



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY	
PLASMA QUIESCENTE INTERAÇÃO PLASMA-SATÉLITE PLASMA ESPACIAL		<i>Gerson Otto Ludwig</i> Gerson Otto Ludwig Chefe do LAP	
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		REVISADA POR/REVISED BY	
José Leonardo Ferreira		<i>Maria Virgínia Alves</i> Maria Virgínia Alves	
CDU/UDC		DATA/DATE	
533.9		Dezembro 1990	
PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO		ORIGEM ORIGIN	
INPE-5215-PRE/1671		LAP	
TÍTULO/TITLE		PROJETO PROJECT	
MÁQUINA DE PLASMA QUIESCENTE PARA ESTUDO DA INTERAÇÃO DE SATÉLITES COM PLASMAS ESPACIAIS		PQUI	
AUTORES/AUTHORSHIP		Nº DE PAG. NO OF PAGES	
J.L. Ferreira, J.G. Ferreira, G.M. Sandonato, * E.D. Campos, * W.C. Damásio * alunos de mestrado do ITA/CAPEs E FAPESP		12	
		ULTIMA PAG. LAST PAGE	
		12	
		VERSÃO VERSION	
		Nº DE MAPAS NO OF MAPS	
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES			
As características das máquinas de plasma quiescente ou estável do LAP (PQUI I e II) são apresentadas neste trabalho. Elas foram construídas e desenvolvidas nas oficinas do INPE, e geram plasmas de baixa densidade e temperatura, ideais para simulação e testes de interação de satélites com plasmas espaciais. Neste trabalho sondas de Langmuir e sondas emissivas foram utilizadas para avaliar densidade, temperatura e o perfil espacial de potencial nas vizinhanças de uma esfera de cobre introduzida no plasma, simulando o satélite imerso na ionosfera.			
OBSERVAÇÕES/REMARKS			
Trabalho apresentado no 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial (BSAT), agosto 1990.			

MÁQUINAS DE PLASMA QUIESCENTE PARA ESTUDO DA INTERAÇÃO DE SATÉLITES COM PLASMAS ESPACIAIS

J. L. Ferreira, J. G. Ferreira, G. M. Sandonato,
E. D. Campos* e W. C. Damásio*
Laboratório Associado de Plasmas - LAP
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
C. P. 515 - CEP 12201 - São José dos Campos - SP

*Alunos de Mestrado do ITA/CAPES e FAPESP

RESUMO

As características das máquinas de plasma quiescente ou estável do LAP (PQUI I e II) são apresentadas neste trabalho. Elas foram construídas e desenvolvidas nas oficinas do INPE, e geram plasmas de baixa densidade e temperatura, ideais para simulação e testes de interação de satélites com plasmas espaciais. Neste trabalho sondas de Langmuir e sondas emissivas foram utilizadas para avaliar densidade, temperatura e o perfil espacial de potencial nas vizinhanças de uma esfera de cobre introduzida no plasma, simulando o satélite imerso na ionosfera.

1 - INTRODUÇÃO

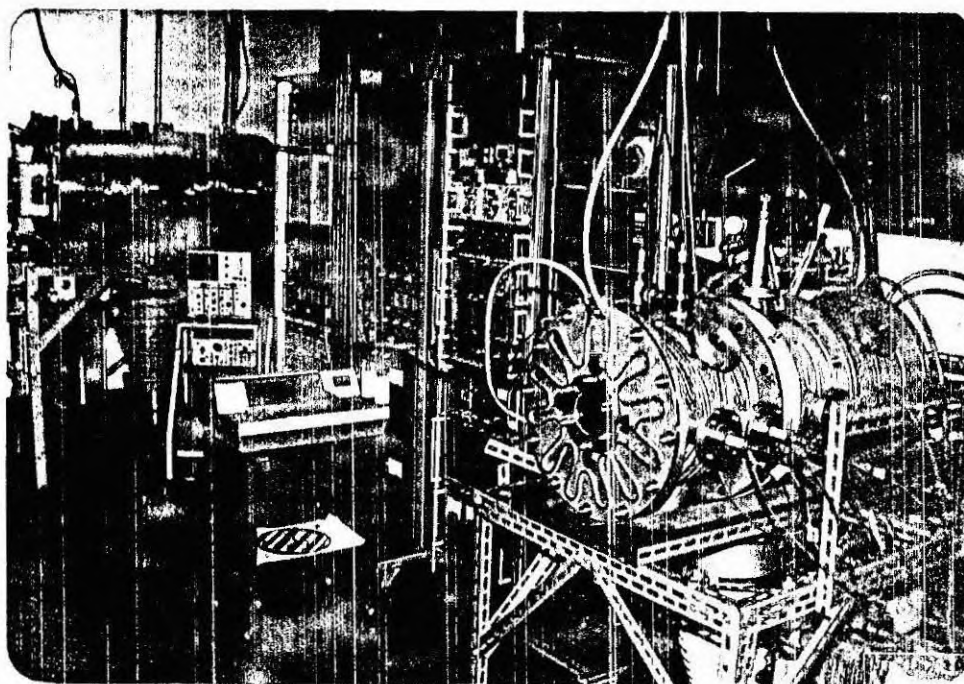


Fig. 1 - Vista Geral das máquinas PQUI-I (em primeiro plano) e PQUI-II (ao fundo).

O meio ambiente em que se encontram os satélites artificiais é sempre adverso aos equipamentos de bordo e à própria estrutura externa destes satélites. Além da exposição direta a feixes de partículas energéticas, e a diversos tipos de radiação infravermelha, ultravioleta, raios x e gama, os efeitos do plasma ionosférico, especialmente em satélites de órbita baixa, podem ser extremamente danosos. O carregamento diferenciado da estrutura externa pode provocar curtos circuitos entre os equipamentos internos, faíscas elétricas na parte externa e até mesmo a corrosão dos materiais expostos ao ataque das partículas do plasma (1).

O estudo da interação de satélites com plasmas espaciais vem sendo realizado por vários anos através de métodos analíticos (2) e de simulação computacional (3). Devido aos limites técnicos da observação direta deste fenômeno, inúmeros experimentos de simulação destes efeitos têm sido realizados em laboratórios com plasmas de grande volume (1). Nestes experimentos no entanto, nem sempre é possível produzir as reais condições do plasma ionosférico, pois nas regiões de plasma menos densas o comprimento de Debye é da ordem de metros.

Neste trabalho as características dos plasmas produzidos pelas máquinas de plasma quiescente do LAP-INPE serão apresentadas. Será demonstrado que o plasma gerado nestas máquinas é semelhante ao plasma ionosférico, e que isto permite a realização de simulação de interação plasma-satélite em escala reduzida. Os resultados obtidos com a medida da temperatura e da densidade eletrônica com sondas eletrostáticas, e de perfil espacial de potencial de plasma com sonda emissiva, nas proximidades de uma esfera de cobre de raio = 0,50 cm, serão também mostrados.

2 - CARACTERÍSTICAS DAS MÁQUINAS DE PLASMA QUIESCENTE

As máquinas PQUI-I e PQUI-II (4) instaladas no LAP-INPE, vistas na fig.1 possuem as seguintes características:

PQUI-I

- Recipiente de vácuo feito de aço inox não magnetizável 3041 com diâmetro = 0,3m e comprimento = 0,75m.
- Totalmente desenvolvida e construída nas oficinas do INPE.
- Sistema de vácuo marca EDWARDS com bomba difusora de 280l/s e bomba mecânica de 6 m³/h. e armadilha criogênica(feita no INPE).

PQUI-II

- Recipiente de vácuo feito de aço inox não magnetizável 3041 com diâmetro = 0,6m e comprimento = 1,2m.

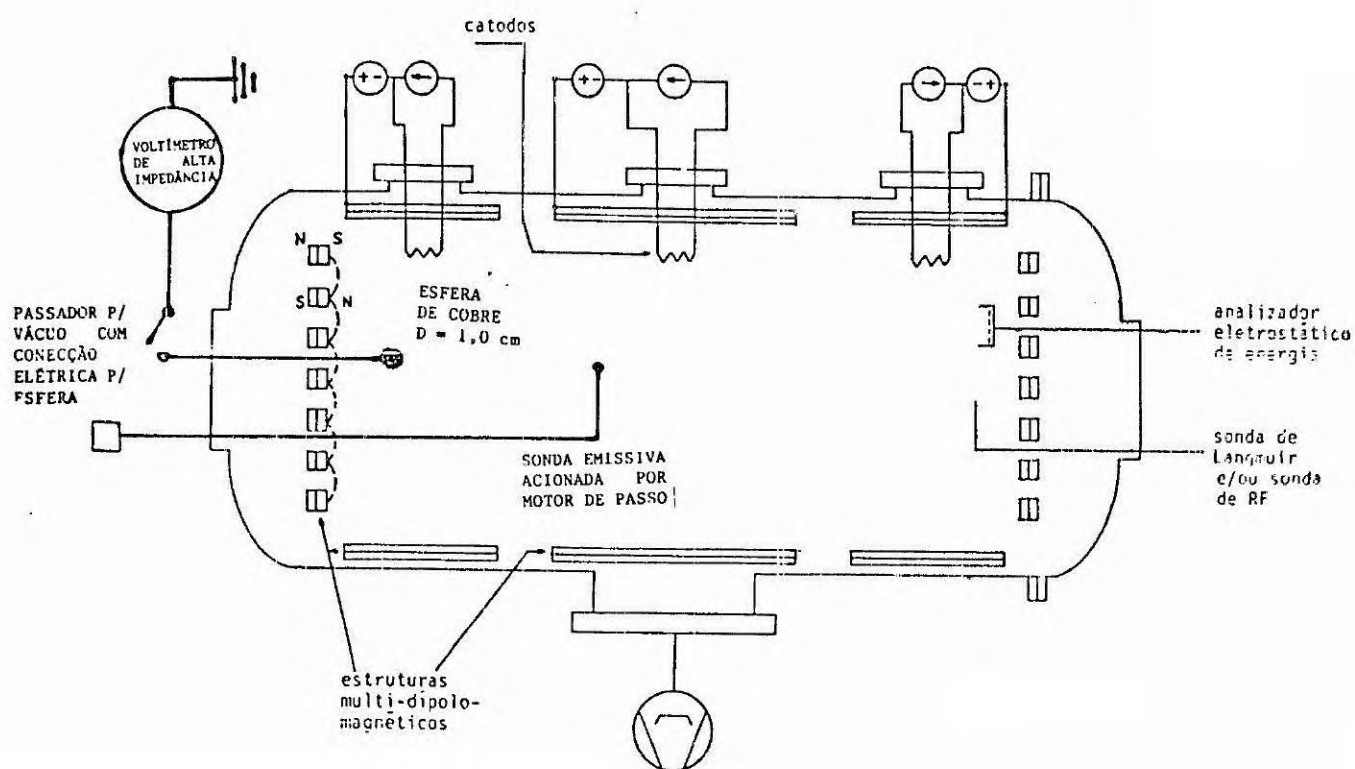
- Projetada no INPE e construída pela indústria Cryometal.
- Sistema de vácuo marca EDWARDS com bomba difusora de 2000l/s com armadilha criogênica e bomba mecânica de 40m³/h.

O método de produção de plasma quiescente é o mesmo para as duas máquinas. O plasma é produzido a partir de uma descarga termo-iônica contínua com gases do tipo H, He, N, Ar ou Xe, que são introduzidos nas câmaras de vácuo até uma pressão máxima de $5,0 \times 10^{-4}$ mbar. Descargas mais eficientes poderão ser produzidas por catodos de chapa de níquel cobertos por uma camada de óxido de bário (BaO). O níquel é indiretamente aquecido por filamentos de tungstênio, isolados eletricamente do níquel por um tubo de alumina, até uma temperatura de 900 °C. Alternativamente poderá ser utilizado um sistema mais simples, que consiste de um conjunto de catodos de tungstênio cobertos por óxido de bário, ligados em paralelo e diretamente aquecidos por correntes de até 2,0 A por filamento. Esta corrente os aquece por efeito Joule e um número significativo de elétrons da camada de BaO poderá ter energia superior à da função trabalho da camada. O efeito final é o da emissão de uma grande quantidade de elétrons, que é favorecida pelo vácuo existente na câmara, isto é pelo grande livre caminho médio existente para as partículas. A este processo dá-se o nome de emissão termo-iônica.

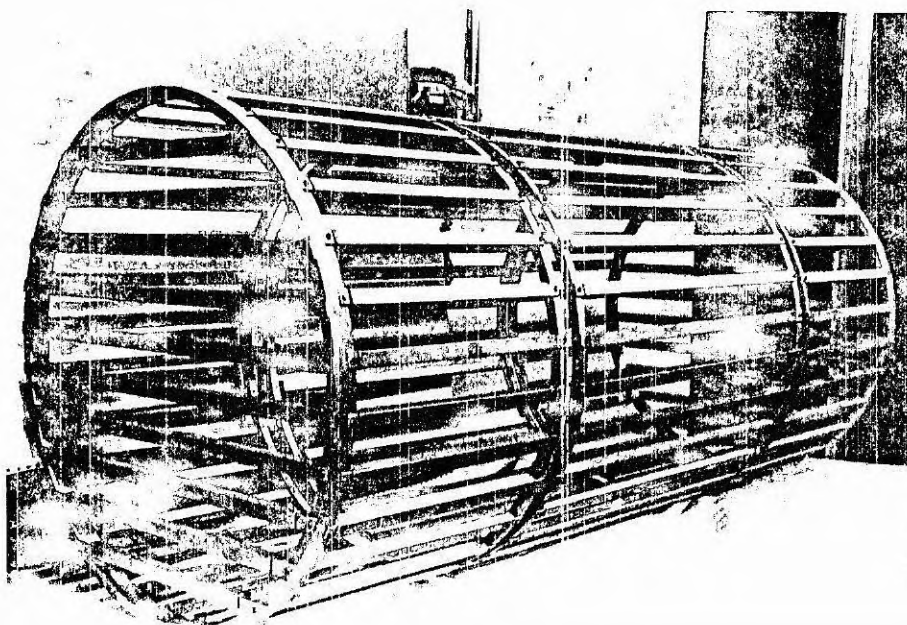
Para aumentar a eficiência de ionização e produzir plasmas com maior densidade foram introduzidas nas câmaras sistemas de confinamento magnético superficial. Eles são formados por estruturas de campos multidipolo magnéticos, isoladas eletricamente uma da outra e da câmara de vácuo, para formar plasmas independentes (fig.2a). Com este arranjo é possível controlar o potencial espacial de cada um dos plasmas e gerar feixes de partículas de baixa energia. As estruturas multidipolo magnéticas da PQUI-I são formadas por 24 barras de ímãs permanentes de ferrita uniformemente dispostas ao longo da superfície interna da câmara de vácuo. As laterais são acrescidas de 6 barras de ímãs dispostas transversalmente e paralelas entre si. A estrutura multidipolo magnética da PQUI-2, vista na fig.2b, está dividida em três partes, possui 32 barras de ímãs longitudinais e as laterais possuem 10 barras de ímãs cada. Na PQUI-II os ímãs permanentes de ferrita são encapsulados em tubos retangulares de alumínio, com vedação para alto vácuo. O campo magnético superficial médio tanto na PQUI-I como na PQUI-II é da ordem de 200 Gauss.

Os diagnósticos utilizados nas máquinas PQUI-I e PQUI-II para caracterizar os plasmas e a sua interação com a matéria sólida são os seguintes:

- Voltímetro de alta impedância (1 M Ω) para medida direta do potencial flutuante de esferas metálicas e sondas no interior do plasma.



(a)



(b)

Fig. 2 - Esquema da estrutura interna da máquina PQUI-II (a) e vista geral das estruturas multidipolo-magnéticas com ímãs permanentes encapsulados em canaletas de alumínio (b).

- A sonda de Langmuir consiste em um eletrodo imerso no plasma que possui uma curva característica de corrente x voltagem aplicada de onde se extraem vários parâmetros do plasma, tais como correntes de saturação de elétrons e íons, potencial flutuante, potencial de plasma, densidade e temperatura de elétrons (fig.3).
- O analisador eletrostático de energia (fig.4) serve para medir a temperatura de íons e elétrons e a energia de feixes de partículas no interior do plasma. Ele é formado por duas grades e um coletor. A primeira grade em contato com o plasma impede a entrada de íons ou de elétrons dependendo da sua polarização, e a segunda seleciona as partículas pela energia com que chegam ao coletor.
- A sonda emissiva (fig.5) mede com precisão de 0.1 volts o potencial de plasma. Ela consiste de um eletrodo aquecido que emite elétrons na mesma proporção em que são coletados pelo eletrodo. O potencial da curva característica da sonda emissiva em que há balanceamento entre corrente emitida e coletada é dito potencial de plasma.

3 - MEDIDA DE POTENCIAL DE PLASMA NAS VIZINHANÇAS DE UMA ESFERA METÁLICA

O potencial de um corpo metálico isolado imerso em um plasma é dado por (2):

$$V_f = - \frac{k_B T_e}{e} \ln \left(\frac{m_e}{m_i} \right)$$

o potencial V_f é também conhecido como potencial flutuante, k_B é a constante de Boltzmann, T_e a temperatura de elétrons e m_e e m_i as massas de elétrons e íons respectivamente. O valor de V_f depende não só do fluxo de elétrons e íons que se dirigem para o corpo, mas também da presença de feixes de partículas energéticas e da radiação eletromagnética que incide sobre ele.

No caso da descarga termoiônica nas máquinas de plasma quiescente pode-se notar a presença constante de um feixe de elétrons proveniente dos catodos cuja energia é determinada pelo potencial de descarga. Estes elétrons são também conhecidos como elétrons primários pois são eles que ionizam os átomos neutros do gás introduzido na câmara, e formam assim o plasma.

A figura 6 mostra as características básicas da descarga termoiônica da PQUI-II com uma esfera de cobre de 10mm de diâmetro em seu interior. A figura 6a mostra a variação da densidade e da temperatura eletrônica com a pressão do gás (argônio), medida com uma sonda de Langmuir. Vê-se que a temperatura eletrônica aumenta e a densidade diminui com o decrescimento da pressão. A temperatura aumenta porque o número de

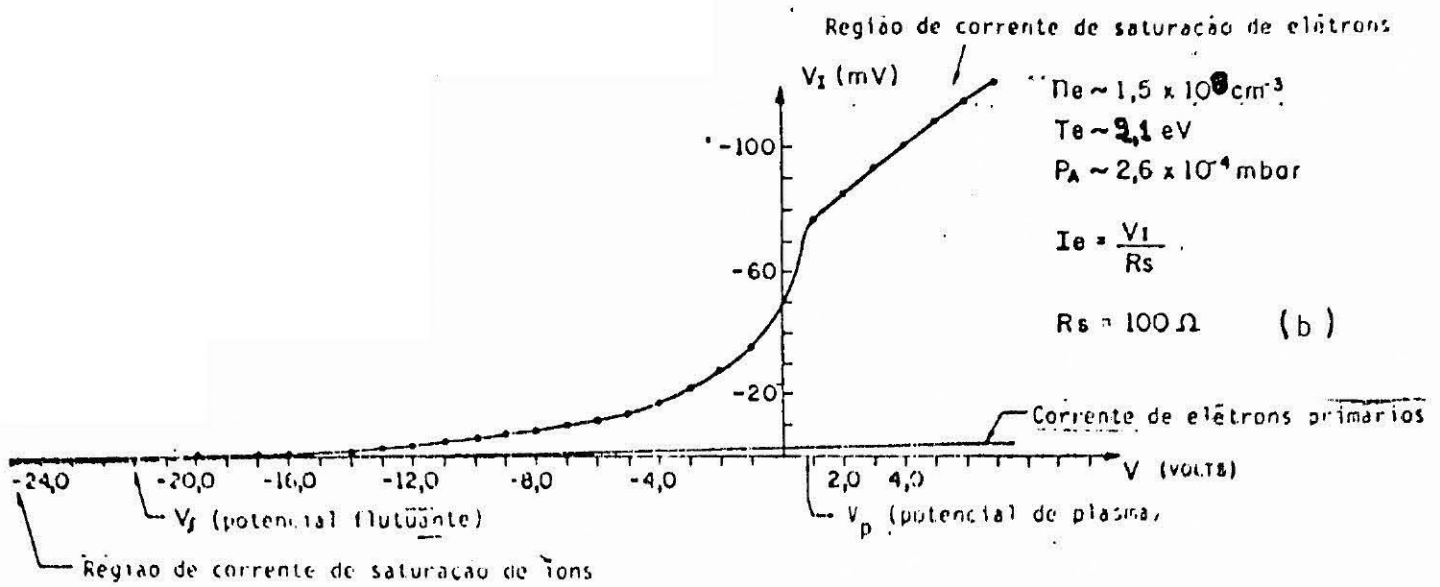
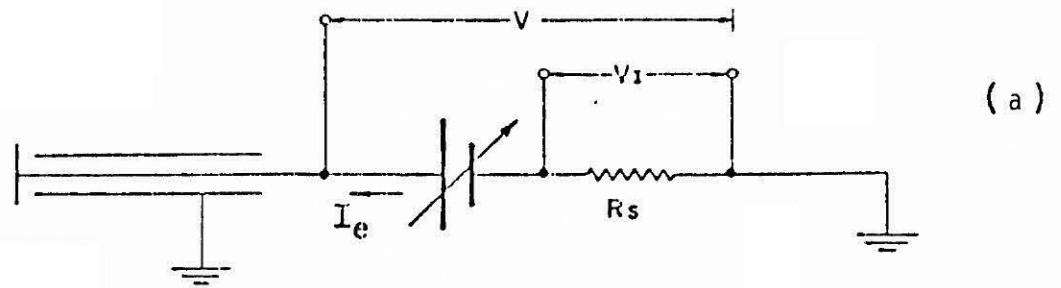


Fig. 3 - Esquema elétrico da sonda de Langmuir (a) e curva característica $I_e \times V$ da sonda (b)

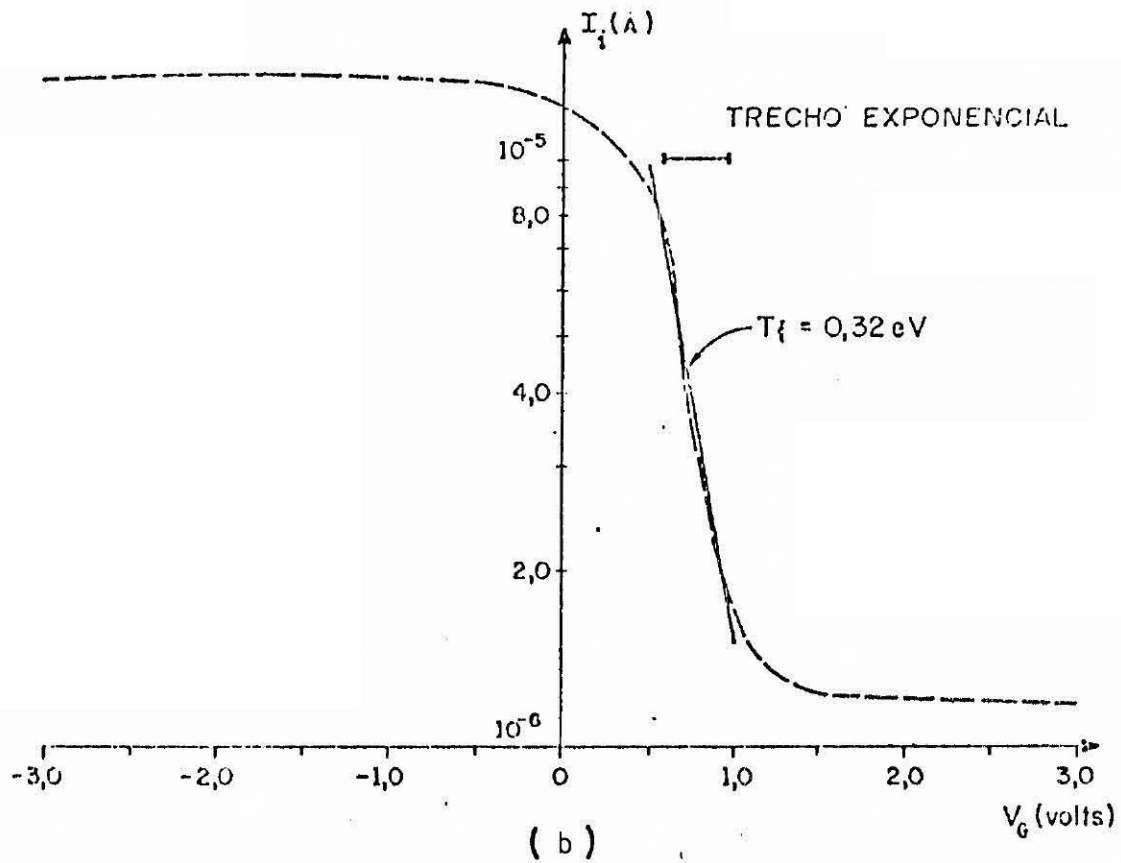
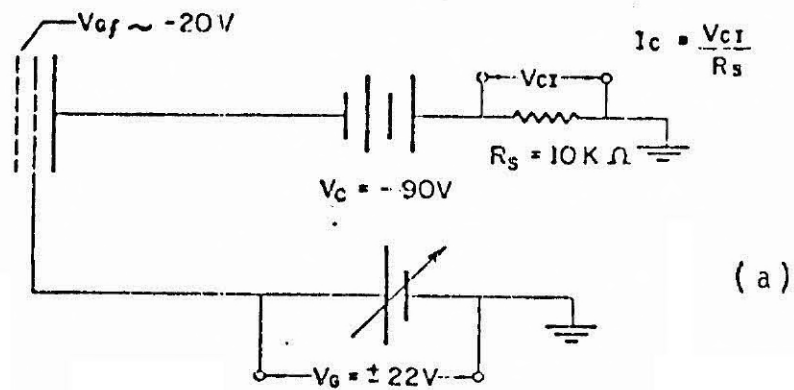


Fig. 4 - Esquema elétrico do analisador eletrostático de energia de íons (a) e curva característica $I_C \times V_G$ do analisador (b).

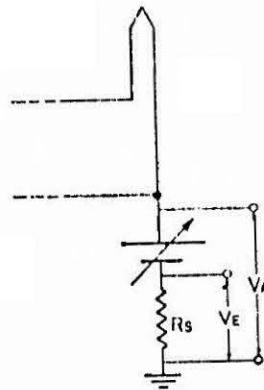
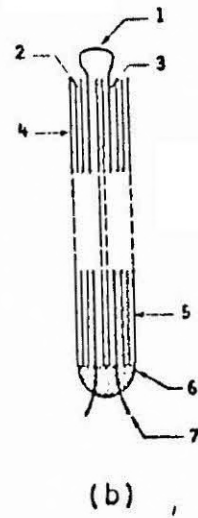
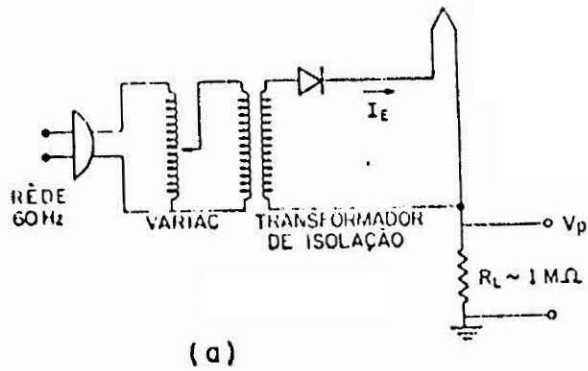
colisões com troca de energia entre elétrons e átomos neutros diminui, preservando assim a energia inicial dos elétrons. A densidade diminui porque o número de átomos neutros disponíveis para ionização diminui com o decréscimo da pressão. A figura 6b mostra a variação do potencial flutuante da esfera medido com um voltímetro com 10 M Ω de entrada. Vê-se que o potencial flutuante é sempre negativo e aumenta em valor absoluto a medida que a pressão diminui. Este comportamento também está ligado com o decréscimo da frequência de colisões entre elétrons e átomos neutros. Este decréscimo permite que a carga espacial associada ao feixe de elétrons primários tenha um efeito maior sobre a esfera.

O potencial de plasma nas vizinhanças da esfera foi medido com uma sonda emissiva móvel ao longo do eixo principal z da máquina. A figura 7 mostra os dois perfis espaciais de potencial para alta e baixa pressão. Os resultados obtidos mostram novamente que a influência da carga espacial associada ao feixe de elétrons primários é maior em baixas pressões, como está mostrado na fig. 6b. Estes resultados, no entanto servem apenas para mostrar de forma qualitativa a influência das características do plasma sobre um corpo metálico, em particular para o caso específico de uma esfera de cobre com 5mm de diâmetro. O potencial flutuante, bem como os perfis espaciais de potencial de plasma poderão assumir outros valores para esferas com outros diâmetros, para aquelas feitas de outros materiais, e até mesmo para corpos metálicos com outras geometrias. Uma avaliação mais rigorosa do potencial de plasma nas vizinhanças de corpos metálicos imersos no plasma, deverá ser efetuada com medidas nos três eixos e assim obter um mapeamento tridimensional dos campos elétricos envolvidos.

4 - CONCLUSÃO

As máquinas de plasma quiescente do INPE podem produzir plasma com características semelhantes às encontradas na ionosfera. Medidas do potencial flutuante de esferas metálicas, bem como de potencial de plasma em suas vizinhanças são fundamentais para o estudo da interação de satélites com o seu meio ambiente, formado por plasmas sempre atravessados por feixes de partículas carregadas.

Com a recente instalação no LAP-INPE de uma câmara de vácuo de 2,0m de diâmetro e 3,0 de comprimento será possível em futuro próximo realizar estudos mais detalhados da interação de plasmas com metais. Está também prevista a instalação de fontes de íons e elétrons mais energéticas que permitirão uma maior aproximação das condições reais de interação do satélite com o plasma ionosférico.



- 1 - Fio de tungstênio $D = 0,1\text{mm}$
 - 2 - Tubo cerâmico com furo duplo $D = 0,3\text{mm}$
 - 3 - Folha de alumínio
 - 4 - Tubo cerâmico simples $D = 6,0\text{mm}$
 - 5 - Tubo de aço inox $D = 6,0\text{mm}$
 - 6 - Selagem com Ion Seal
 - 7 - Fio de alimentação da sonda de Molibdênio $D = 0,5\text{mm}$
- ($D = \text{Diâmetro}$)

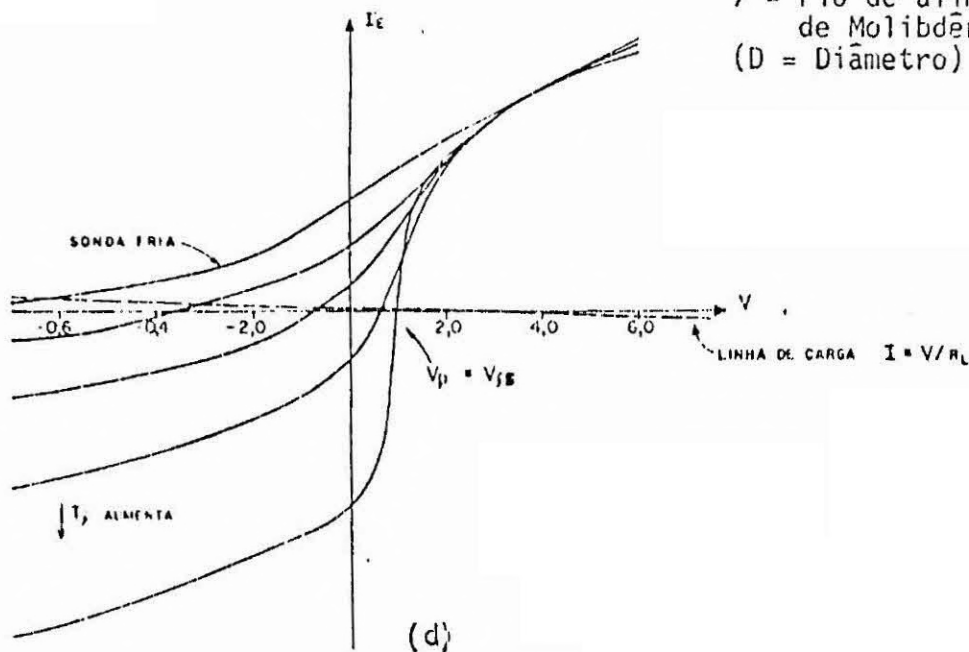
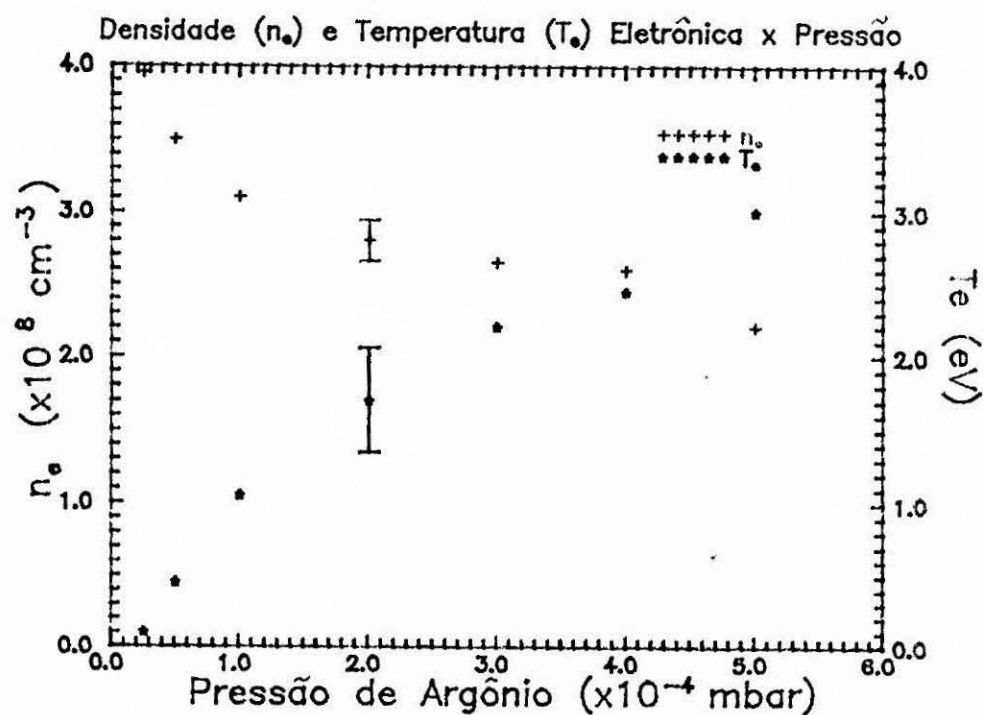
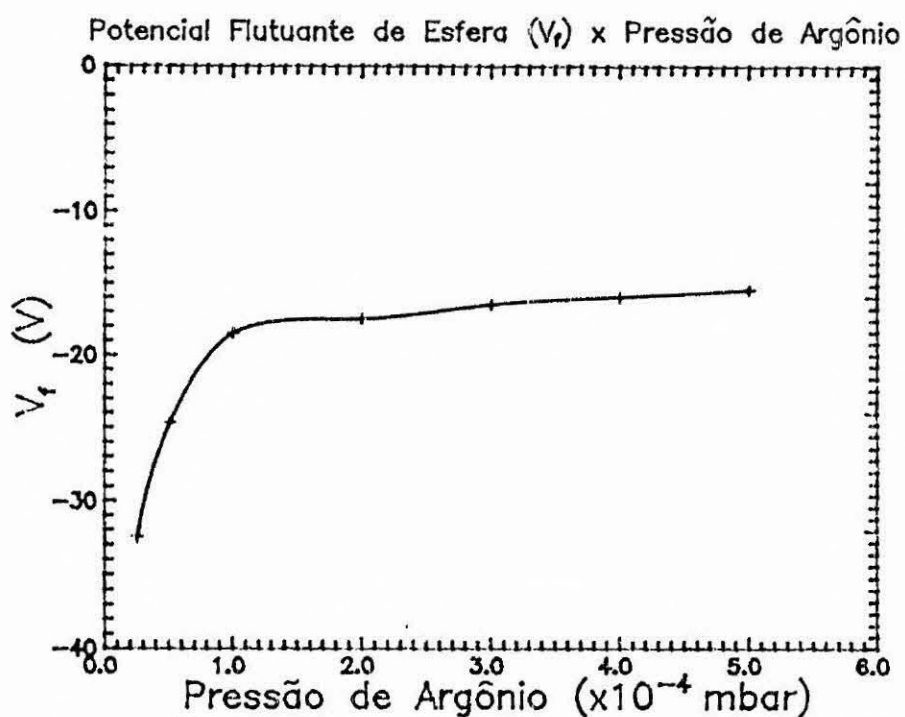


Fig. 5 - Diagrama elétrico de alimentação da sonda emissiva (a), esquema do sensor da sonda emissiva (b), circuito de varredura da sonda (c) e curvas características da sonda emissiva (d).



(a)



(b)

Fig. 6 - Variação da densidade e da temperatura eletrônica na PQUI-II em função da pressão de gás neutro (a). Potencial flutuante da esfera de cobre em função da pressão de gás neutro (b).

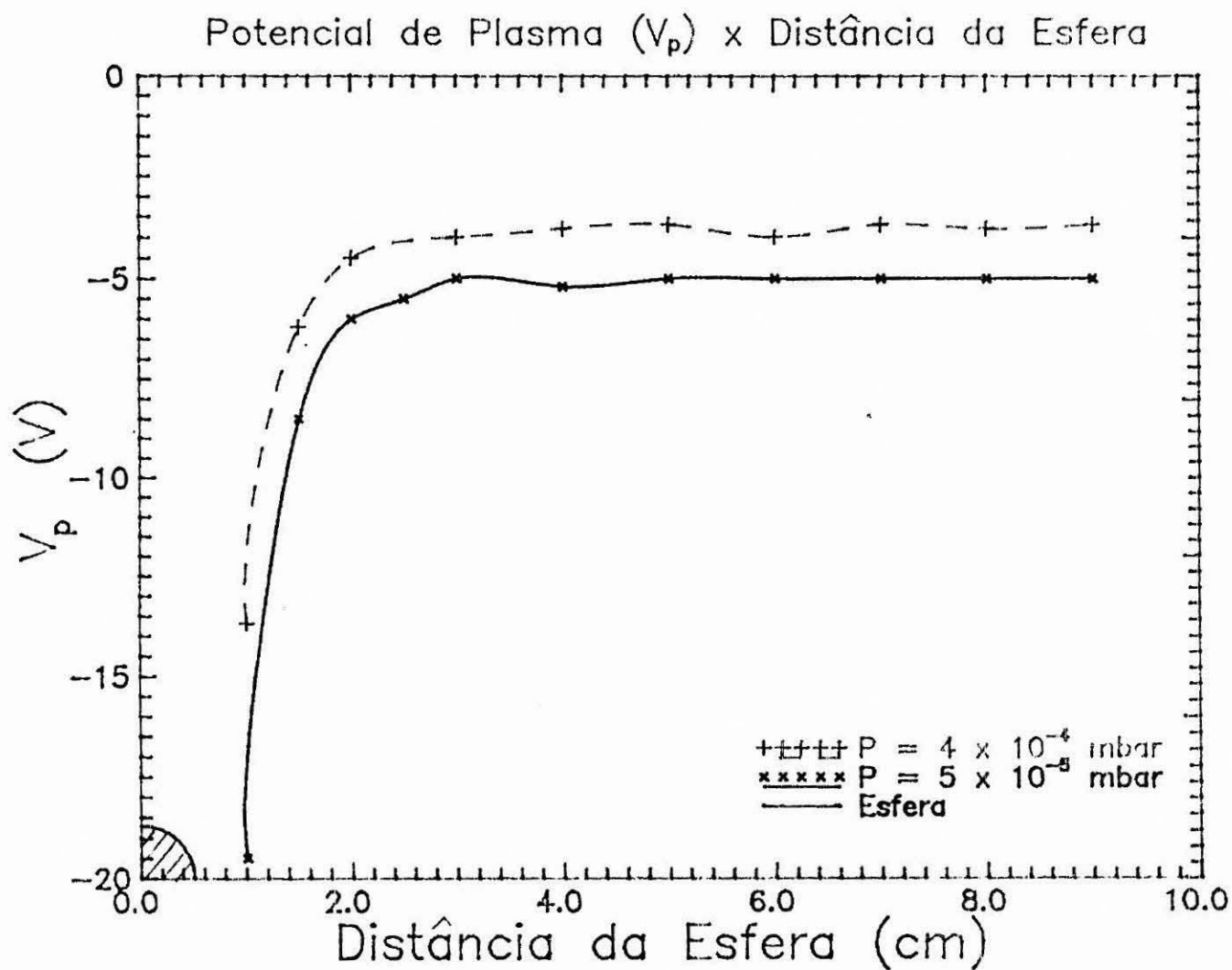


Fig. 7 - Perfil espacial de potencial de plasma nas vizinhanças da esfera de cobre, ao longo do eixo da máquina PQUI-II.

5 - REFERÊNCIAS

- (1) MC COY, J.E. et al "Current Leakage For Low Altitude Satellites". Progress in Astronautics and Aeronautics vol, 71. (Space Systems and Their Interactions with Earth's Space Environment) Martin Summerfield Series, New York, chap. IV, p. 523, 1980.
- (2) AFONSO G. et al "Reassessment of the Charge and Neutral Drag of Lageos and Its Geophysical Implications. Journal of Geophysical Research, vol. 90, no. B11, p. 9381-9398, sept. 1985.
- (3) RUBIN, A.G. "A Three - Dimensional Spacecraft - charging Computer Code." Progress in Astron. and Aeron., vol. 71 (Space Syst. and Their Inter with Earth's Space Environment) Martin Summerfield Series, New York, chap. II, p. 318, 1980.
- (4) FERREIRA, J.L. "Fenômenos Acústicos - Iônicos Lineares e Não-Lineares em Descargas Multi-Dipolo Magnéticas". Tese de doutorado INPE - 4100 - TDL/257, dez. 1986.