

1. Publicação nº <i>INPE-4589-NTI/287</i>	2. Versão	3. Data <i>Junho, 1988</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>LAP</i>	Programa <i>PQUI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>ATIVIDADES NO LABORATÓRIO PLASMA QUIESCENTE MAGNETIZADO</i>			
7. C.D.U.:533.9			
8. Título <i>ATIVIDADES NO LABORATÓRIO DE FÍSICA DE PLASMAS DA UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA EM LOS ANGELES</i>		10. Páginas: <i>38</i>	
		11. Última página: <i>31</i>	
		12. Revisada por <i>Ludwig</i> <i>Gerson Otto Ludwig</i>	
9. Autoria <i>José Leonardo Ferreira</i> <i>José Leonardo Ferreira</i> Assinatura responsável		13. Autorizada por <i>Marco Antonio Raupp</i> <i>Marco Antonio Raupp</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Neste trabalho estão descritas as atividades de pesquisa realizadas no Laboratório de Física de Plasmas do Departamento de Física da UCLA. Estão relatados os estudos de fluxo de corrente em um plasma não colisional, uniforme e com baixo nível de ruído. Através destes estudos foi possível comprovar a existência de processos anômalos durante o fluxo de corrente para um eletrodo positivamente polarizado e imerso em plasma quiescente magnetizado. A medida dos diversos parâmetros do plasma durante o fluxo de corrente é feita por sondas eletrostáticas e de radiofrequência, analisadores de energia e sondas magnéticas interfaceadas com um computador VAX 11/750 via conversores analógico-digitais. Informações importantes relativas à produção, confinamento, aquecimento e diagnóstico de plasmas foram obtidas através de seminários, contatos com diversos grupos de plasma da UCLA, e de visitas a outros centros de pesquisa na Califórnia.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

This work describes research activities in the Plasma Physics Laboratory at the Physics Department of UCLA. Studies on the current flow in a collisionless, uniform and low noise plasma were carried out. It was possible to verify the occurrence of anomalous processes during the current flow to a positively polarized electrode immersed in a quiescent magnetized plasma. The measurement of the various plasma parameters is made by electrostatic and RF probes, energy analysers and magnetic loop probes connected to a VAX 11/750 computer. Several relevant informations related to plasma, production, confinement, heating and diagnostics were obtained on seminars and contacts with several plasma research centers in California.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>ESTUDO EXPERIMENTAL DAS INSTABILIDADES DURANTE O FLUXO DE CORRENTE PARA UM ELETRODO PLANO IMERSO EM PLASMA MAGNETIZADO</u>	5
3 - <u>CONCLUSÃO</u>	20
4 - <u>OUTRAS ATIVIDADES NO LABORATÓRIO</u>	22
5 - <u>TRABALHOS APRESENTADOS EM CONGRESSOS</u>	26
6 - <u>PARTICIPAÇÃO EM SEMINÁRIOS</u>	27
7 - <u>ACOMPANHAMENTO DE PROJETOS E EXPERIMENTOS EM CURSO NA UCLA</u>	29
8 - <u>VISITAS E CONTATOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS</u>	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - (a) Esquema em escala da máquina de plasma quiescente da UCLA. (b) Vista lateral da máquina de plasma quiescente da UCLA, mostrando o lado por onde a maioria dos diagnósticos é inserida .	4
2 - Potencial aplicado ao eletrodo medido com uma ponta de prova para tensão (a), e corrente coletada pelo eletrodo medida com bobina de Rogowski (b)	7
3 - Corrente coletada pelo eletrodo (I_E), para vários potenciais (V_E) aplicados	8
4 - Diagrama esquemático da sonda múltipla com eletrodo, analisador de energia e sonda de radiofrequência (RF)	9
5 - Curvas características do analisador eletrostático para várias tensões no eletrodo	10
6 - Corrente coletada pelo eletrodo para $V_E = 60$ volts (a), sinal detetado pela sonda de RF (b), e o sinal processado pelo analisador de espectro em $f = 10\text{MHz}$, com sinal de referência para $V_E = 0$ volts (c)	12
7 - Variação do espectro em frequência da instabilidade produzida no fluxo de corrente para vários potenciais aplicados ao eletrodo	13
8 - Sinal de luz e sinal de corrente coletada pelo eletrodo em $t \approx 124\mu\text{s}$ no período de pós-luminescência (a), e os mesmos sinais em uma escala temporal ampliada em $t \approx 800\mu\text{s}$ (b)	15
9 - Corrente coletada pelo eletrodo para pressão de gás neutro ($= 1,5 \times 10^{-3}\text{torr}$) e para várias tensões V_E no eletrodo	16
10 - Corrente coletada pelo eletrodo (a), sinal detetado pela sonda de RF (b) e o sinal de RF processado por um analisador de espectro em $f = 10\text{MHz}$ (c)	18
11 - Parâmetros de plasma durante a ionização. (a) Perfis radiais e longitudinais de temperatura eletrônica ($k_B T_e$) e de potencial de plasma (ϕ_{pl}). (b) Perfis radiais e longitudinais de densidade eletrônica n_e	19
12 - Diagrama de blocos para sonda magnética tríplice (a) e sistema digital de aquisição de dados (b)	24

1 - INTRODUÇÃO

As atividades de pesquisa que serão descritas a seguir tratam de trabalhos experimentais realizados no Laboratório de Física de Plasma do Departamento de Física da UCLA, junto ao grupo do Prof. Reiner Stenzel. Estarão também descritas no final algumas atividades paralelas como a participação em seminários e congressos, acompanhamento de projetos de interesse para o Laboratório Nacional de Plasma e as visitas e contatos técnicos realizados entre fevereiro de 1987 e fevereiro de 1988.

A primeira destas atividades trata do estudo dos diversos tipos de instabilidades que ocorrem quando um eletrodo imerso em plasma quiescente magnetizado (Urrutia, 1987) e sem colisões é polarizado com potencial positivo bem acima do potencial de plasma, com pulsos cujo tempo característico de subida é maior que o tempo de resposta dos íons do plasma. Para este estudo uma sonda especial tem que ser construída de forma a permitir medidas simultâneas dos espectros das instabilidades e da distribuição de energia dos elétrons coletados pelo eletrodo. A segunda refere-se a geração de canais de corrente intensa em plasma quiescente magnetizado. O objetivo do trabalho foi o de produzir instabilidades MHD (efeito pinch, instabilidades kink, etc.) e estudá-las em um plasma sem colisões e com baixo nível de ruído. Foi realizado também um experimento que trata de medidas de flutuações térmicas de alta frequência que ocorrem perto da frequência eletrônica de plasma. O objetivo do experimento foi o de comparar medidas de flutuações térmicas feitas com sondas de radiofrequência a bordo de satélites, com medidas feitas em plasmas de laboratório.

Estes experimentos foram realizados em uma grande câmara de vácuo (diâmetro = 1,5m, comprimento = 3,0m) com parede dupla de alumínio e refrigerada por água deionizada (Figura 1) (Stenzel and Gekelman, 1981). O plasma formado é de grande volume (2m x 1m) e é produzido por descarga termiônica a partir de elétrons emitidos de um catodo quente de níquel com diâmetro de 1m, espessura de 1,0mm, coberto por uma camada de óxido de bário (BaO) liquefeito. O catodo é indiretamente aquecido por corrente proveniente de uma fonte de 50kW, aplicada a um conjunto de fios de

tungstênio colocados em contato térmico, mas isolados eletricamente do catodo por tubos cerâmicos.

A tensão de descarga aplicada ao catodo é em forma de um pulso quadrado de 40V de período igual a 5ms, e repetido a cada 2s. A corrente de descarga entre o anodo (em forma de grade) e o catodo é de 1000A, suficientemente grande para gerar uma cauda quente na função de distribuição de elétrons do plasma durante a descarga. Devido a isto é que os experimentos são realizados no período pós-descarga ou pós-luminescência (afterglow), isto é, entre dois disparos consecutivos, a 100 μ s do término da descarga. É somente no período pós-descarga que a cauda quente da função de distribuição de elétrons do plasma desaparece e o plasma pode então ser considerado Maxwelliano.

Para aumentar a vida do catodo é adicionado ao gás de argônio 5% de hidrogênio. Isto, mais o fato do plasma ser pulsado, permite que a máquina funcione ininterruptamente por períodos de até 5 meses. A obtenção dos parâmetros do plasma bem como todas medidas são feitas a partir de amostragem de no mínimo 10 disparos consecutivos. A pressão do gás neutro, a tensão de descarga e a temperatura do catodo são mantidas constantes via controladores eletrônicos ajustados a valores previamente escolhidos. Os parâmetros de trabalho desta máquina são os seguintes:

- Pressão de gás neutro: $2,0 \times 10^{-4}$ torr a $1,0 \times 10^{-3}$ torr;
- Tensão de descarga: 40,0V;
- Corrente de descarga: 1,0kA (durante 5ms);
- Temperatura do catodo: 900°C;
- Campo magnético: 30G;
- Densidade eletrônica de plasma: 10^{11} cm^{-3} a 10^{12} cm^{-3} ;
- Temperatura eletrônica: 2,1eV a 8,0eV;
- Temperatura iônica: 0,2eV a 0,5eV;
- Frequência de colisão elétron-íon: 1,0MHz;
- Livre caminho médio para os elétrons: 1,0m;

- Comprimento de Debye: 10^{-4}m a 10^{-5}m ;
- Raio de Larmor para elétrons: 10^{-2}m ;
- Raio de Larmor para íons: 0,5m;
- Frequência eletrônica de plasma: $\sim 6,0\text{GHz}$;
- Frequência iônica de plasma: $\sim 25,0\text{MHz}$;
- Frequência eletrociclotrônica: $\sim 30\text{MHz}$;
- Frequência íon-ciclotrônica: $\sim 400\text{Hz}$.

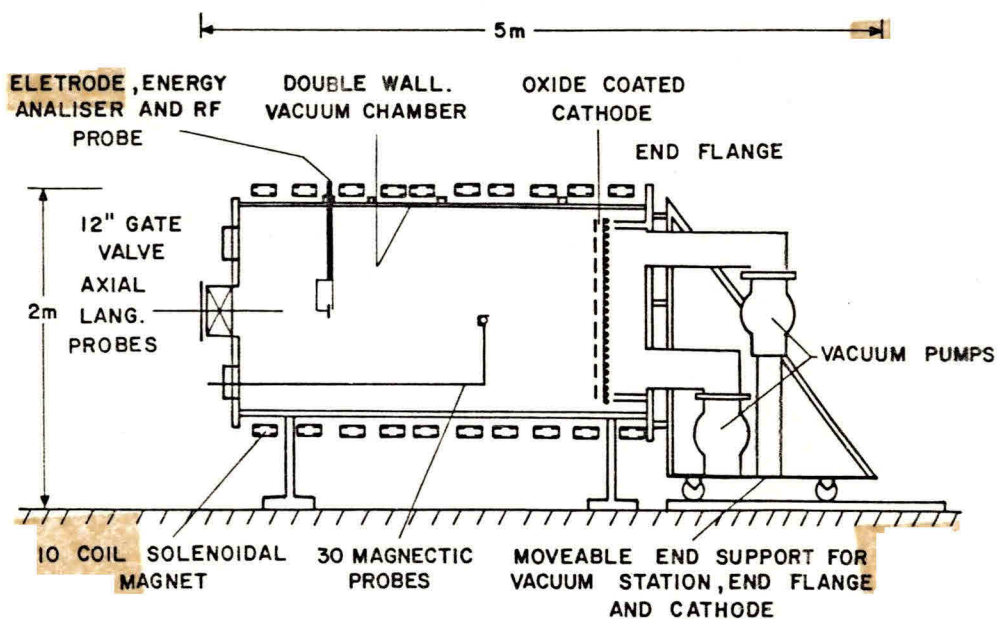


Figura 1a - Esquema em escala da máquina de plasma quiescente da UCLA.

FONTE: Stenzel and Gekelman (1981).

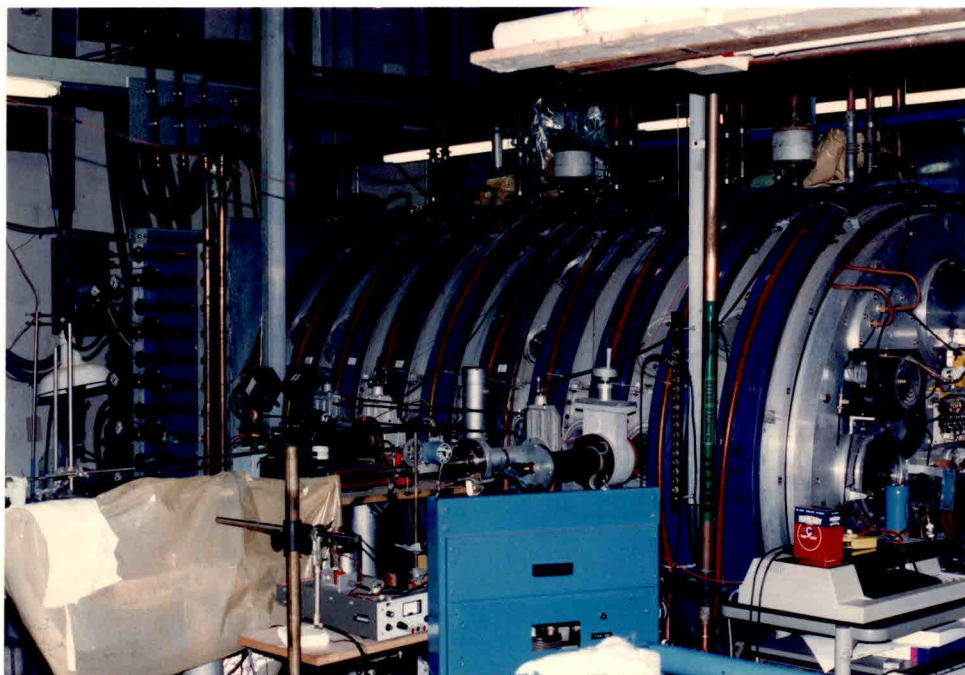


Figura 1b - Vista lateral da máquina de plasma quiescente da UCLA, mostrando o lado por onde a maioria dos diagnósticos é inserida.

2 - ESTUDO EXPERIMENTAL DAS INSTABILIDADES DURANTE O FLUXO DE CORRENTE PARA UM ELETRODO PLANO IMERSO EM PLASMA MAGNETIZADO

Um eletrodo pulsado com potencial positivo $V \gg k_B T_e / e$ em plasma magnetizado sem colisões pode coletar correntes superiores àquela prevista pela teoria de sondas eletrostáticas (Urrutia, 1987). O mecanismo pelo qual isto ocorre não é ainda bem compreendido, mas é provável que o aparecimento destas correntes adicionais esteja vinculado a um transporte anômalo de elétrons para o eletrodo. Ele é causado por instabilidades geradas na interação do feixe de elétrons com o plasma, ao longo de um tubo de fluxo formado em frente ao eletrodo polarizado. Neste trabalho o objetivo foi o de estudar estas instabilidades nos diversos regimes de funcionamento do eletrodo, isto é, para várias voltagens aplicadas ao eletrodo, em diferentes pressões de gás neutro.

Medidas efetuadas anteriormente revelaram que a aplicação de pulso de potencial ao eletrodo, com tempo de subida menor que o tempo de trânsito dos íons ($\sim 2 \mu s$) causa o aparecimento de um aglomerado de íons nas vizinhanças devido ao rápido movimento dos elétrons em direção ao eletrodo. A carga espacial positiva é instável e logo desaparece com a mútua repulsão dos íons do canal de corrente. A depressão na densidade de plasma em frente ao eletrodo causa o colapso da corrente eletrônica, ao mesmo tempo em que o plasma volta para preencher o buraco causado pelo espalhamento dos íons. Enquanto é mantido o pulso de tensão no eletrodo, o processo se repete em forma de um movimento oscilante fortemente amortecido, cujo período é determinado pelo tempo de trânsito dos íons através do canal de corrente.

A Figura 2 mostra a corrente coletada pelo eletrodo e o potencial aplicado. Note-se que enquanto dura o pulso quadrado de tensão, o fluxo de corrente e a instabilidade se mantêm, apesar de amortecidos. Note-se também que a duração do primeiro pico de corrente ($\sim 5 \mu s$) coincide com o tempo de expulsão e volta do plasma às vizinhanças do eletrodo. A Figura 3 mostra a variação da corrente coletada com o potencial aplicado no eletrodo (V_E). Quando o potencial do eletrodo é igual ou da ordem do potencial de plasma ($\phi_{pl} \approx 7,5$ volts), a corrente coleta

da é igual à corrente de saturação prevista pela teoria para sonda eletrostática plana, que neste caso é 1,5A. À medida que V_E aumenta, picos de corrente em excesso aparecem, sendo que o primeiro pico chega a ser 10 vezes maior que o previsto pela teoria. Note-se também que o tempo no qual ocorre o colapso da corrente diminui à medida que o potencial positivo do anodo aumenta, pois mais rapidamente os íons são expulsos do canal de corrente.

No intuito de averiguar o espectro de energia dos elétrons coletados, foi colocado atrás do eletrodo um analisador eletrostático de energia formado por três elementos em forma de disco com diâmetro de 5mm. O primeiro elemento é uma grade finíssima de 2000 linhas por polegada de níquel ligada ao eletrodo. O segundo é uma grade de aço inoxidável com 200 linhas por polegada ligada a uma fonte de tensão variável que fornece o potencial discriminador. O terceiro elemento é uma placa coletora de tântalo polarizada com potencial positivo de 100 volts, mantido constante durante o fluxo de corrente para o eletrodo. Na Figura 4 vê-se o esquema elétrico do analisador, e na Figura 5 as curvas características (corrente no coletor versus tensão de grade) para várias tensões de polarização do eletrodo V_E . Vê-se claramente que à medida que V_E cresce, os elétrons são aquecidos ao mesmo tempo que a curva característica passa a ter duas regiões de saturação, indicando a presença de feixes de elétrons quentes no plasma durante o fluxo de corrente para o eletrodo.

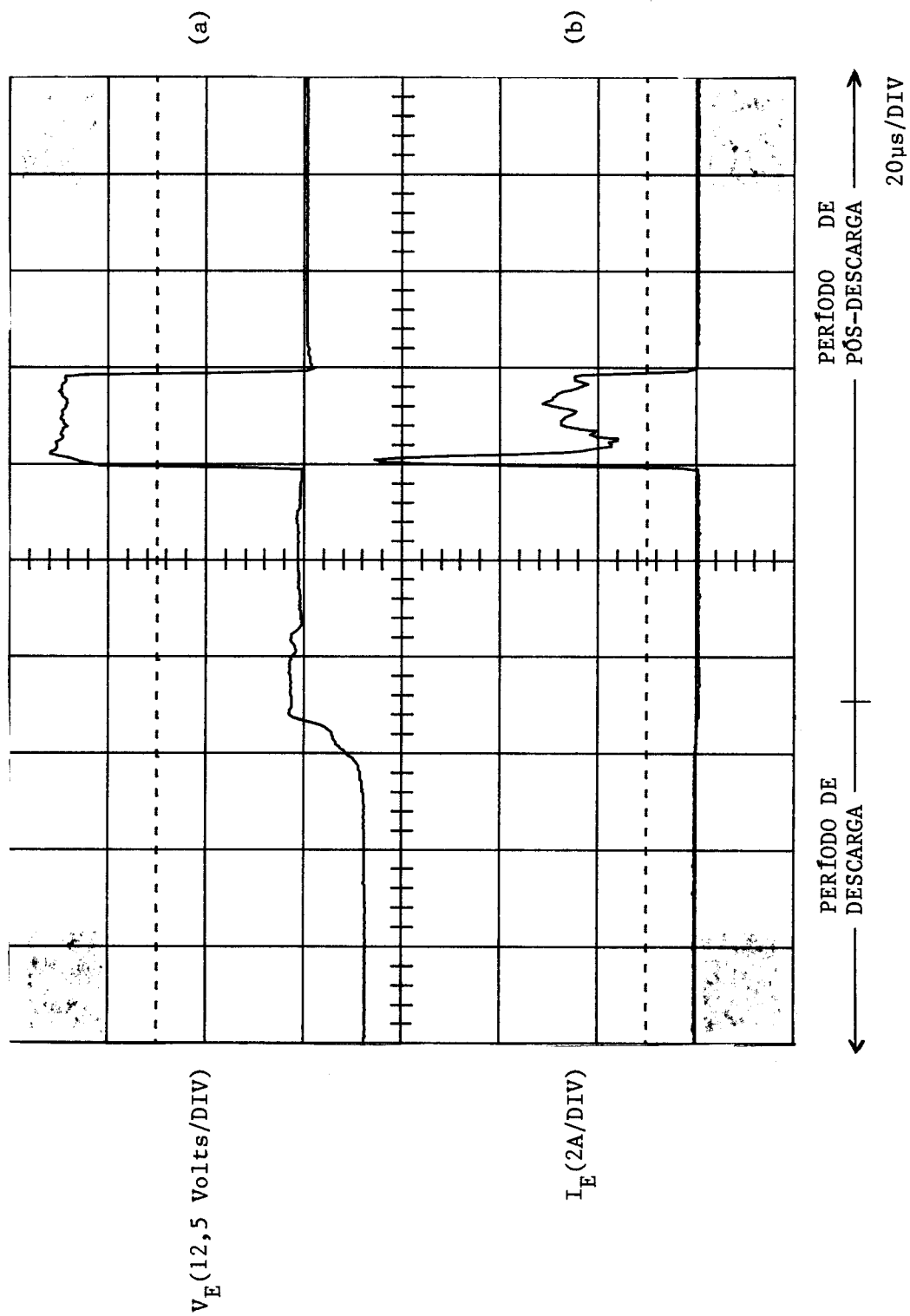


Figura 2 - Potencial aplicado ao eletrodo medido com uma ponta de prova para tensão (a), e corrente coletada pelo eletrodo medida com bobina de Rogowski (b).

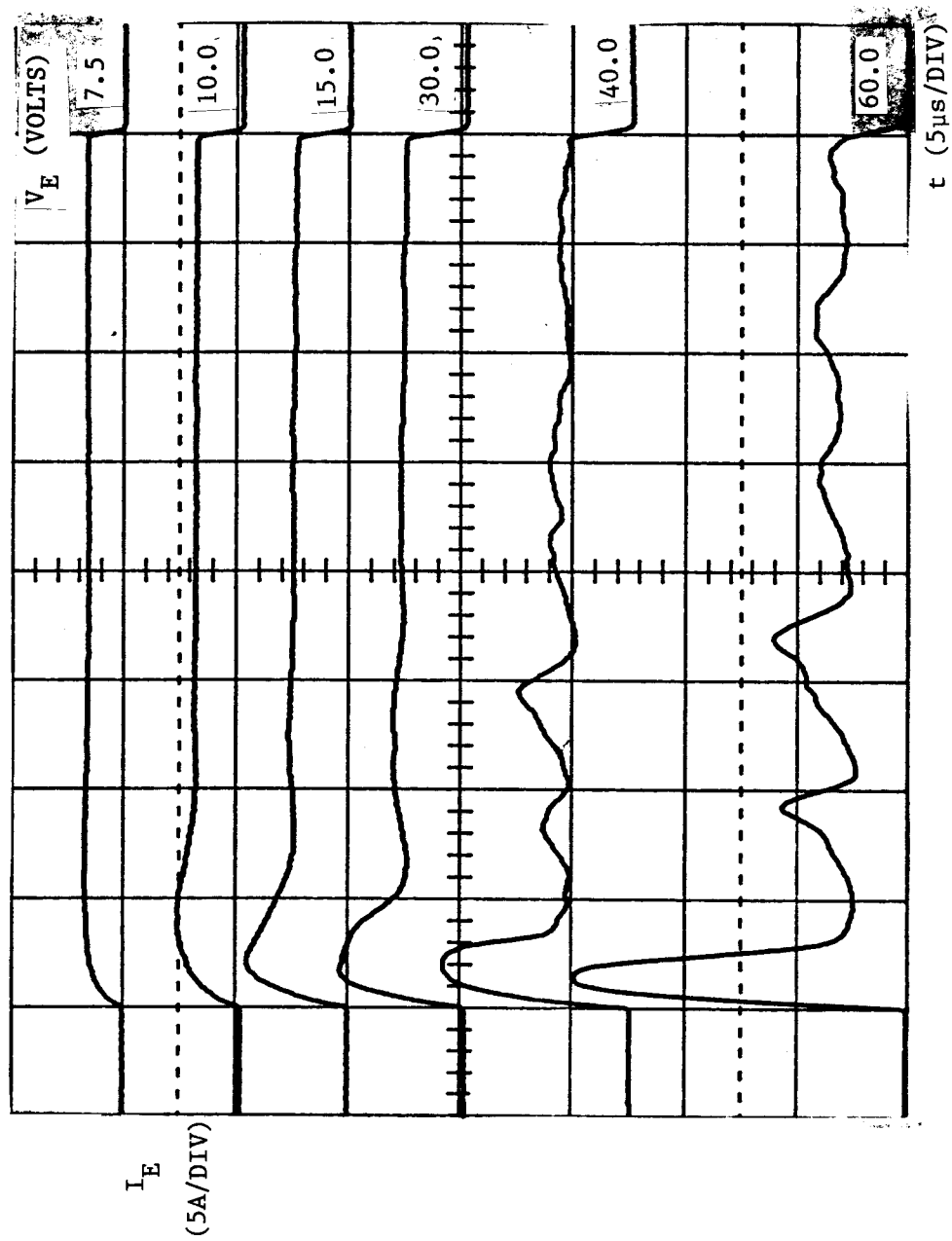


Figura 3 - Corrente coletada pelo eletrodo (I_E), para vários potenciais (V_E) aplicados.

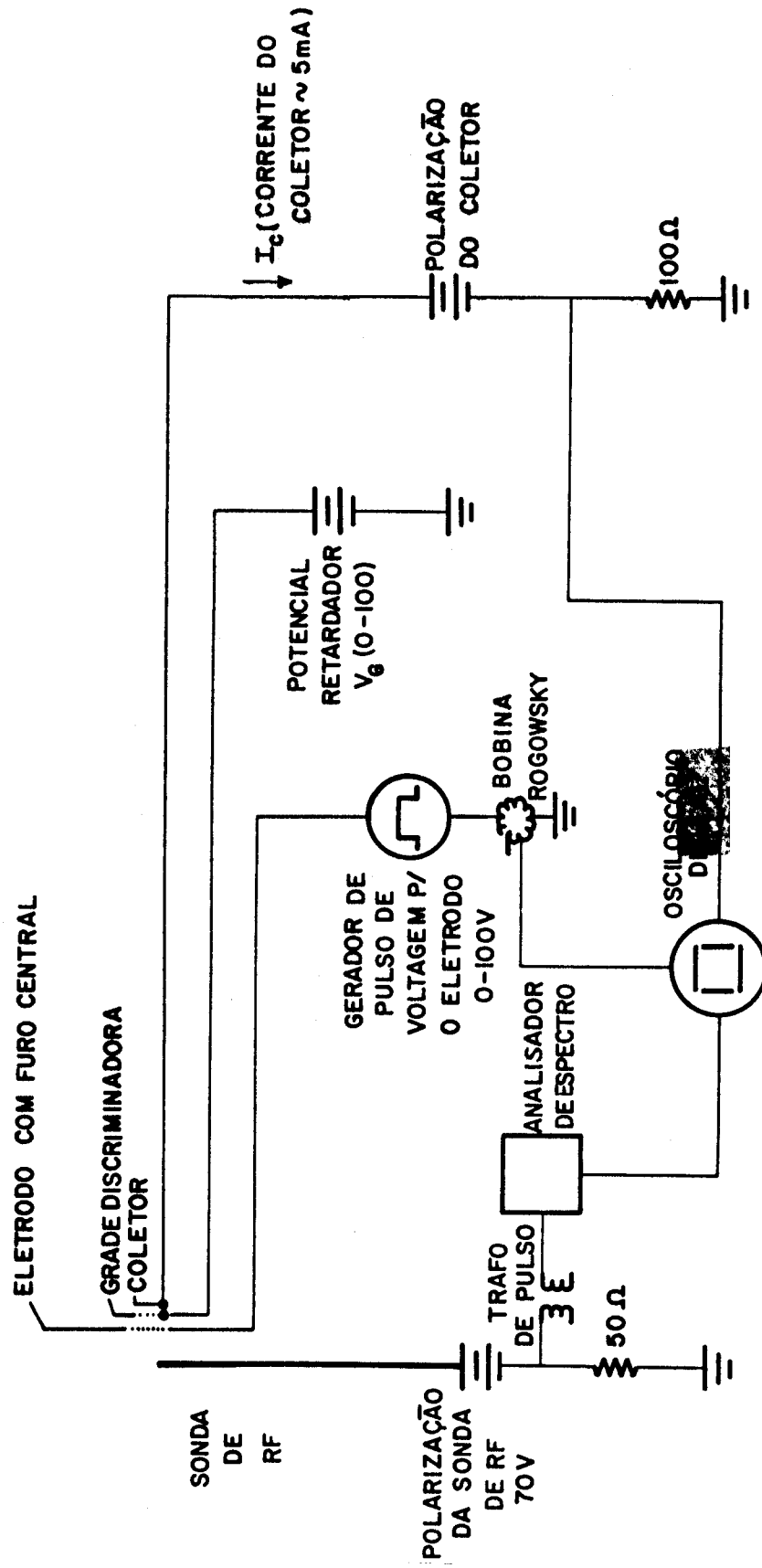


Figura 4 - Diagrama esquemático da sonda múltipla com eletrodo, analisador de energia e sonda de radiofrequência (RF).

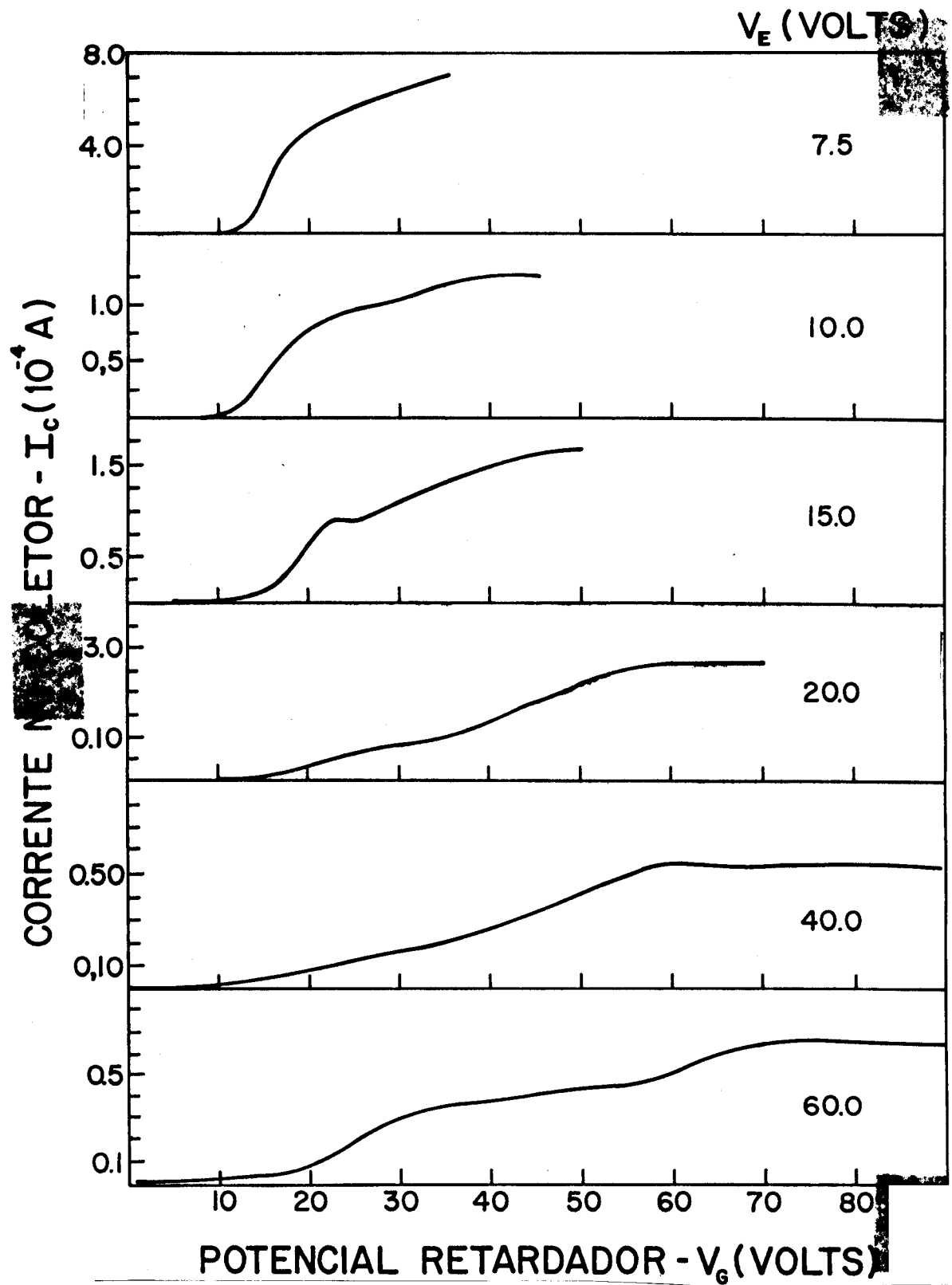


Figura 5 - Curvas características do analisador eletrostático para várias tensões no eletrodo.

A análise do espectro turbulento de baixa frequência é feita por uma sonda de radiofrequência (RF) composta por um fio simples de tântalo de 0,1mm de diâmetro blindado eletrostaticamente e posicionado a 5mm de distância do eletrodo. A sonda é livre para mover radialmente mas a distância entre ela e o eletrodo é mantida fixa. A polarização desta sonda é feita com uma fonte cc fixa de baterias de 22,5 volts cada, totalizando em um potencial positivo de polarização 67,5V. As flutuações de corrente coletada são medidas a partir da voltagem nas extremidades de um resistor de shunt ($\sim 50\Omega$), necessário para o acoplamento de impedância da sonda com o analisador de espectro.

Para evitar níveis de tensão CC, indesejáveis, utilizamos um transformador de pulso colocado entre a fonte de polarização da sonda de RF e o amplificador, que também serve de filtro passa alta. O amplificador está ligado a um analisador de espectro Tektronix modelo 7112 de 0,1 a 1,8GHz, cuja saída é ligada a um osciloscópio digital Le Croy 9400, 125MHz. Para cada frequência selecionada no analisador de espectro, é feita uma amostra de 50 disparos da máquina de plasma quiescente. O esquema do dispositivo usado na análise do espectro das instabilidades é mostrado na Figura 4.

Na Figura 6 vê-se a corrente que flui para o eletrodo, o sinal detetado pela sonda de RF, e o sinal após ser processado pelo analisador de espectro em uma frequência de 10MHz. A variação do espectro da turbulência com o potencial aplicado ao eletrodo V_E é mostrada na Figura 7 para $t = 3\mu s$; vê-se também que neste caso o espectro da instabilidade varia drasticamente com o potencial V_E .

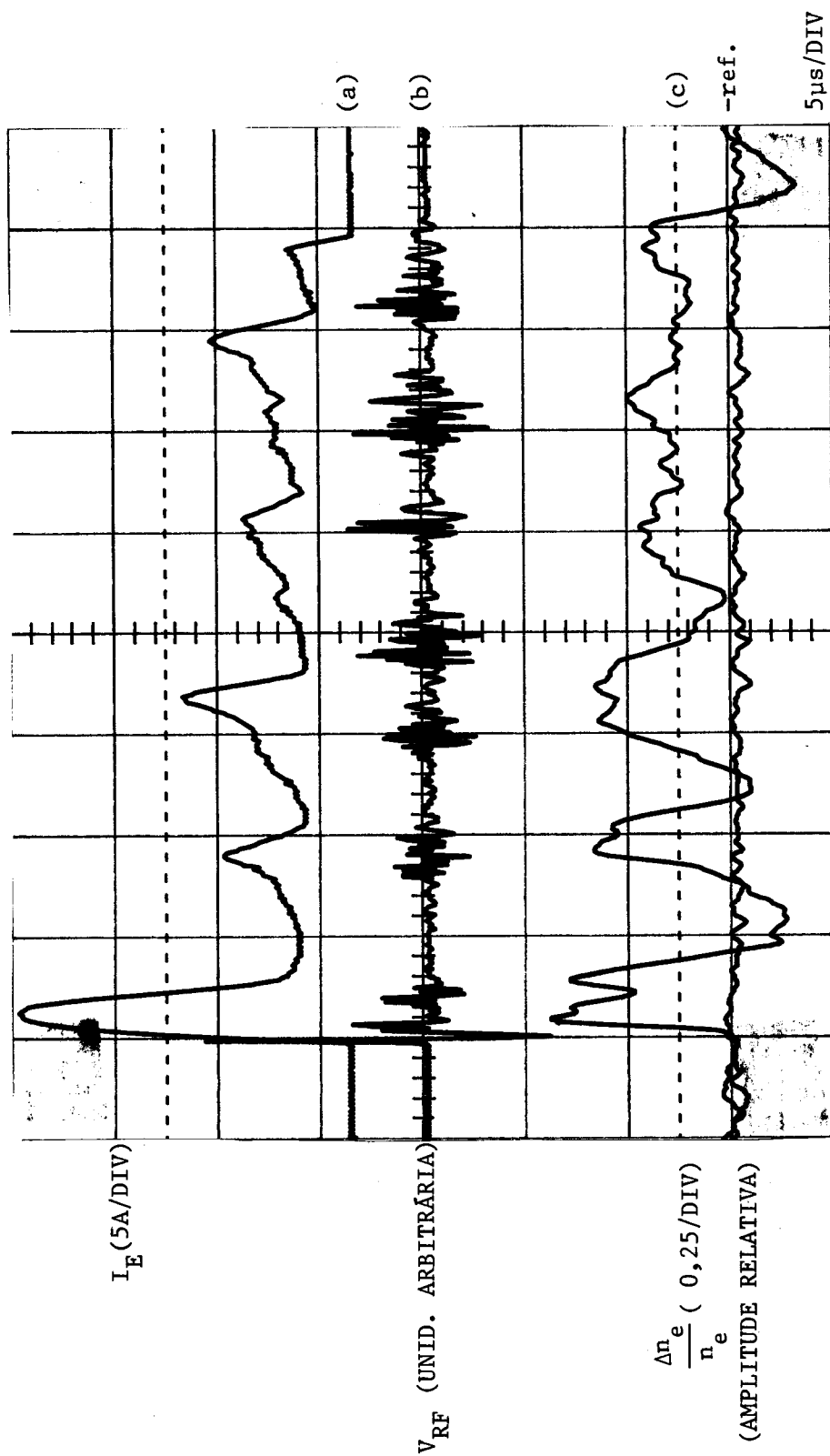


Figura 6 - Corrente coletada pelo eletrodo para $V_E = 60$ volts (a), sinal detectado pela sonda de RF (b), e o sinal processado pelo analisador de espectro em $f = 10\text{MHz}$, com sinal de referência para $V_E = 0$ volts (c).

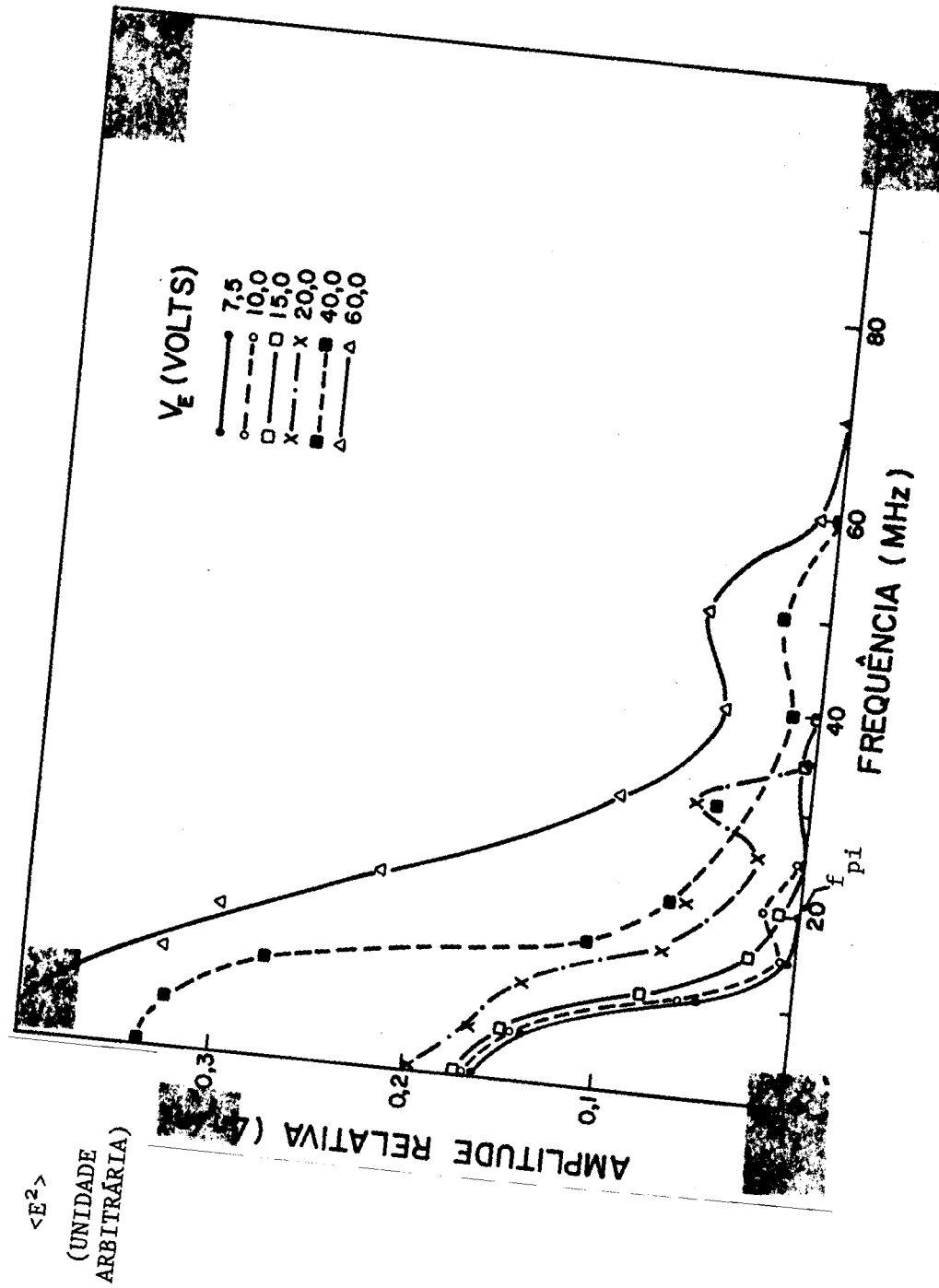


Figura 7 - Variação do espectro em frequência da instabilidade produzida no fluxo de corrente para vários potenciais aplicados ao eletrodo.

Para valores de V_E menores do que o potencial de plasma ϕ a corrente que flui para o eletrodo é pequena e nenhuma instabilidade foi observada. Para $V_E \geq \phi_{pl}$, o espectro é puramente acústico-iônico. Para $V_E \gg \phi_{pl}$, o espectro deixa de ser acústico-iônico e passa a ser semelhante ao espectro devido à instabilidade de Buneman. Esta instabilidade é gerada quando a velocidade de deriva dos elétrons (v_D) é maior que a velocidade térmica dos elétrons do plasma (v_{te}). No entanto, o espectro devido à instabilidade de Buneman possui um pico na frequência característica $f^* = \left(\frac{1}{2} \frac{m_e}{m_i}\right)^{1/3} f_{pe}$, que não foi identificado neste experimento.

Quando a razão entre a densidade de átomos neutros e a densidade de plasma não perturbado é maior ou igual a 20, e a tensão aplicada ao eletrodo está acima de 60 volts, a instabilidade na corrente coletada desaparece, dando lugar a um segundo pico de corrente cuja amplitude e largura são maiores que a do primeiro pico de excesso de corrente, observado em baixas pressões. Observa-se também que associado ao segundo pico existe um sinal de luz que pode ser detetado por uma fotocélula comum ligada diretamente ao osciloscópio. Na Figura 8 vê-se o sinal de luz do período pós-descarga e o sinal de corrente coletada pelo eletrodo em tempos distintos do período de pós-luminescência. Observa-se que o segundo pico de excesso de corrente será tanto menor quanto maior for o atraso do pulso de voltagem V_E com respeito ao início do período de pós-luminescência. E a emissão de luz é proporcionada por átomos de argônio metaestáveis excitados por elétrons energizados durante o fluxo de corrente para o eletrodo.

O aparecimento do segundo pico de corrente é fortemente dependente do potencial V_E aplicado ao eletrodo. A Figura 9 mostra os três regimes de operação do eletrodo. Para pulsos de tensão V_E próximos ao potencial de plasma ϕ_{pl} , a corrente coletada é a prevista pela teoria de sondas eletrostáticas; para tensões maiores que ϕ_{pl} e menores que 70 volts a instabilidade no fluxo de corrente para o eletrodo é observada. Acima deste potencial parte da instabilidade desaparece dando lugar ao segundo pico de corrente devido à ionização.

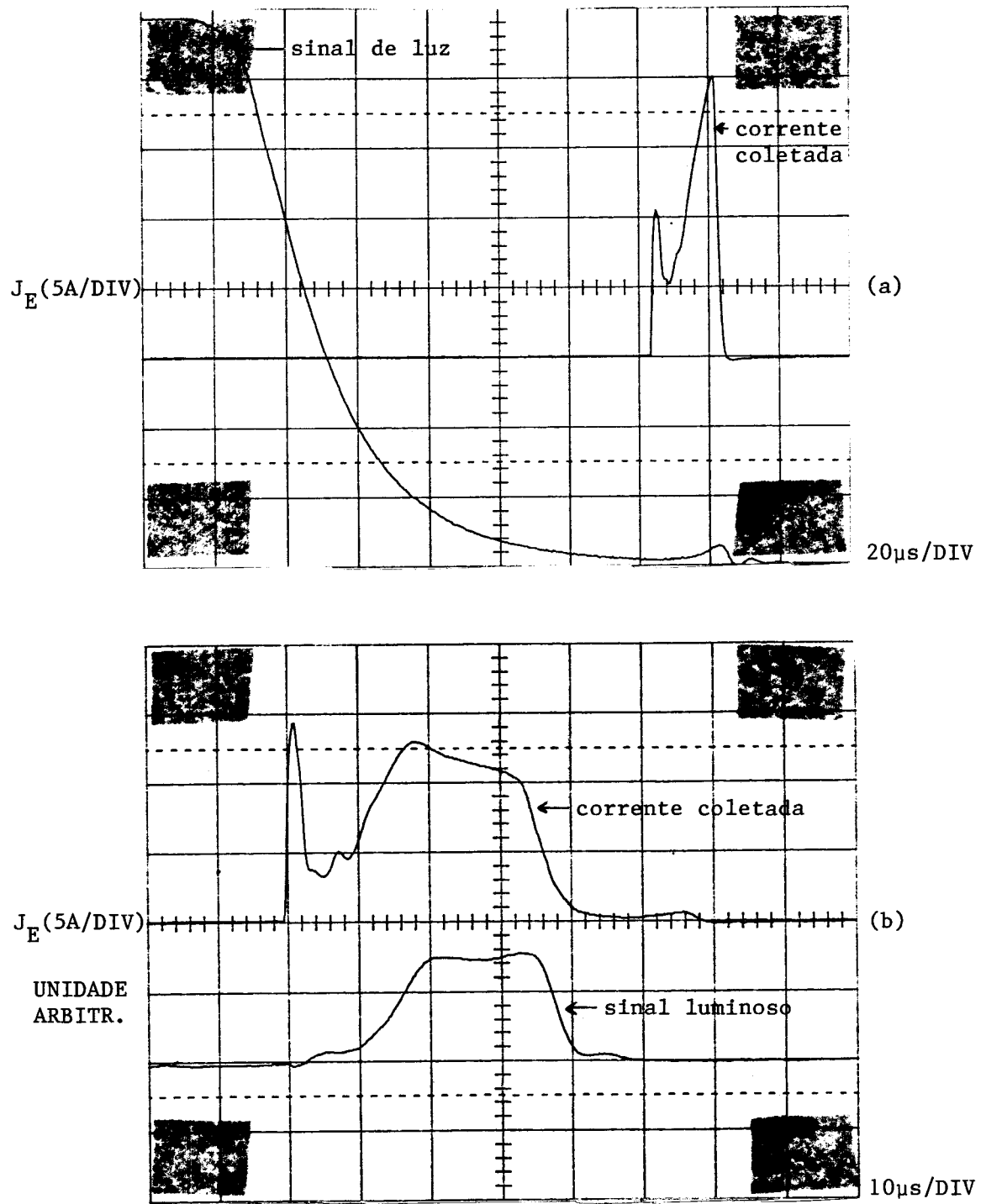


Figura 8 - Sinal de luz e sinal de corrente coletada pelo eletrodo em $t \approx 124\mu\text{s}$ no período de pós-luminescência (a), e os mesmos sinais em uma escala temporal ampliada em $t \approx 800\mu\text{s}$ (b).

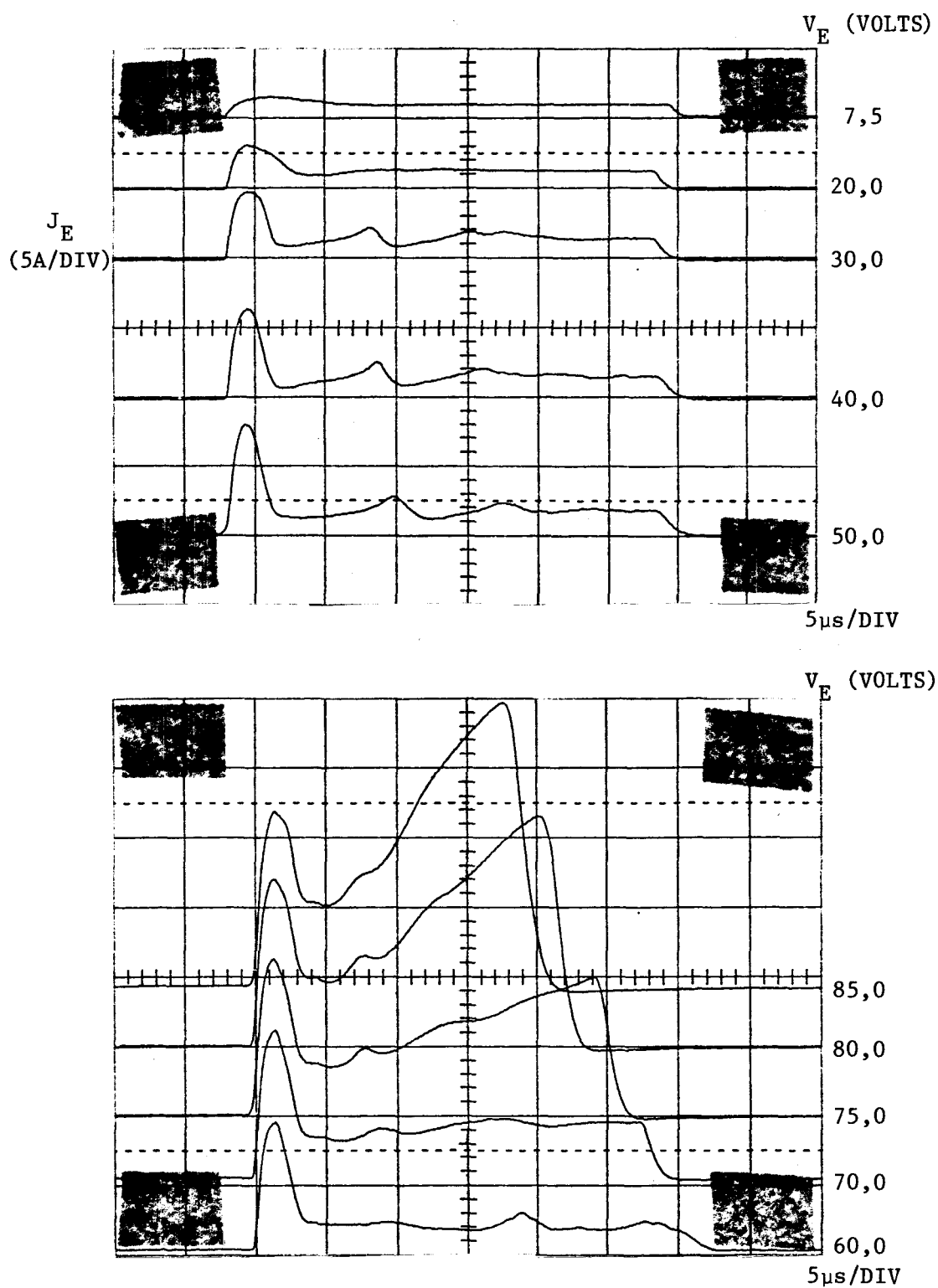


Figura 9 - Corrente coletada pelo eletrodo para pressão de gás neutro ($= 1,5 \times 10^{-3}$ torr) e para várias tensões V_E no eletrodo.

Como foi visto na Figura 5, associado ao primeiro pico de corrente existe um aquecimento turbulento dos elétrons nas vizinhanças do eletrodo. Este aquecimento gera as condições necessárias para o aparecimento de vários tipos de instabilidades (Franklin, 1976), devido à velocidade de deriva dos elétrons que é maior que a velocidade térmica e ao fato de haver ionização durante o fluxo decorrente para o eletrodo. A Figura 10 mostra a corrente coletada, o sinal da sonda de RF e o sinal processado pelo analisador de espectro em $f = 10\text{MHz}$. Vê-se claramente que o processo de ionização é acompanhado de geração de ondas turbulentas de grande amplitude ($\Delta n/n \geq 0,4$).

A avaliação dos parâmetros do plasma nas vizinhanças do eletrodo ficou facilitada devido à maior duração do pulso de ionização. Na Figura 11 estão mostrados os perfis espaciais da densidade, da temperatura eletrônica e do potencial de plasma nas vizinhanças do eletrodo para um tempo correspondente ao máximo da corrente coletada durante a ionização. A partir destes perfis é fácil ver que uma estrutura peculiar é formada em frente ao eletrodo, que tem todas as características de cama da dupla gerada no processo de ionização. A temperatura eletrônica aumenta nas vizinhanças do eletrodo como resultado da interação dos elétrons com as ondas turbulentas. De acordo com observações efetuadas em vários experimentos sobre o processo de ionização de gases em tubos de descarga, estes resultados podem indicar a presença de instabilidade eletrotérmica ou de ionização nas proximidades do eletrodo (Franklin, 1976). Além disso, de uma maneira geral os estudos do fluxo de corrente coletada pelo eletrodo durante a ionização podem ser relevantes para o recentemente proposto sistema de satélite reboque (Tether Satellite System - TSS) (Hastings and Martinez-Sanchez, 1986). Neste sistema, o elemento principal é formado por um eletrodo imerso na ionosfera e ligado ao satélite por um fio condutor de vários quilômetros. A finalidade deste sistema é a de realimentação de baterias do satélite através da coleta de elétrons do plasma ionosférico.

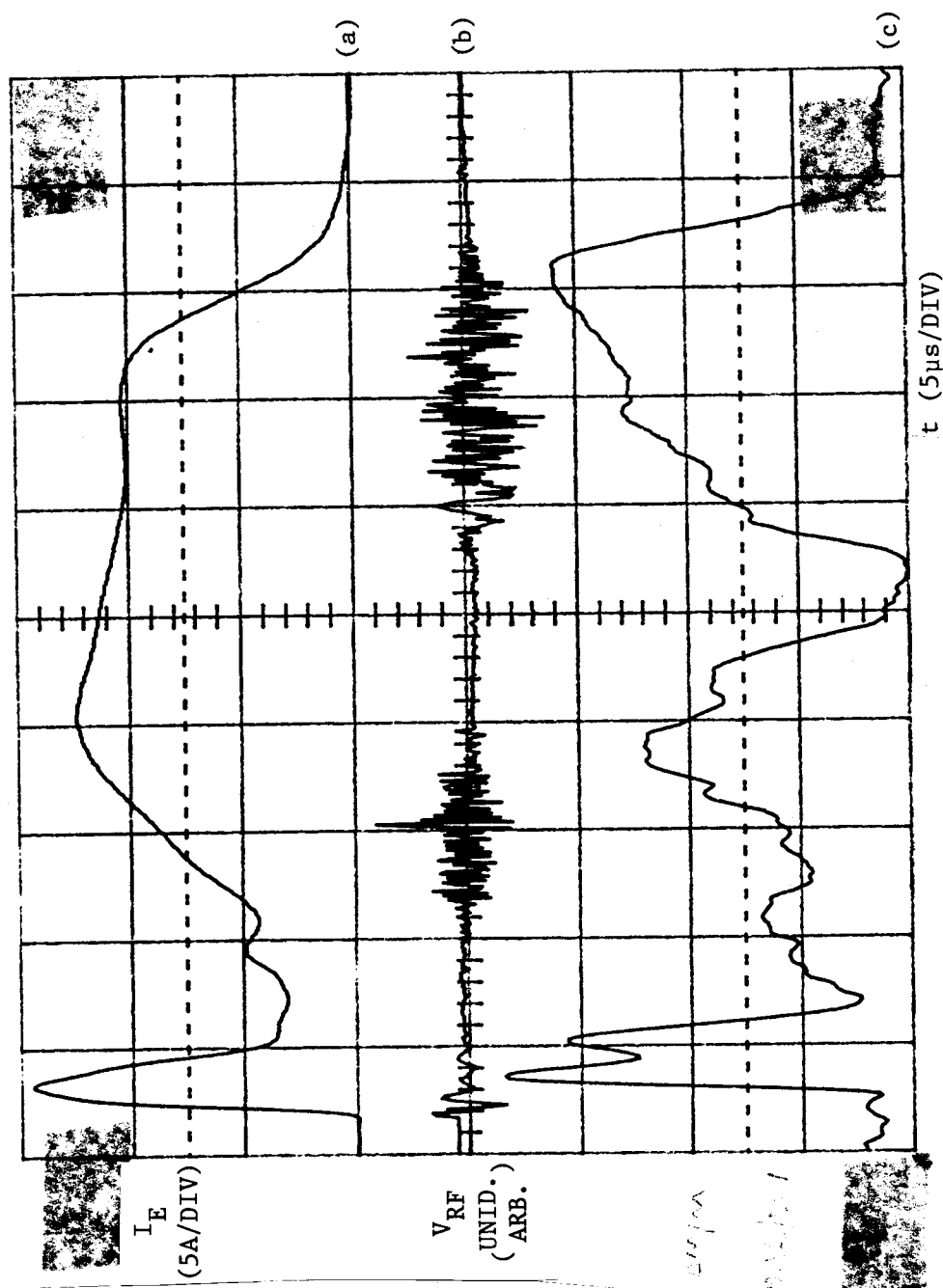


Figura 10 - Corrente coletada pelo eletrodo (a), sinal detetado pela sonda de RF (b) e o sinal de RF processado por um analisador de espectro em $f = 10\text{ MHz}$ (c).

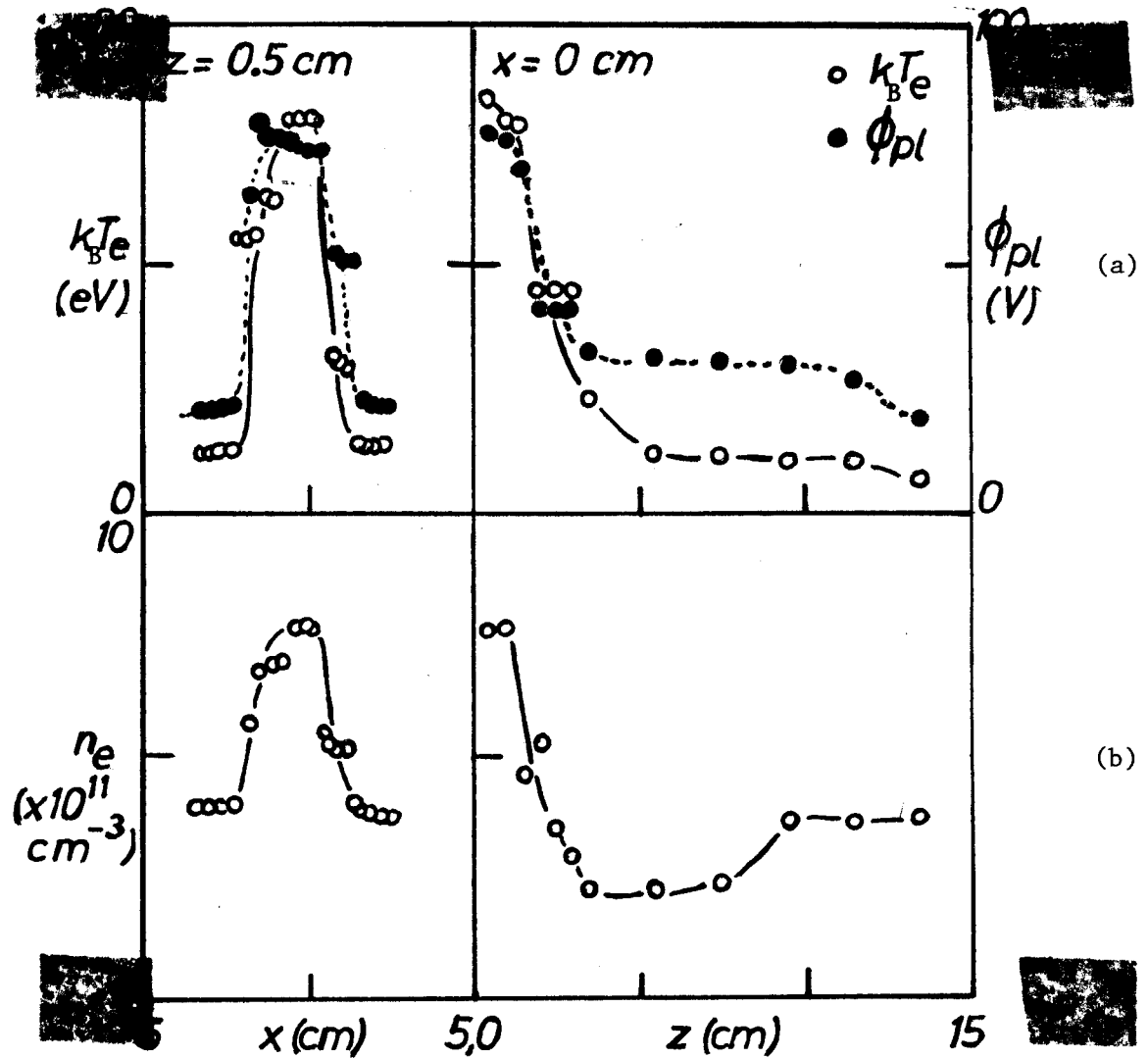


Figura 11 - Parâmetros de plasma durante a ionização. (a) Perfis radiais e longitudinais de temperatura eletrônica ($k_B T_e$) e de potencial de plasma (ϕ_{pl}). (b) Perfis radiais e longitudinais de densidade eletrônica n_e .

3 - CONCLUSÃO

A grande máquina de plasma quiescente pulsado da UCLA possui um alto nível de reprodutibilidade devido a dois fatores importantes:

O aquecimento indireto e a utilização de um único catodo, ao contrário das máquinas que utilizam fios de tungstênio diretamente aquecidos, ajudam a manter a corrente de descarga constante além de aumentar significativamente a vida média do catodo.

- A câmara de vácuo com parede dupla refrigerada é importante na inibição de degaseificação das paredes internas devido a aquecimento, contribuindo para diminuir o índice de impurezas no plasma.

O dispositivo formado pela sonda de RF, analisador eletro-tático de energia e eletrodo, utilizado no experimento de instabilidades devido a fluxo de corrente, produziu resultados satisfatórios. No entanto, o sistema de aquisição de dados mostrou-se muito lento. A varredura de energia do analisador é feita através de ajuste manual da tensão discriminadora, pois o tempo de duração do primeiro pulso de corrente é de 5 μ s, muito pequeno para varredura simultânea.

O espectro obtido com a sonda de RF para o caso em que o potencial aplicado ao eletrodo é bem maior que o potencial de plasma, não pode ser identificado como espectro devido à instabilidade de Buneman, por causa de vários fatores. Como exemplo podemos citar a existência de um campo magnético que pode produzir desvio em frequência das ondas instáveis, devido ao efeito Doppler. Além disso, o pico do espectro na frequência característica de Buneman (f^*) pode ser mascarado se a razão de crescimento deste modo for muito maior que f^* .

Os estudos de corrente coletada na presença de ionização foram importantes para o entendimento completo dos processos de coleta de corrente por eletrodo imerso em plasma magnetizado. No entanto, faz-se necessário um estudo mais detalhado da variação da corrente coletada com a intensidade do campo magnético e com a orientação do eletrodo, com respeito à direção deste campo. Faz-se necessário também um estudo mais

preciso da camada dupla formada com sondas emissivas para observar a evolução temporal do perfil de potencial. O estudo detalhado do espectro da turbulência poderá elucidar o papel desempenhado pela possível instabilidade eletrotérmica na coleta de corrente pelo eletrodo.

4 - OUTRAS ATIVIDADES NO LABORATÓRIO

a) Participação em experimentos de geração de corrente intensa em plasmas quiescentes

A finalidade deste experimento foi a de estudar a dinâmica de canais de corrente no interior de plasmas. Para isso foi colocado no interior da câmara uma grade de 1,0m de diâmetro contendo um arranjo modular de um ou dois furos de 10cm de diâmetro cada. A grade é polarizada com um pulso quadrado negativo de potencial no início da descarga termiônica, "forçando" a corrente de descarga a passar pelos furos e atingir um anodo final polarizado bem acima do potencial de plasma e posicionado na extremidade oposta a do catodo.

É importante assinalar que este método de geração de canais de corrente intensa baseia-se fortemente no experimento de fluxo de corrente descrito anteriormente. Este efeito, no entanto, não foi observado, devido provavelmente a um "vazamento" de plasma pela grade intermediária negativamente polarizada.

As componentes (B_x , B_y , B_z) dos campos magnéticos produzidos pelos canais de corrente são medidas com uma sonda magnética tríplice, isto é, composta por um conjunto de três bobinas orientadas nos eixos x, y e z da máquina. Cada bobina é composta por um anel contendo 50 voltas de fio de cobre esmaltado. Os anéis são protegidos do calor excessivo no interior da máquina via refrigeração parcial da sonda com água deionizada, espaguete de fibra de vidro, e por chapas finas de aço inoxidável que também servem de blindagem eletrostática.

A sonda magnética tríplice (Stenzel and Gekelman, 1981) se move no eixo z através de um motor de passo que move o eixo principal da sonda. O movimento na direção y é angular e por isso requer correções nas coordenadas. Estas correções são feitas por um sistema computacional que controla os movimentos e os sinais detetados pela sonda.

Os sinais da sonda magnética tríplice são integrados no tempo e gravados para cada ponto (x, y, z). Como o experimento possui uma taxa de repetição de 2s, e o tempo de duração da descarga é de 4ms, faz-se necessária a transferência dos sinais armazenados em conversores analógico-digitais rápidos (100MHz, 8 bit, 32K de amostras), para um computador que possua grande capacidade de processamento de vários sinais simultâneos. Isto é realmente necessário, pois só assim é possível processar os sinais em tempo real e escrever os resultados no disco com um tempo menor que o tempo de repetição da descarga (2s). Além disso, ao final do experimento é necessário manipular os dados armazenados que ocupam espaços de memória de até 8Mbytes (Figura 12).

O sistema de aquisição de dados utilizado para registrar os sinais da sonda tríplice pode separá-los em 1024 tempos diferentes e armazenar sinais de até 300 pontos no plano (x, y). Para isso utilizam-se unidades armazenadoras do tipo CAMAC, às quais estão ligadas os conversores analógico-digitais, que por sua vez estão ligados à sonda magnética tríplice e aos controladores dos motores de passo (Stenzel and Gekelman, 1981).

As unidades de armazenamento de sinais estão interfaceadas com um microcomputador LSI 11/23 que fornece ao experimento a possibilidade de analisar parcialmente os dados. A análise final dos dados, isto é, os mapas vetoriais de campo magnético $B(x,y,z,t)$, de densidade de corrente $J(x,y,z,t) = \mu_0^{-1}(\nabla \times B)$, os perfis de densidade de plasma, na configuração de grade com apenas um canal de corrente, são feitos por um computador Vax 11/750. Os computadores estão conectados via "hardware" do tipo ETHERNET e por um "software" rápido de 200Kbyte/s de razão de transferência, originalmente desenvolvido pelo Caltech Kellogg Radiation Laboratory e modificado no Laboratório de Plasma da UCLA.

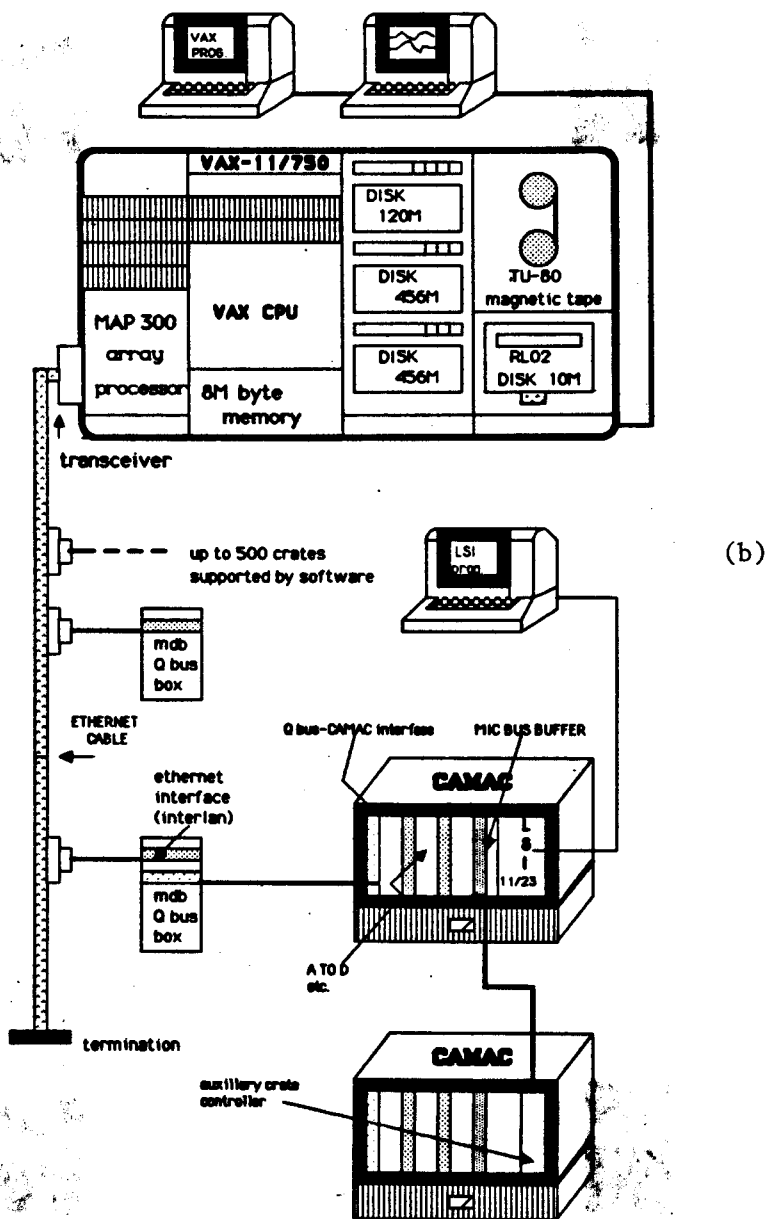
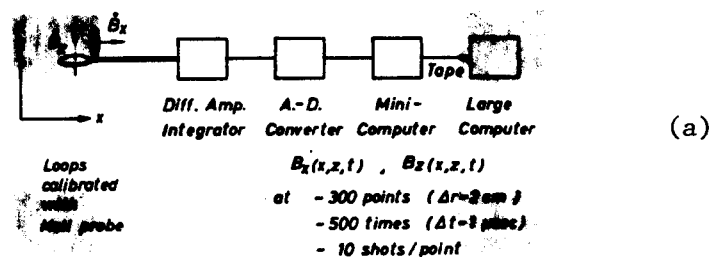


Figura 12 - Diagrama de blocos para sonda magnética tríplice (a) e sistema digital de aquisição de dados (b).

FONTE: Stenzel and Gekelman (1981).

b) Participação em experimentos de medida de flutuações térmicas de alta frequência em plasmas

O objetivo deste experimento foi de medir flutuações térmicas de alta frequência em um plasma quiescente magnetizado de grande volume experimental (2m x 1m). Para isso foram utilizados vários tipos de sondas e/ou antenas de RF ligadas a receptores de microondas com baixo nível de ruído operando na faixa de 2GHz a 5GHz.

As flutuações foram observadas tanto acima como abaixo da frequência eletrônica de plasma ($f_{pe} \sim 3\text{GHz}$). Mas nenhum engrandecimento do campo elétrico longitudinal foi observado em $f \approx f_{pe}$, como ocorre em vários experimentos de antenas de RF em satélites na magnetosfera. Ao invés disso um grande aumento no espectro de flutuações foi observado quando ocorre ressonância na lâmina de plasma em torno da antena de RF. Este fenômeno é também chamado de instabilidade de lâmina de plasma e está associado com a aceleração e reflexão de partículas do plasma na interface entre a lâmina e o plasma propriamente dito.

A frequência de ressonância e a amplitude das flutuações dependem do potencial CC aplicado à antena. Quando o potencial aplicado é igual ao potencial de plasma nenhuma ressonância é observada. Para potencial bem acima do potencial de plasma, oscilações monocromáticas de grande amplitude são observadas.

Este experimento serviu para demonstrar que nem sempre é possível uma interpretação correta dos dados provenientes de sondas e antenas de RF colocadas em satélites e naves espaciais, para medida de flutuações de alta frequência em plasmas magnetosféricos.

5 - TRABALHOS APRESENTADOS EM CONGRESSOS

FERREIRA, J.L.; URRUTIA, J.M.; STENZEL, R.L. "Current-driven instabilities observed during large current flow to an electrode in a magnetoplasma" (American Physical Society, 29th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, 2 a 6 de novembro de 1987, San Diego, CA).

PFISTER, H.; GEKELMAN, W.; STENZEL, R.L.; FERREIRA, J.L. "The dynamics of current channels with large self generated magnetic fields in collisionless plasmas" (American Physical Society, 29th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, 2 a 6 de novembro de 1987, San Diego, CA).

FERREIRA, J.L.; STENZEL, R.L. "Measurement of high-frequency thermal fluctuations with antennas in plasmas" (Annual Meeting of the American Geophysical Union, 6 a 11 de dezembro de 1987, San Francisco, CA).

6 - PARTICIPAÇÃO EM SEMINÁRIOS

- The earth bow shock at 9RE observed by the AMPTE and CCE satellites in 1984,
pelo Departamento de Ciência Espacial da UCLA.
- MHD simulations of plasma flow past conducting obstacles with applications to IO's interaction with the plasma torus,
pelo Departamento de Ciência Espacial da UCLA.
- Tearing formation of magnetic islands within neutral sheet experimental observations,
por Walter Gekelman (Plasma Physics Laboratory at UCLA).
- Current driven by ICRF and ECRF in toroidal plasmas,
por Burton D. Fried (Plasma Physics Group at UCLA).
- Plasma transport and current drive in tokamaks and its connection to current drive in reactors,
por Robert Taylor (Engineering Department, UCLA).
- Theoretical interpretations of anomalous transport in tokamaks,
por Dr. Bill Tang (Princeton Plasma Physics Laboratory).
- Searching for new frontiers in plasma physics,
por Alfred Wong (Plasma Physics Laboratory at UCLA).
- Tokamak physics breakthroughs using advanced far infrared diagnostics,
por William A. Peebles (Engineering Department, UCLA).
- Physics basis for the compact ignition tokamak (CIT),
por Ron H. Parker (Plasma Physics Laboratory at MIT).
- Plasma physics in space: voyager's view of the planets,
por Dr. Frederick Scarf (Space Science Department, UCLA).
- Observation of enhancement densities in a pump limiter,
por Peter Miduszewski (Oak Ridge National Laboratory).
- Basic plasma physics experiments in the laboratory,
por Reiner Stenzel (Plasma Physics Laboratory at UCLA).

- Confinement studies in the doublet III - tokamak,
por Jim De Boo (General Atomics).
- Basic experiments in hot collisionless plasmas,
por Masayuki Ono (Princeton Plasma Physics Laboratory).

7 - ACOMPANHAMENTO DE PROJETOS E EXPERIMENTOS EM CURSO NA UCLA

- Projeto de construção de uma longa máquina de plasma quiescente (compr. = 10m e diâm. = 1m) para estudo de ondas de Alfvén e whistlers em plasma sem colisões e com íons magnetizados ($B = 3\text{kG}$).
- Projeto de uma nova sonda magnética que funciona à base do princípio de rotação de Faraday. As principais vantagens desta sonda são: maior sensibilidade (até 0,3G) e melhor resposta em frequência (até 1GHz).
- Medida do espectro de energia de íons utilizando um detetor de partículas neutras no Tokamak CCT (Continuous Current Tokamak).
- Utilização de um analisador eletrostático de energia de íons como espectrômetro de massa com resolução espacial em plasma quiescente composto por várias espécies de íons.

8 - VISITAS E CONTATOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

- Tokamak CCT no Departamento de Engenharia da UCLA.
- Surfatron no Departamento de Engenharia da UCLA (experimento de aceleração de elétrons usando interação de ondas em batimento de lasers de alta potência).
- Tokamak Doublet III na Divisão de Plasma e Fusão Termonuclear da General Atomics em San Diego, CA.
- Supercomputer Center na Universidade da Califórnia em San Diego, CA.
- Laboratório de Propulsão Elétrica do Jet Propulsion Laboratory (JPL) em Pasadena, CA (o laboratório desenvolve propulsores iônicos à base de xenônio para utilização em missões espaciais que requerem grande impulso específico; ele também possui experimentos com propulsores magnetoidrodinâmicos para missões espaciais longas com grande empuxo).
- Entrevista com os pesquisadores W. Kunkel e K.N. Leung do Lawrence Berkeley Laboratory em Berkeley, CA, sobre a utilização de fontes volumétricas de íons negativos multidipolo magnéticas em injetores de partículas neutras para aquecimento de plasmas termonucleares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- STENZEL, R.L.; GEKELMAN, W. J. of Geoph. Res. vol. 86 n^o A2, 649 (1981).
- URRUTIA, J.M. "Experimental study of time varying current flow between electrodes immersed in a laboratory magnetoplasma", PP6 1115, UCLA, Oct. (1987).
- FRANKLIN, R.N. in "Plasma phenomena in gas discharges", chap. 8, Clarendon Press, Oxford (1976).
- HASTINGS, D.E.; MARTINEZ-SANCHEZ, M. AAS Preprint AAS-86-366, Oct. (1986).



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROPOSTA PARA
PUBLICAÇÃO

- ☐ DISSERTAÇÃO
☐ TESE
☒ RELATÓRIO
☐ OUTROS

TÍTULO

Atividades no Laboratório de Física de Plasmas
da Universidade da Califórnia em Los Angeles

AUTOR(ES)

José Leonardo Ferreira

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

IDENTIFICAÇÃO

DISS. OU TESE

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

LAP

DIVULGAÇÃO

☒ EXTERNA ☐ INTERNA ☐ RESTRITA

EVENTO/MEIO

☐ CONGRESSO ☐ REVISTA ☐ OUTROS

NOME DO REVISOR

Gerson O. Ludwig

NOME DO RESPONSÁVEL

GERSON O. LUDWIG

REV. TÉCNICA

APROVAÇÃO

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

1/1

20/05/88

Ludwig

APROVADO

DATA

ASSINATURA

☒ SIM

☐ NÃO

20/05/88

Ludwig

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

1/1

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

1/1

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRU-
ÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

5/88

15/88

MÁRCIA P.V. PAIVA

DATILÓGRAFA

Nº DA PUBLICAÇÃO

PÁG.

CÓPIAS

Nº DISCO

LOCAL

☐ SIM

☐ NÃO

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

1/1

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Classificação : NT1