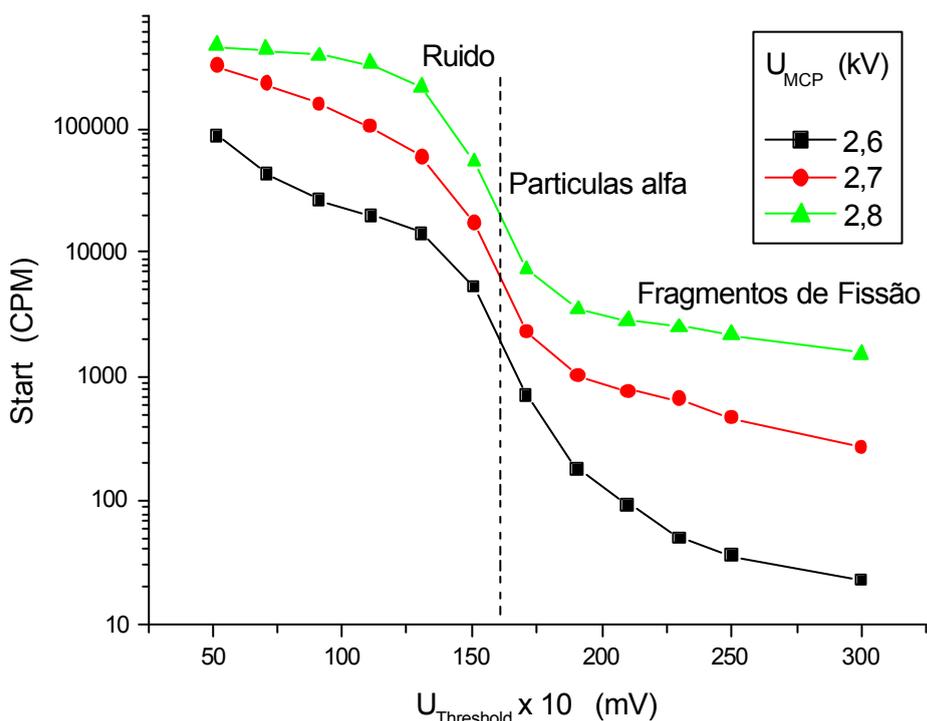


Fig. 4.14: Contagens *Starts* em função do limiar no CFD.

Observa-se que segundo a origem do disparo (ruído interno, impacto de partículas α ou FF), a taxa de *starts* é diferente

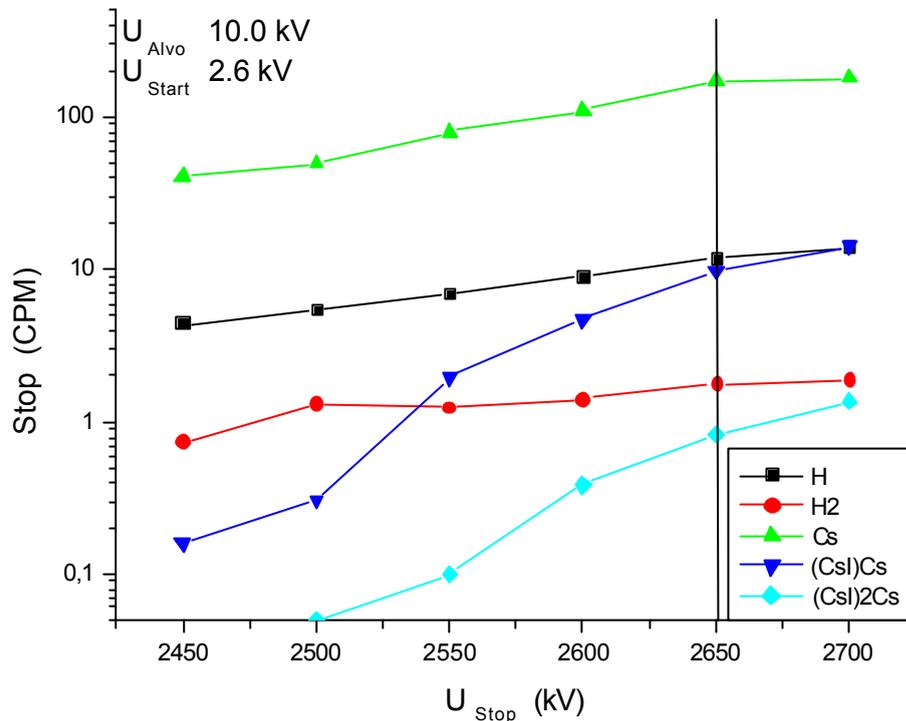


Fig. 4.15: Eficiência de detecção de íons em função da tensão aplicada no detector

4.2.3

Alinhamento do Espectrômetro por meio das Placas Defletoras e dos Micrômetros

Verificou-se também o alinhamento do espectrômetro, isto é, se a grade de aceleração estava ou não paralela com o detector stop. Campos elétricos crescentes foram aplicados aos 2 pares de placas defletoras (um por vez), obrigando o feixe de íons secundários a movimentar-se por toda a área do detector, tanto na direção do eixo X quanto no eixo Y. Dividiu-se virtualmente o detector circular em quatro quadrantes, observando as voltagens para as quais se tinha maior número de contagens por minuto (CPM). (Fig. 4.16, 17).

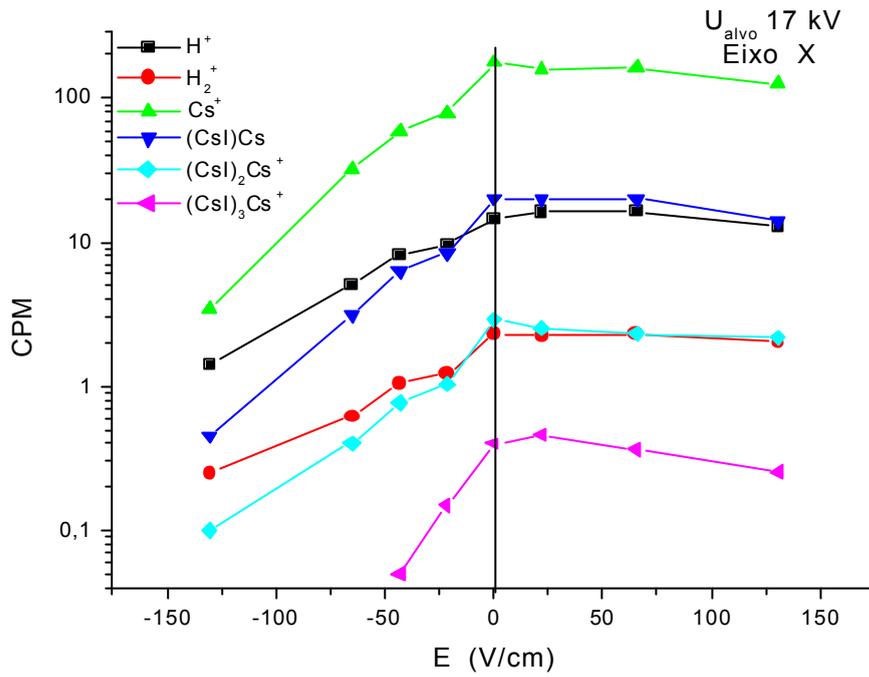


Fig. 4.16: Alinhamento do espectrômetro no eixo X (horizontal)
Os íons estão sendo detectados à direita do detector

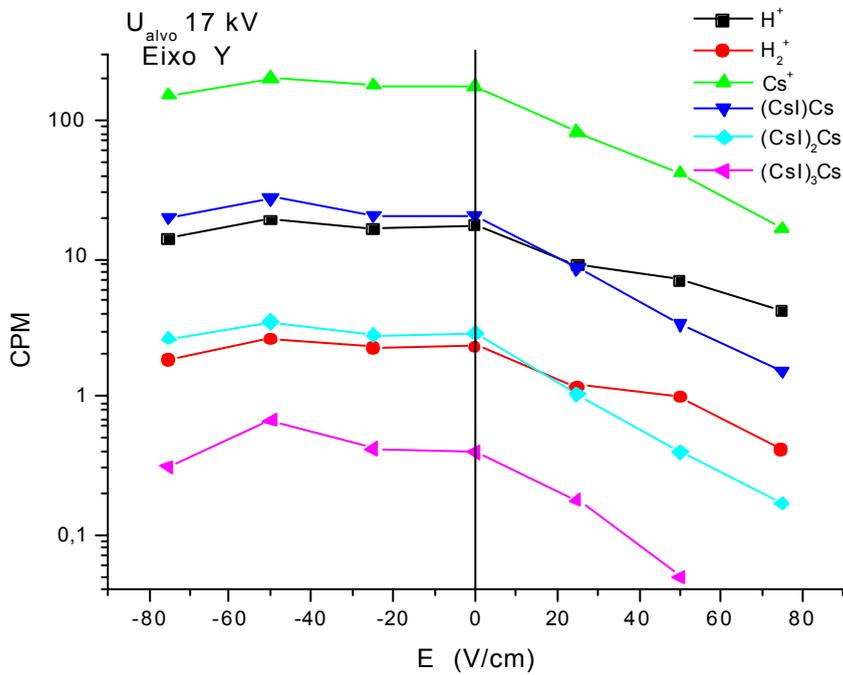


Fig. 4.17: Alinhamento do espectrômetro no eixo Y
Os íons estão sendo detectados na parte inferior do detector

No eixo X (fig. 4.16) nota-se que os íons estão impactando o detector na sua parte lateral direita e no eixo Y (fig. 4.17) estão chegando na parte inferior do detector (parte negativa). Ou seja, o plano da grade não está alinhado nesta situação. A posição da grade pode ser corrigida mediante o uso dos três micrômetros que a suportam (ver item 4.4). Atuou-se nos micrômetros “1” e “2”, com avanços de pequenos intervalos. A fig. 4.18 ilustra este procedimento em que maiores CPM foram paulatinamente obtidas até que o máximo foi atingido.

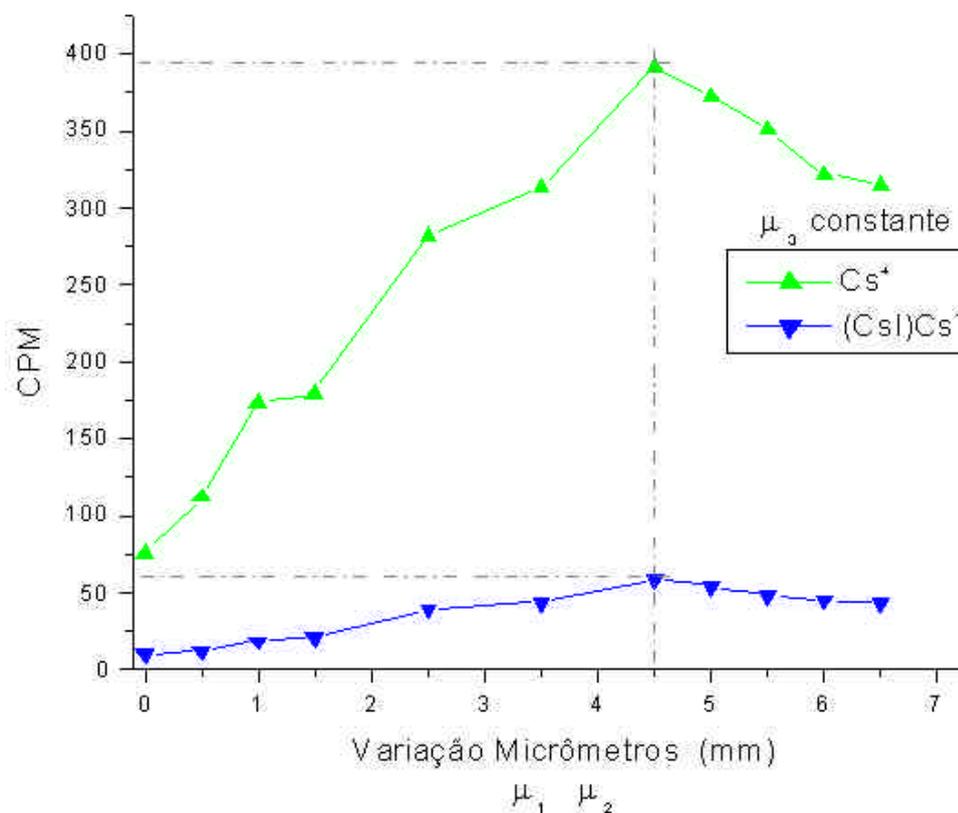


Fig. 4.18: Alinhamento do espectrômetro através dos micrômetros

Para conferir o alinhamento, as placas defletoras foram novamente empregadas. As figuras 4.19 e 4.20 mostram que o procedimento do alinhamento foi eficaz.

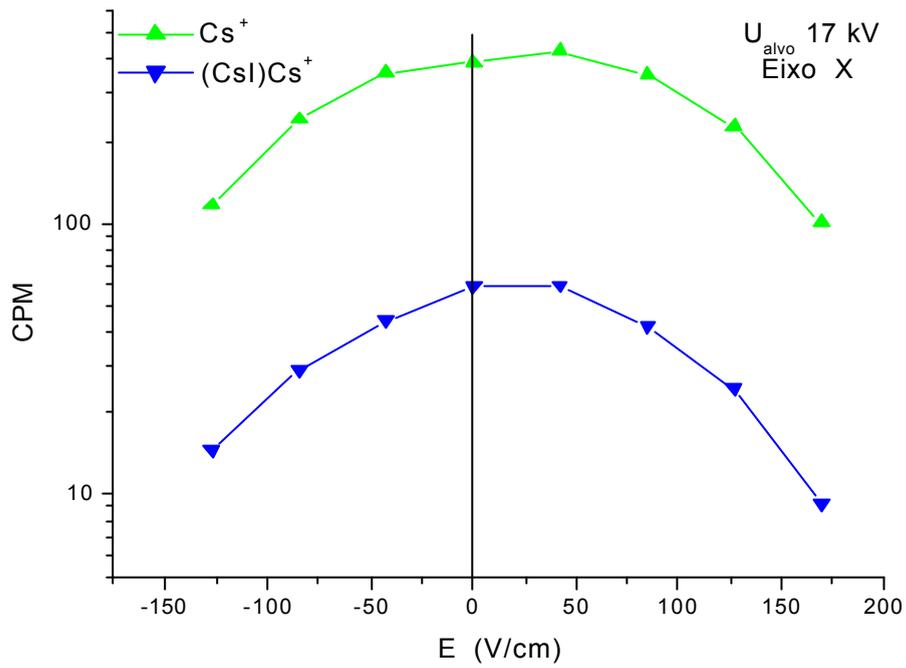


Fig. 4.19: Alinhamento do espectrômetro no eixo X
Os íons estão sendo detectados ligeiramente à direita

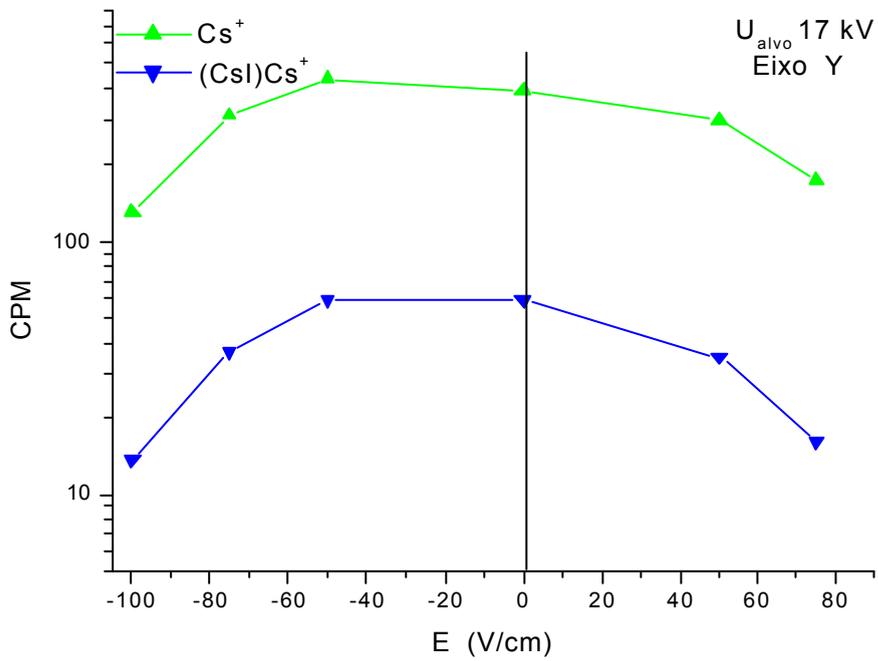


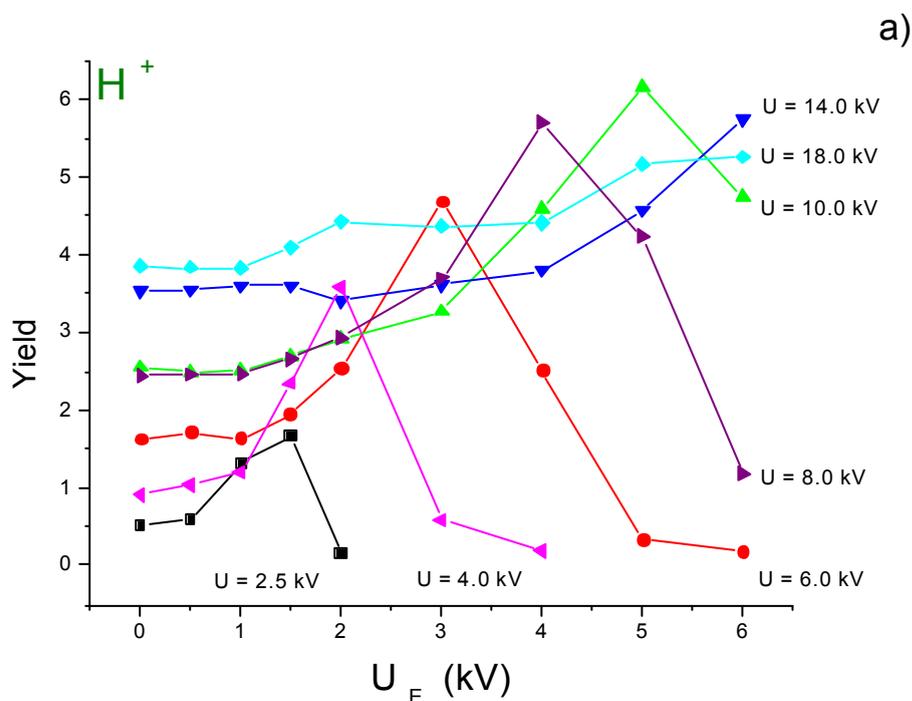
Fig. 4.20: Alinhamento do espectrômetro no eixo Y
Os íons estão chegando ligeiramente na parte inferior do detector

4.2.4

Colocação da Lente Einzel

A lente eletrostática Einzel instalada no espectrômetro, foi utilizada para aumentar a eficiência de transmissão dos íons. Para tal, observou-se o comportamento do rendimento de detecção quando variamos a tensão da lente, para alguns valores da tensão de aceleração. O objetivo é a determinação do melhor valor da tensão aplicada à lente Einzel, que corresponde à eficiência máxima.

As figuras 4.21 a, b, c mostram que, para tensões cada vez maiores na lente Einzel (U_E), o rendimento de detecção de íons da amostra de CsI aumenta até o máximo e cai rapidamente após o feixe de íons tornar-se divergente (fig. 4.21a e 4.21b principalmente). Este é o comportamento para massas de íons secundários relativamente baixas. Para massas altas, o efeito não é notável provavelmente pelo fato dos íons serem emitidos com velocidades radiais baixas, sendo quase todos sempre detectados; e.g., o primeiro agregado do CsI (fig. 4.21c). No caso das tensões de aceleração altas, os íons entram na região livre de campo com pequena divergência, tornando pequeno o efeito da Einzel.



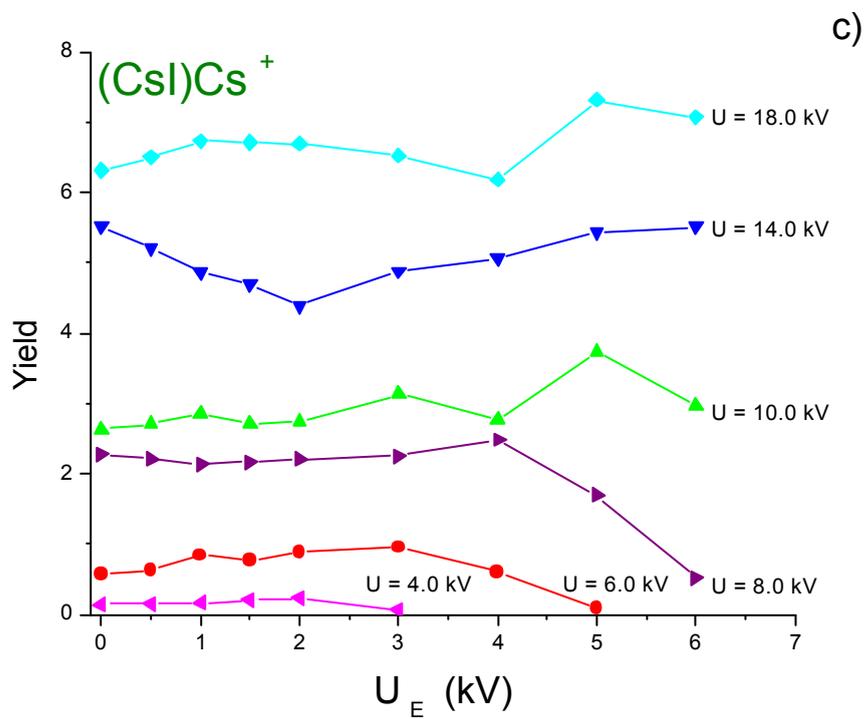
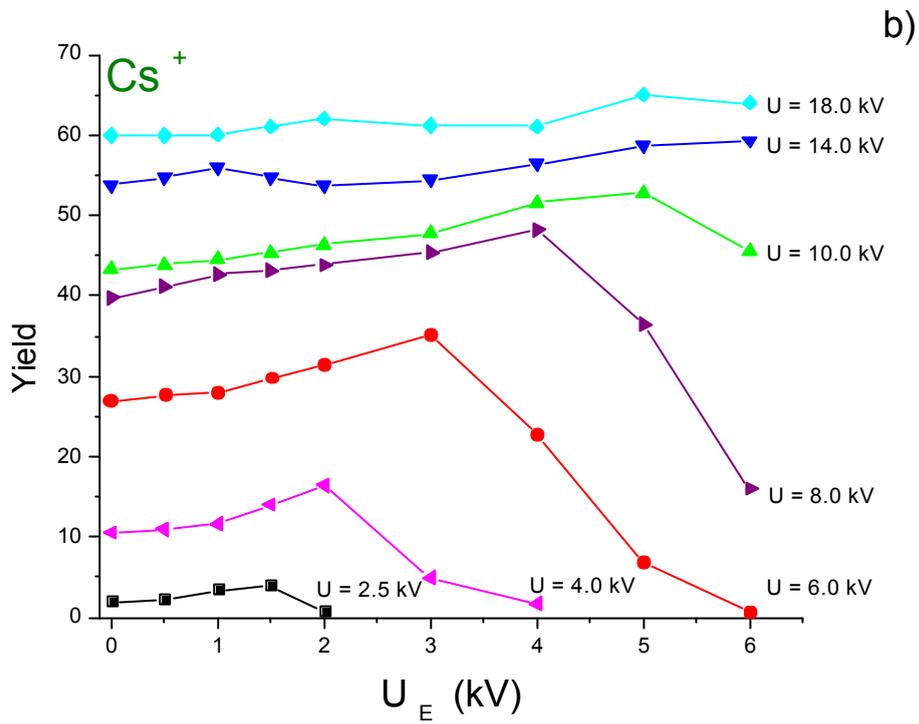


Fig. 4.21 a, b, c: Dependência do rendimento de detecção utilizando a lente eletrostática Einzel para os íons H⁺, Cs⁺ e (CsI)Cs⁺

Na fig. 4.22 estão desenhadas as tensões na Einzel para os pontos de rendimento máximo ($U_E^{máx}$), em função da tensão de aceleração. Observa-se que esta relação independe da massa, já que os valores de $U_E^{máx}$ coincidem para as diferentes massas.

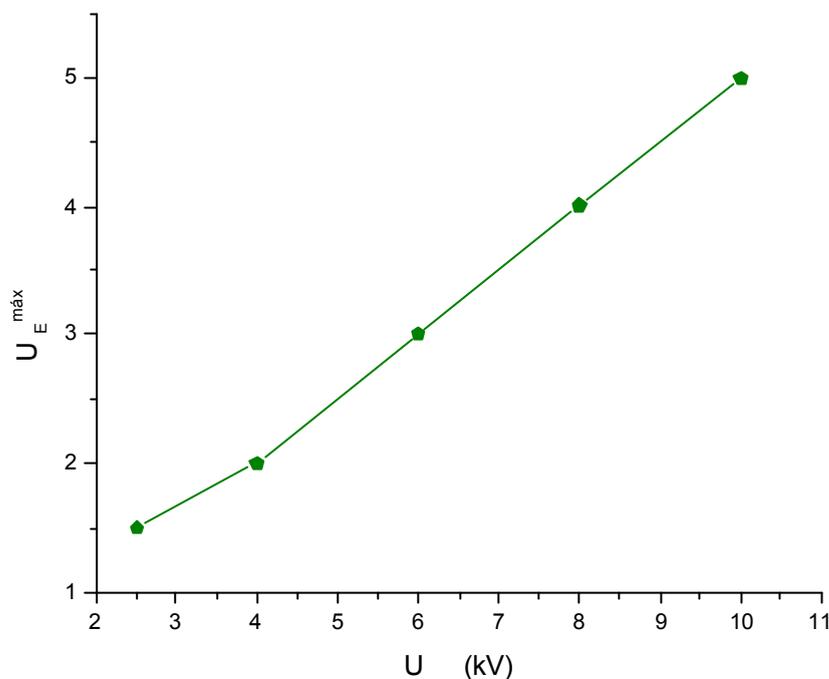


Fig. 4.22: Tensão correspondente ao rendimento máximo da lente Einzel em função da tensão de aceleração

4.2.5

Uso do Detector Sensível à Posição

a) Efeitos das Placas Defletoras

O deslocamento do feixe de íons nos eixos X e Y foi discutido no item 4.2.4, mediante a aplicação de um campo elétrico nas placas defletoras. Este mesmo efeito pode ser observado através do uso do detector XY descrito em 4.1.4 (ver fig. 4.24). Na figura 4.23 vemos o espectro total em duas dimensões (de todos os íons), sem aplicação de campo elétrico nas placas. Pode-se observar que o máximo da distribuição de contagens está razoavelmente centrado.

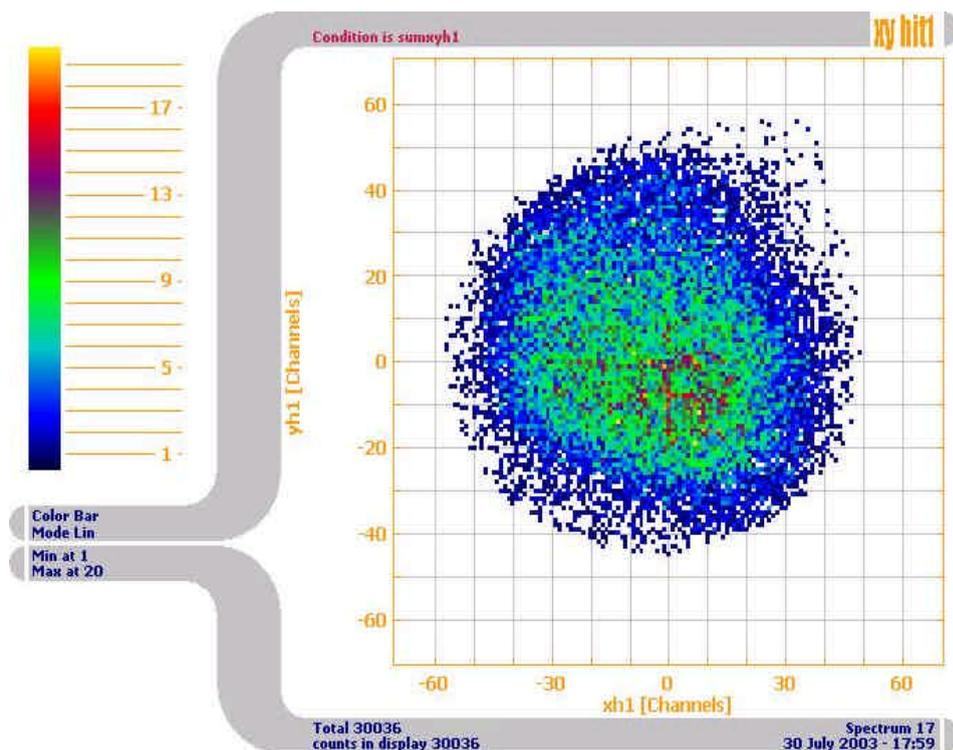
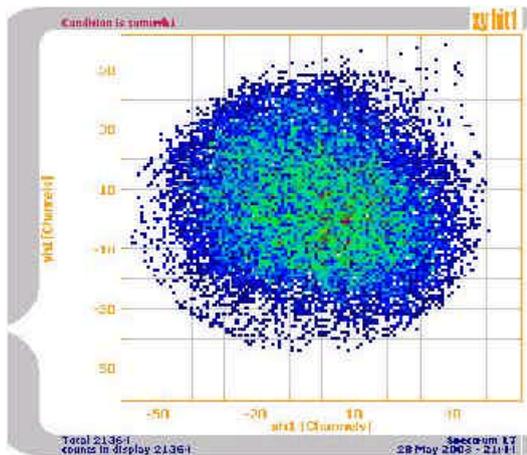


Fig. 4.23: Espectro 2D, sem aplicação de campo elétrico nas placas defletoras

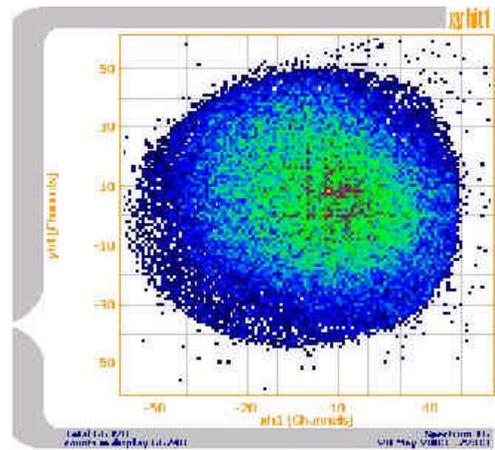
As imagens das figuras 4.24a e 4.24b representam as distribuições obtidas com a aplicação de campos nas placas defletoras. O efeito da mudança do ponto de impacto dos íons secundários sobre o detector é visível. Também se pode notar que os eixos das placas defletoras não estão exatamente nos eixos X e Y, já que o máximo da distribuição de íons não está se movimentando ao longo dos eixos.

b) Efeito da Einzel

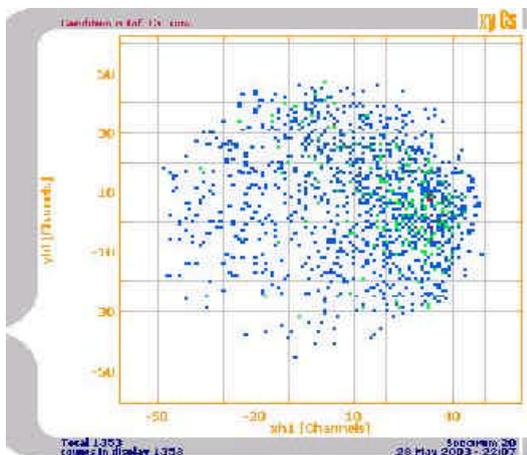
Foi testado também o efeito da lente Einzel no detector XY. Em princípio, dever-se-ia obter um conjunto de imagens com a distribuição de íons secundários centrado com diâmetro cada vez menor (pois o feixe estaria sendo focalizado sobre o detector); para tensões muito altas na lente Einzel, o diâmetro da distribuição deveria aumentar. Ao observarmos as imagens da figura 4.25, vemos que o feixe é deveras focalizado, mas em um ponto distinto da origem, isto é, $X = Y = 0$. Além disso, quanto maior a tensão aplicada na lente Einzel, mesmo que a distribuição esteja ficando menor, ela vai se movimentando ao longo do eixo Y dirigindo-se à parte superior.



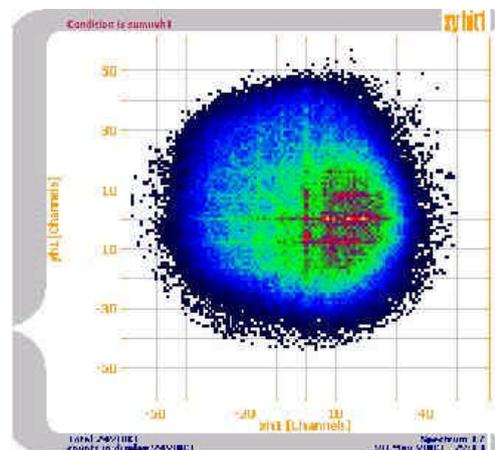
$U_{(placa X)} = 100 \text{ V}$



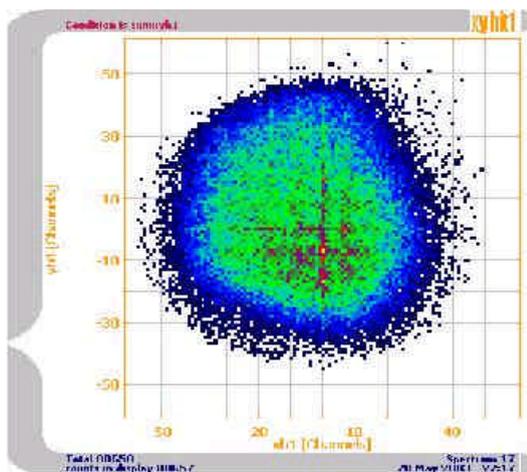
$U_{(placa X)} = 200 \text{ V}$



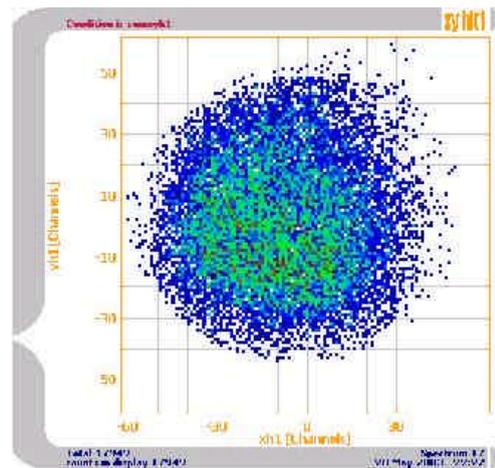
$U_{(placa X)} = 300 \text{ V}$



$U_{(placa X)} = -100 \text{ V}$

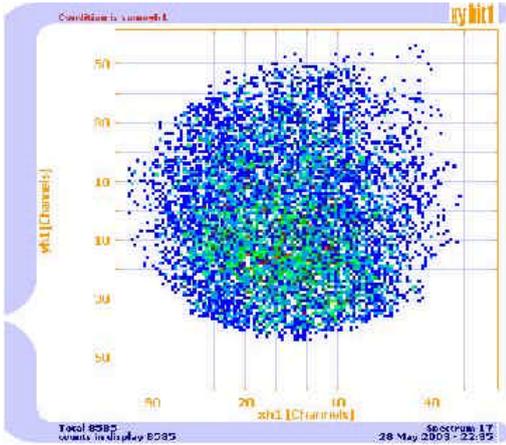


$U_{(placa X)} = -200 \text{ V}$

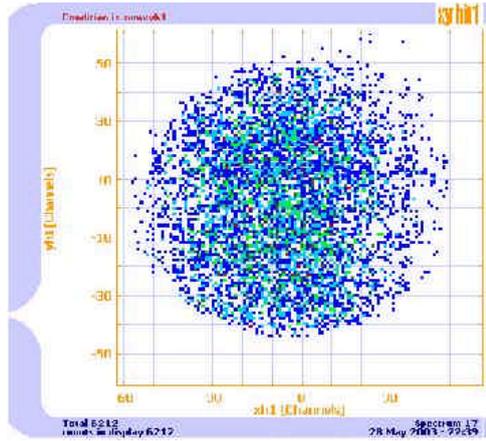


$U_{(placa X)} = -300 \text{ V}$

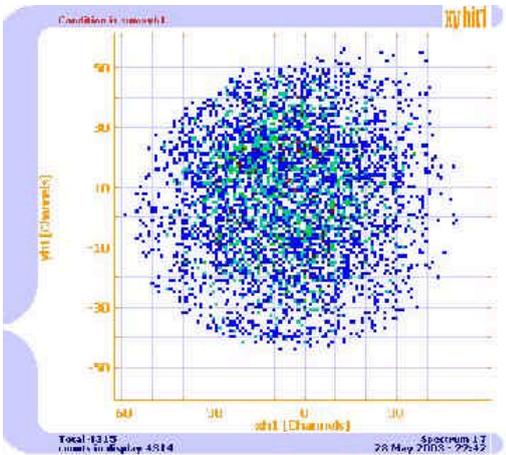
Fig 4.24a: Efeito da tensão aplicada nas placas defletoras no feixe de íons
Movimentação do feixe ao longo do eixo X



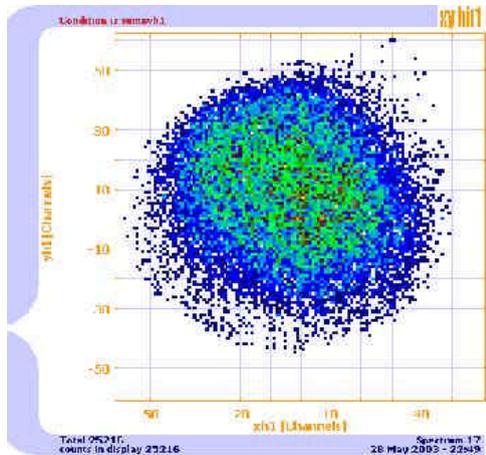
$$U_{\text{(placa Y)}} = 100 \text{ V}$$



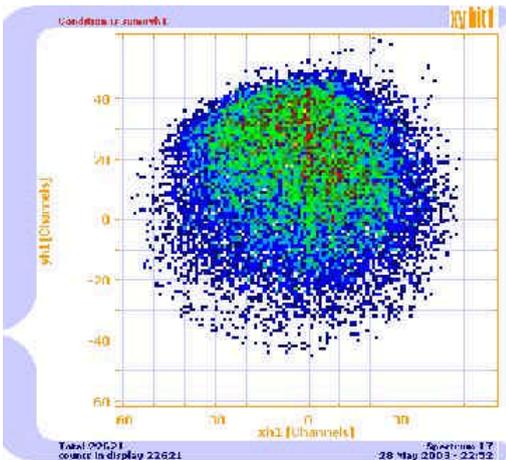
$$U_{\text{(placa Y)}} = 150 \text{ V}$$



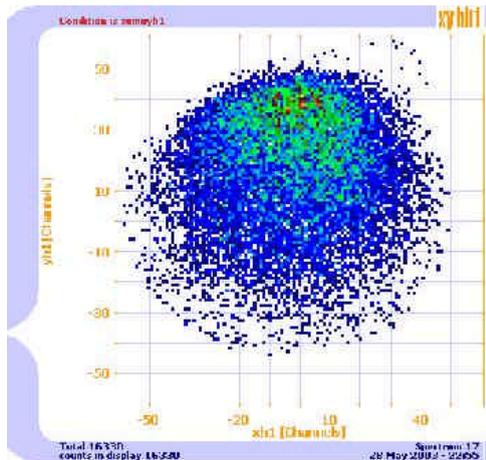
$$U_{\text{(placa Y)}} = 200 \text{ V}$$



$$U_{\text{(placa Y)}} = -50 \text{ V}$$



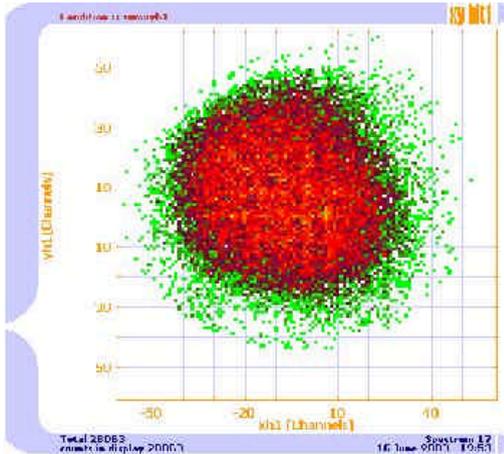
$$U_{\text{(placa Y)}} = -100 \text{ V}$$



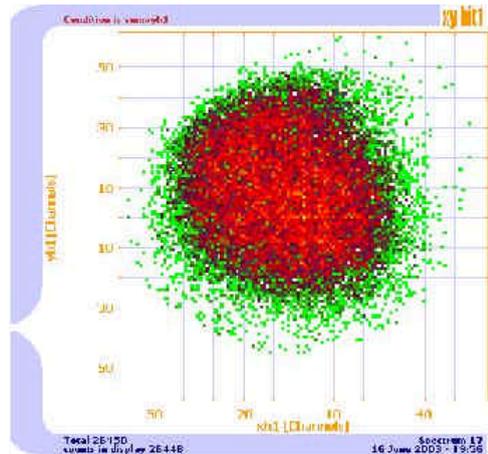
$$U_{\text{(placa Y)}} = -150 \text{ V}$$

Fig 4.24b: Efeito da tensão aplicada nas placas defletoras no feixe de íons

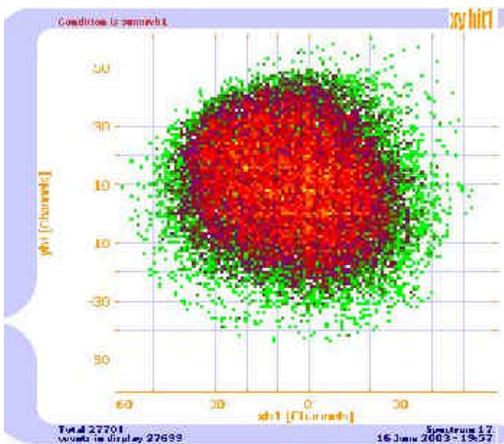
Movimentação do feixe ao longo do eixo Y



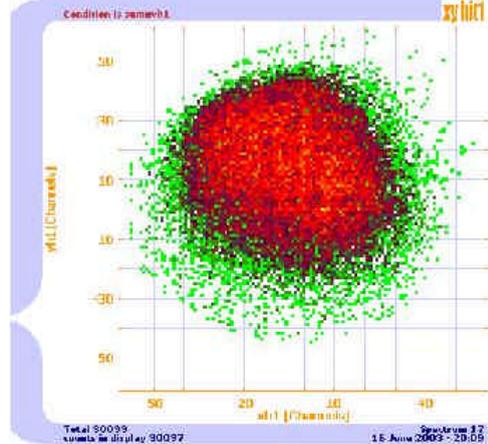
$$U_{(\text{Einzel})} = 0 \text{ kV}$$



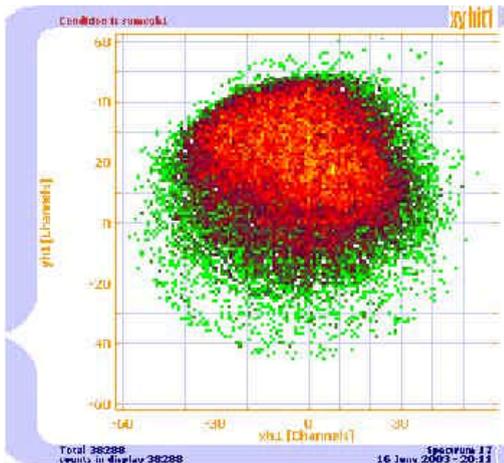
$$U_{(\text{Einzel})} = 2 \text{ kV}$$



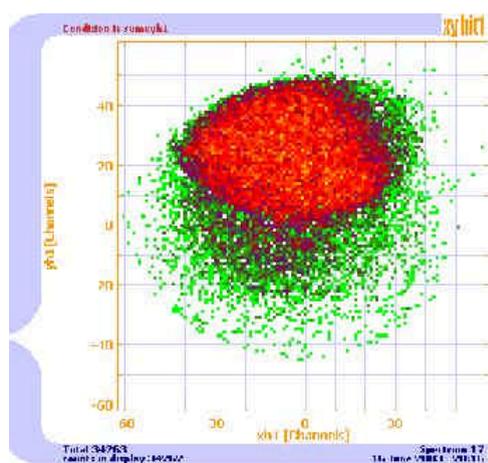
$$U_{(\text{Einzel})} = 4 \text{ kV}$$



$$U_{(\text{Einzel})} = 6 \text{ kV}$$



$$U_{(\text{Einzel})} = 8 \text{ kV}$$



$$U_{(\text{Einzel})} = 9 \text{ kV}$$

Fig. 4.25: Focalização do feixe de íons utilizando a lente eletrostática Einzel

Destes resultados podemos concluir que o eixo do conjunto alvo-grade não está coincidindo com o eixo do espectrômetro (eixo da Einzel). Porém é preciso fazer um ajuste na posição ou no conjunto alvo-grade ou na lente Einzel. Assim, poderá ser obtido um melhor alinhamento do espectrômetro todo. Esta é uma tarefa que pode levar um tempo longo, razão pela qual não foi contemplada no presente trabalho.