

1. Publicação nº <i>INPE-4380-PRE/1200</i>	2. Versão	3. Data <i>Set. 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>LAP</i>	Programa <i>PTOR</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CANHÃO DE ELÉTRONS FUSÃO DE METAIS</i>			
7. C.D.U.: <i>681.586.73</i>			
8. Título <i>ANÁLISE DE UM CANHÃO DE ELÉTRONS PARA FUSÃO DE METAIS</i>		10. Páginas: <i>27</i>	
		11. Última página: <i>21</i>	
		12. Revisada por <i>Ludwig</i> Gerson Otto Ludwig	
9. Autoria <i>A.C. Jesus Paes R.M.O. Galvão P. Boscolo A. Passaro</i>		13. Autorizada por <i>[Signature]</i> Marco Antonio Raupp Director General	
Assinatura responsável <i>[Signature]</i>			
14. Resumo/Notas <i>É feita uma análise das características do feixe de elétrons do canhão HK-011600Δ da Divisão de Materiais do Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento do CTA (PMR/IPD/CTA), utilizado para fusão de metais. Nesta análise são utilizados o modelo de Pierce, para canhões de elétrons, e o programa computacional SLAC para a óptica eletrônica. São obtidos perfis na direção-z e na direção radial, quer na região do canhão eletrostático, quer na região das lentes magnéticas. Discute-se, também, com um modelo simples, o comportamento do feixe ao passar pelo prisma magnético.</i>			
15. Observações <i>Submetido para publicação interna, como Nota Técnica, no IEAv, Maio de 1987.</i>			

ANÁLISE DE UM CANHÃO DE ELÉTRONS PARA
FUSÃO DE METAIS

A.C. Jesus Paes, R.M.O. Galvão
P. Boscolo, A. Passaro

NOTA TÉCNICA IEAv - 09/87 (Maio/87)

ANÁLISE DE UM CANHÃO DE ELÉTRONS PARA
FUSÃO DE METAIS

A.C. Jesus Paes +

R.M.O. Galvão *

P. Boscolo e ' .

A. Passaro ' .

+ Instituto de Estudos Avançados - Divisão de Física Teórica

* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

' Instituto de Estudos Avançados - Divisão de Física Experimental

RESUMO

É feita uma análise das características do feixe de elétrons do canhão HK-011600 Δ da Divisão de Materiais do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento do CTA (PMR/IPD/CTA), utilizado para fusão de metais. Nesta análise são utilizados o modelo de Pierce, para canhões de elétrons, e o programa computacional SLAC para a óptica eletrônica. São obtidos perfis na direção-z e na direção radial, quer na região do canhão eletrostático, quer na região das lentes magnéticas. Discute-se, também, com um modelo simples, o comportamento do feixe ao passar pelo prisma magnético.

ABSTRACT

The characteristics of the electron beam of the HK-011600 Δ , electron gun for metal fusion at the "Divisão de Materiais do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento do CTA (PMR/IPD/CTA)", is analyzed. In this analysis, the Pierce gun model and the SLAC computational code for electron optics are used. The electron beam R and Z profiles are obtained in the gun region and in the magnetic lenses region. The behaviour of the electron beam in the prism region is also discussed using a simple model.

ÍNDICE

	Pag
1 . Introdução	1
2 . Análise Teórica Baseada no Modelo de Pierce	2
2.1 . Feixe Intenso	2
2.2 . Resultados da Análise Simplificada Baseada no Modelo de Pierce	3
3 . Resultados da Simulação Numérica e da Análise do Prisma Magnético	4
3.1 . Simulação Numérica do Canhão Eletrostático	4
3.2 . Simulação Numérica das Lentes Magnéticas	6
3.3 . Análise do Prisma Magnético	8
4 . Conclusão	9
Referências	21

LISTA DE FIGURAS

	Pag
1 . FIGURA 1 - Perfis do catodo, do eletrodo de focalização, do e das superfícies equipotenciais.	11
2 . FIGURA 2 - Feixe de elétrons (50 raios) para uma tensão de 30kV e corrente de 1A.	12
3 . FIGURA 3 - Perfil radial da densidade de corrente elétrica do feixe.	13
4 . FIGURA 4 - Ângulo de inclinação das trajetórias como função de distância radial.	14
5 . FIGURA 5 - Focalização do feixe, por meio de lente magnética.	15
6 . FIGURA 6 - Perfil radial do feixe ao sair da lente magnética.	16
7 . FIGURA 7 - Focalização do feixe, por meio de uma lente magnética, caso 196 G.	17
8 . FIGURA 8 - Perfil radial do feixe ao sair da lente magnética, caso 196 G.	18
9 . FIGURA 9 - Focalização do feixe, por meio de uma magnética, caso 193 G.	19
10. FIGURA 10 - Perfil radial do feixe ao sair da lente magnética, caso 193 G.	20

1. INTRODUÇÃO

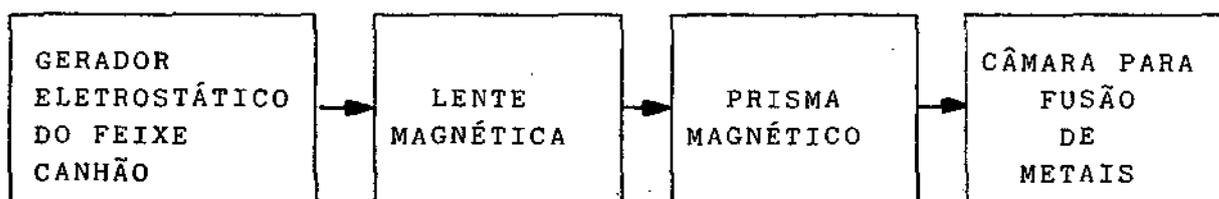
Os processos utilizados na obtenção, refino e purificação dos metais ocorrem a altas temperaturas. Dentre todos os processos desenvolvidos com tal finalidade (fornos de resistência, fornos de arco, fornos de alta frequência etc (1)) convém destacar o que se utiliza de um feixe de elétrons.

A fusão de metais utilizando um feixe de elétrons oferece certas vantagens. Primeiramente, pode ser aplicada a qualquer tipo de metal. Além disso, neste processo consegue-se, juntamente com as altas temperaturas, manter o metal por longo tempo à baixa pressão, o que corresponde às melhores condições para o refino e purificação de metais.

O aquecimento por feixe de elétrons é baseado na emissão termoiônica, isto é, a superfície de um catodo emite elétrons que se movem para o anodo. O anodo está a um potencial positivo em relação ao catodo; no caso deste trabalho o potencial é da ordem de 30 kV. Ao redor do catodo há um eletrodo de focalização, de formato apropriado, com o mesmo potencial que o catodo. O feixe assim gerado bombardeia a superfície do metal que se aquece devido à transformação da energia cinética dos elétrons em calor.

Ao projetar um sistema de geração do feixe de elétrons é necessário evitar que a proximidade entre o catodo e o material a ser fundido traga problemas para o catodo (1). O catodo pode ser estragado pelo vapor e por gotículas de metal que eventualmente venham a cair sobre ele. Além disso, pode ocorrer uma descarga elétrica entre o catodo e o anodo devido à ionização do vapor metálico que existe na região entre ambos.

A fim de evitar tais transtornos, é usual que a geração do feixe e a fusão do metal ocorram em compartimentos diferentes. Tem-se, portanto, o seguinte esquema para o sistema de fusão de metais



O feixe é gerado por aceleração eletrostática entre o catodo e o anodo; em seguida, é transportado para a câmara de fusão de metais mediante lentes magnéticas (para não perder a focalização) e um prisma magnético (para incidir sobre a amostra com inclinação conveniente).

Neste trabalho são analisados com mais detalhes as partes referentes à geração e transporte do feixe, baseado no canhão HK-011600 Å da Divisão de Materiais do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento do CTA (PMR/IPD/CTA) desenvolvido em TÓQUIO (2). Tais estudos visam auxiliar o desenvolvimento de um protótipo de canhão, deste tipo, na SUTEC. Na seção 2 é apresentado um estudo teórico da parte eletrostática do canhão baseado no modelo de Pierce. Na seção 3 são apresentados resultados quer da parte eletrostática quer da magnetostática (lentes magnéticas), baseados no programa SLAC, além de uma ligeira discussão sobre os prismas magnéticos. Finalmente na seção 4 são apresentadas algumas conclusões.

2. ANÁLISE TEÓRICA BASEADA NO MODELO DE PIERCE

2.1. Feixe Intenso

O feixe é gerado por emissão termoiônica do catodo, acelerado pelo anodo, que tem uma abertura e permite que os elétrons passem por ele e se dirijam à saída do canhão. Dependendo da intensidade de corrente do feixe em relação à diferença de potencial entre o anodo e o catodo, os efeitos das cargas espaciais devem ou não ser levados em conta ao estudar o feixe.

A grandeza que mede este efeito é a microperveância, dada por

$$P = \frac{I}{U^{3/2}} \quad (2.1)$$

onde:

I é a corrente em μA ; e

U é a voltagem aceleradora do feixe, em volts.

Para valores de p maiores do que $10^{-2} \frac{\mu A}{V^{3/2}}$ tem-se um feixe de alta

microperveância e os efeitos da carga espacial devem ser considerados. Esta é a situação deste projeto em que P vale

$$0,19 \frac{\mu A}{V^{3/2}} .$$

A presença das cargas espaciais ocasiona três efeitos: a expansão do feixe (no sentido transversal) num espaço sem campos, em virtude da força de repulsão entre as cargas espaciais; uma queda no potencial do feixe, devida à presença de cargas na região anodo-catodo (efeito de blindagem); e uma limitação da corrente do feixe, em consequência do efeito anterior.

No desenvolvimento de canhões com feixes de alta microperveância são utilizados eletrodos com configurações geométricas convenientes, a fim de que os efeitos das cargas espaciais possam ser compensados no canhão. Atualmente, os canhões para colimar feixes intensos são sistemas com um único potencial não nulo, isto é, não têm eletrodos com outro potencial que não seja zero (potencial do catodo) ou o potencial do anodo. Tais sistemas são denominados canhões de Pierce, pois baseiam-se no modelo de Pierce, e se propõem a formar feixes de elétrons usando parte do fluxo de elétrons no espaço entre o anodo e o catodo em diodos de forma geométrica simples.

2.2. Resultados da Análise Simplificada Baseada no Modelo de Pierce

Foi utilizado o modelo de Pierce de um feixe cônico esférico, que se baseia num fluxo limitado de elétrons entre os eletrodos de um diodo esférico, sendo o catodo o eletrodo esférico mais externo. Este modelo leva em conta efeitos da carga espacial e da abertura do anodo (apenas em parte) e permite uma compreensão teórica do processo, que serve de base para uma análise simplificada do sistema físico, mas não fornece bons resultados numéricos, como será discutido adiante.

Segundo este modelo, devido às cargas espaciais que limitam a corrente do feixe, há uma microperveância máxima em função do semi-ângulo de abertura do feixe θ . Tomando esta microperveância máxima igual a $0,19 \frac{\mu A}{v^{3/2}}$ foi possível determinar o raio do catodo e o raio do anodo, para um semi-ângulo de abertura da ordem de 10° e supondo uma distância anodo-catodo da ordem de 15mm, a fim de evitar problemas de ruptura a 30kV (3). Os valores obtidos para os raios do catodo e do anodo foram da ordem de 27,5mm e 12,5mm, respectivamente.

Como o anodo tem uma abertura para passagem do feixe, há uma distorção no campo na região próxima do anodo, que age como uma lente divergente sobre o feixe. Levando-se em conta este efeito pode-se determinar (3), em função de θ , o ângulo com que o feixe entra na região posterior ao anodo (que vale $-4,6^\circ$, onde o sinal menos indica feixe convergente), que é uma região de potencial constante onde o feixe inicialmente se contrai, devido ao sinal negativo do ângulo de entrada, e depois se expande.

Considerando-se os raios do anodo e do catodo, o ângulo θ (o ângulo de $-4,6^\circ$ determinado acima) e o comprimento da região posterior ao anodo, que segundo o projeto é de 49mm (2), pode-se determinar o diâmetro do feixe na boca (saída) do canhão (4) que é de 2,5mm, um valor subestimado.

Porém, há um problema com este tipo de análise, como foi mencionado acima, devido justamente à abertura finita do anodo que causa outros problemas ao feixe, que não podem ser considerados no modelo de Pierce. Devido à abertura finita do anodo, o campo elétrico na região do catodo não é uniforme sendo maior nas bordas do catodo do que no centro. Além disso, os elétrons que passam próximos à borda do anodo terão suas trajetórias mais curvas do que outros elétrons mais centrais. Tais efeitos não podem ser levados em conta com este modelo de Pierce e torna-se necessário resolver numericamente o problema para obter um perfil mais exato do feixe a ser obtido.

3. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA E DA ANÁLISE DO PRISMA MAGNÉTICO

3.1. Simulação Numérica do Canhão Eletrostático

Na simulação numérica do comportamento do feixe foi utilizado o programa SLAC para óptica eletrônica (5). Este é um programa escrito para calcular a trajetória de elétrons em campos elétricos e magnéticos estáticos. A equação de Poisson é resolvida por diferença finita usando condições de contorno definidas especificando-se a forma e posição dos eletrodos para o problema específico. Os campos elétricos são calculados diferenciando o potencial elétrico. As equações da trajetória dos elétrons são relativísticas e levam em conta os campos elétricos e magnéticos existentes. As forças de cargas espaciais são consideradas através da deposição apropriada de carga, em um ciclo, seguida de uma nova solução da equação de

Poisson, vindo a seguir novo ciclo de cálculo das trajetórias dos elétrons e assim por diante até que as iterações convirjam para uma solução do problema em que as trajetórias e as cargas espaciais estejam suficientemente consistentes. Na simulação do feixe supõe-se que os elétrons sejam emitidos do catodo segundo a lei de Child (4) para geometria esférica baseada na geometria de Pierce.

Os parâmetros utilizados na simulação numérica do feixe foram os seguintes (6):

- Catodo - foi utilizado um disco circular de diâmetro 8,5mm (de área próxima a do catodo com $\theta = 10^0$ considerado na análise anterior) a um potencial de 0 volts, que simula razoavelmente bem o catodo espiralado do projeto (2).
- Eletrodo de focalização a 0 volts, com forma semelhante a do projeto (2) e apresentado na Figura 1.
- Anodo a 30kV com uma forma apresentada na Figura 1.

Como resultados da simulação foram obtidas as Figuras 1,2,3 e 4, que mostram o formato dos eletrodos, algumas equipotenciais, a trajetória do feixe, o perfil radial da densidade de corrente no feixe (normalizado em relação ao valor máximo) e efeitos de borda junto ao anodo. Obteve-se uma corrente de 1,02 A e uma microperveância de 0,197, resultados próximos ao desejado.

Na Figura 1 tem-se o formato e a disposição do catodo, anodo e eletrodo de focalização que foram utilizados para realizar a simulação numérica com o programa SLAC, bem como as superfícies equipotenciais correspondentes (da esquerda para a direita) aos seguintes valores do potencial em volts: 1500, 4500, 7500, 10500, 13500, 16500, 19500, 22500, 25500 e 28500. Observe-se o efeito desfocalizador dos campos elétricos correspondentes às linhas equipotenciais próximas à abertura do anodo.

Na Figura 2 encontra-se o feixe de elétrons (na simulação foram utilizados 50 raios) que vai do catodo ao anodo e é impedido de expandir-se radialmente devido aos eletrodos do canhão. Note-se que o diâmetro do feixe é razoavelmente constante ao longo do eixo-z, notando-se uma pequena compressão radial nas proximidades do catodo e uma, também pequena, expansão do feixe após passar pela abertura do anodo. Sendo assim, é razoável supor que o menor diâmetro do feixe, que é um parâmetro característico do feixe de elétrons, seja por exemplo o diâmetro do feixe na boca do canhão.

Da Figura 3 observa-se que o feixe sai com um diâmetro entre 9 e 10mm na boca do canhão, valor bem maior do que o obtido na análise simplificada da seção anterior.

Na Figura 4 nota-se que, na região de R maior do que 4mm, o feixe torna-se translaminar devido à maior interação dos feixes mais externos com as bordas do anodo.

3.2. Simulação Numérica das Lentes Magnéticas

As lentes magnéticas são utilizadas para transportar e focalizar o feixe da saída do canhão eletrostático até a região onde o feixe será curvado para incidir sobre o metal obliquamente.

A lente magnética utilizada neste projeto (2) é constituída duma bobina cercada de material ferromagnético com uma abertura neste material, a fim de que possa haver compressão do campo de indução magnética na região do eixo da bobina por onde passa o feixe eletrônico. A indução magnética é proporcional à excitação NI_L onde N é o número de espiras e I_L é a corrente na bobina.

A fim de determinar o comportamento do feixe ao passar pela lente magnética, foi utilizado o mesmo programa computacional SLAC (5) descrito anteriormente. Para utilizá-lo na simulação do feixe, nesta situação, é necessário fornecer (6) a posição do centro da lente, seu diâmetro, o valor máximo do componente z do vetor indução magnética no eixo, a meia largura da gaussiana (perfil do campo) e o comprimento da região em que o feixe entra e depois sai. O programa supõe uma distribuição gaussiana para o componente z do vetor indução magnética, no eixo, que corresponde à aproximação duma lente magnética com material ferromagnético não saturado (3). O material ferromagnético neste projeto está numa situação não saturada e, portanto, tal aproximação é razoável.

Os parâmetros utilizados nesta nova simulação foram os seguintes:

- A Posição do centro da lente, em relação à boca do canhão eletrostático, tomada como origem, é 161,1mm (2)
- O valor do componente z do vetor indução magnética foi da ordem de 200 G, valor obtido em função do diâmetro da bobina, do comprimento da região de abertura no material ferromagnético e da distância focal suposta igual a 160mm

- A meia largura da gaussiana é da ordem de 32,95mm e foi, também, determinada em função dos mesmos parâmetros do item anterior (7).
- A distância entre o ponto em que o feixe entra, ao sair do canhão, e o ponto onde o feixe sai, focalizado, da lente magnética é de 323,1mm (2).

Nas Figuras 5,6,7,8,9 e 10 estão apresentados os resultados correspondentes a três valores do campo de indução magnética máximo (193, 196 e 199 G, respectivamente) pois a fórmula para determiná-lo (7) apresenta uma incerteza da ordem de 10%.

Na Figura 5 observa-se o perfil do feixe para o caso em que o campo de indução máximo é de 199 G. Observa-se que o feixe de elétrons, ao sair do canhão eletrostático, começa a expandir-se radialmente, passando a ser focalizado ao passar pela região central da lente magnética, representada, aqui, pela gaussiana que fornece o perfil do campo de indução magnética. Nota-se, neste caso, que mesmo antes de sair da região retangular, que corresponde aproximadamente às dimensões físicas da bobina geradora do campo magnético, o feixe já passa novamente a expandir-se. Isto indica que este valor, para o máximo de 199 G, é grande e focaliza demais, pois o ideal é que esta expansão ocorra somente ao sair da bobina.

Na Figura 6, correspondente ao perfil radial (normalizado em relação ao máximo) de densidade de corrente do feixe, também para 199 G, observa-se que, devido à ação da lente magnética, o máximo de densidade de corrente desloca-se da borda para as proximidades do centro.

Na Figura 7 tem-se novamente um perfil do feixe. Neste caso, para um campo de indução magnética máximo de 196 G, observam-se as mesmas características da Figura 5, porém com a diferença de que a expansão do feixe, próximo à saída da região das bobinas, é menor do que no caso anterior. Na Figura 8, correspondente a este mesmo caso de 196 G, observa-se, novamente, um deslocamento do máximo da densidade de corrente para o centro.

A Figura 9 corresponde ao perfil do feixe para o caso de 193 G. Neste caso nota-se que o feixe converge, praticamente, para o ponto correspondente à saída da lente magnética, e portanto, 193 G corresponde ao valor mais razoável para o máximo do campo de indução magnética. Da Figura 10 correspondente ao perfil radial da densidade de corrente observa-se uma grande compressão radial do feixe, que passa a

ter um diâmetro de 2mm, quando, na saída do canhão eletrostático, era 10mm.

3.3. Análise do Prisma Magnético

O feixe de elétrons cria ao longo de seu caminho, ao chocar-se com átomos de impureza, íons positivos que tendem a mover-se na direção oposta a dos elétrons (4). Estes íons, além de contribuir para diminuir a intensidade do feixe, podem, ao penetrar na região do campo eletrostático, causar grandes danos à superfície do catodo. A região mais provável para criação destes íons é justamente a câmara de fusão de metais, pois esta é a região onde surgem os maiores problemas para se manter o vácuo.

A fim de evitar tal contaminação do vácuo, na região das lentes magnéticas e do canhão eletrostático, é usual que o feixe transportado incida na amostra do metal, fazendo um certo ângulo com a normal. Neste projeto o ângulo é da ordem de 30° (2). Tal desvio do feixe é causado por meio dum prisma magnético.

Os prismas magnéticos mais simples para desviar o feixe são bipolos magnéticos. Estes bipolos são constituídos de duas bobinas ligadas em série de tal modo que o feixe passe na região entre as duas bobinas, formando um ângulo de 90° com o eixo comum às bobinas. Geralmente, o núcleo de tais bobinas é de material ferromagnético.

Não é possível utilizar o programa SLAC para simular o desvio do feixe por ação do prisma. Desta forma utilizou-se uma relação aproximada entre o campo, que provoca o desvio, e o ângulo de desvio (4), para estudar o efeito dos prismas, tal relação é dada por

$$\text{sen } \theta = 2,97 \cdot 10^5 \frac{LB}{\sqrt{U_B}} \quad (3.1)$$

onde:

U_B é o potencial acelerador;
 B é o campo de indução magnética; e
 L é o comprimento da região onde atua o campo.

Neste projeto tem-se um par de bobinas para desvio na direção x. Usando-se uma aproximação do campo de indução magnética, de um solenóide espesso de comprimento finito, ao longo do eixo (8), pode-se determinar que são necessários da ordem de 600 A-voltas para um desvio de 30° do feixe na direção x. Para um desvio na direção y tem-se um outro par de bobinas, perpendicular ao anterior, com aproximadamente 120 A-voltas. Este valor foi obtido usando-se a mesma aproximação anterior (8) para um pequeno desvio na direção y, da ordem de 2° a 3° .

Estes prismas costumam provocar distorções no feixe; neste projeto há um multipolo magnético colocado antes do prisma (2), para permitir pequenos ajustes que visam a minimizar tais distorções (4).

4. CONCLUSÃO

A finalidade do trabalho foi analisar as características do feixe gerado por um canhão similar ao HK-011600, para verificar se o mesmo pode ser utilizado num processo de fusão de metais.

Baseados nos resultados apresentados na Figura 3 verifica-se que o feixe sai com um diâmetro entre 9 e 10mm na boca do canhão. Portanto, o feixe ao sair do canhão apresenta as seguintes características:

Potência- 30 kV

Diâmetro- 10mm

Densidade de potência- 10^4 W/cm².

Estes parâmetros permitem verificar que este feixe tem as características dos feixes utilizados para fusão de metais (4).

Além disso, das Figuras 9 e 10 constata-se que o feixe, posteriormente, é focalizado pela lente magnética tendo o máximo de sua densidade de corrente, deslocado da borda para o centro do feixe, o que é muito conveniente. Seu diâmetro também, diminui para 2mm, já levando em conta o fato de que, ao sair da região da lente magnética, o feixe passará pelo prisma e entrará na câmara, até incidir na amostra, sendo que nestas duas regiões o feixe se expande. Após esta expansão, pode chegar novamente à amostra, com as características que o feixe possuía ao sair do canhão.

Em síntese, em virtude destas constatações, pode-se concluir que o feixe analisado é adequado para ser utilizado na fusão de metais, visando ao seu refino e purificação; principalmente para metais com elevados pontos de fusão.

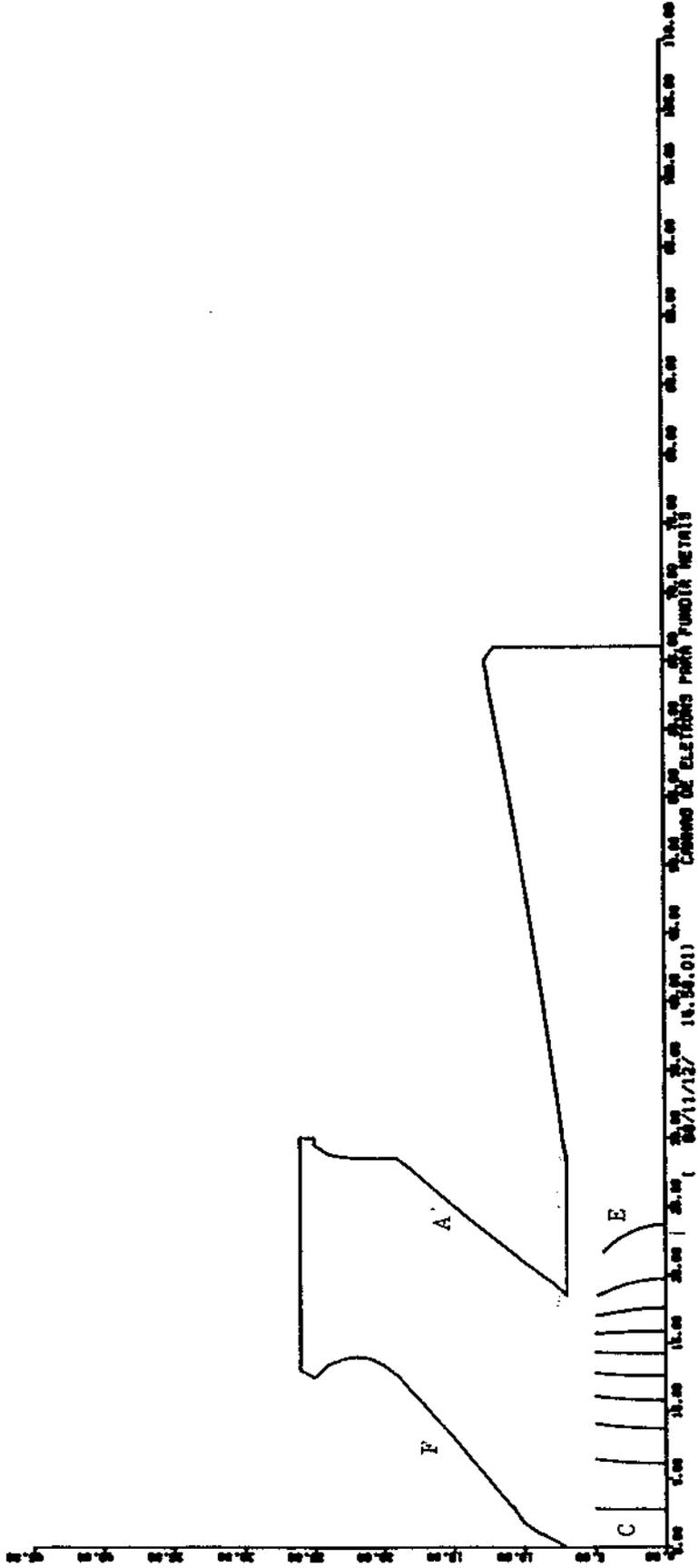


FIGURA 1 - Perfis do catodo (C), do eletrodo de focalização (F), do anodo (A) e das superfícies equipotenciais (E), em mm. As linhas, horizontal em $r=26\text{mm}$ e vertical em $z=66\text{mm}$, são traçadas para delimitar a região de cálculo do programa, mas na realidade correspondem a vãos.

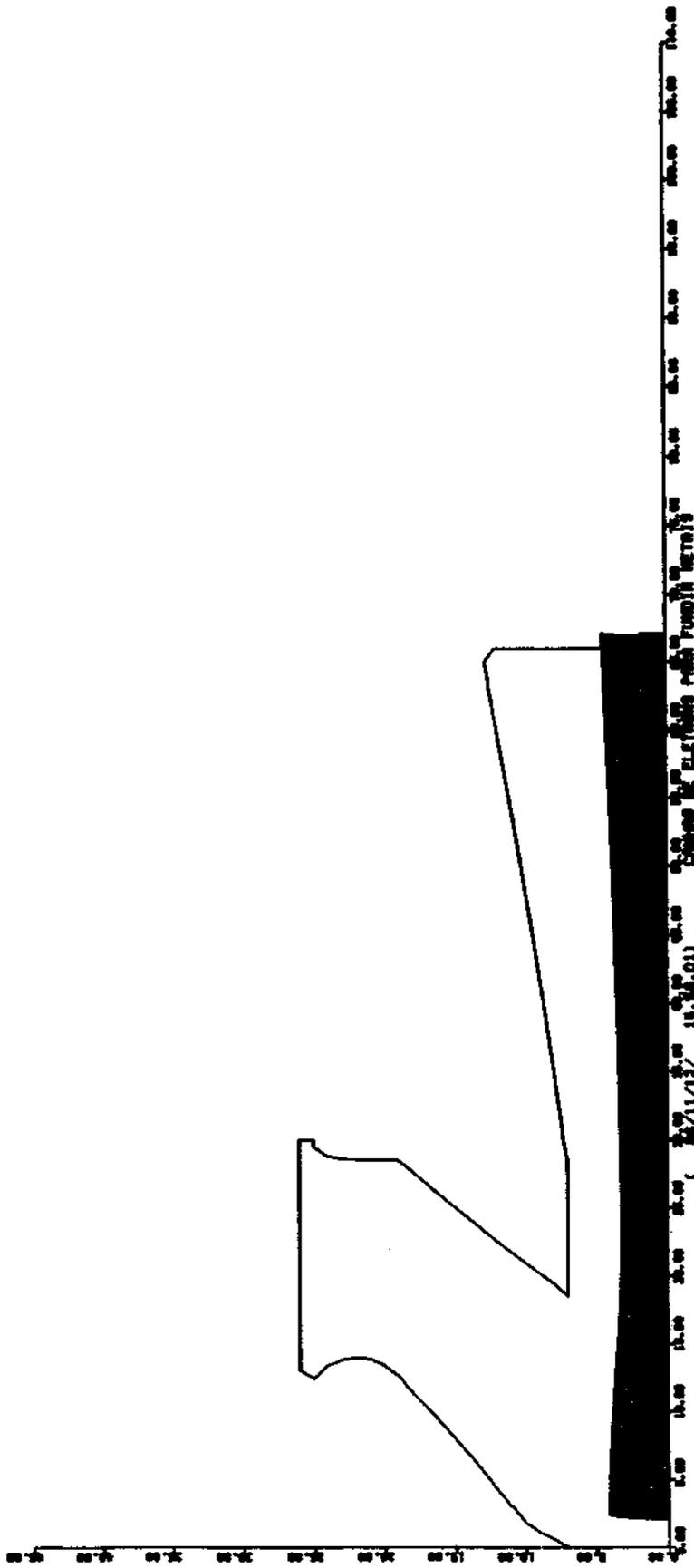


FIGURA 2 - Feixe de elétrons (50 raios) para uma tensão de 30 kV e corrente de 1A. A expansão do feixe é evitada pela conformação dos eletrodos do canhão.

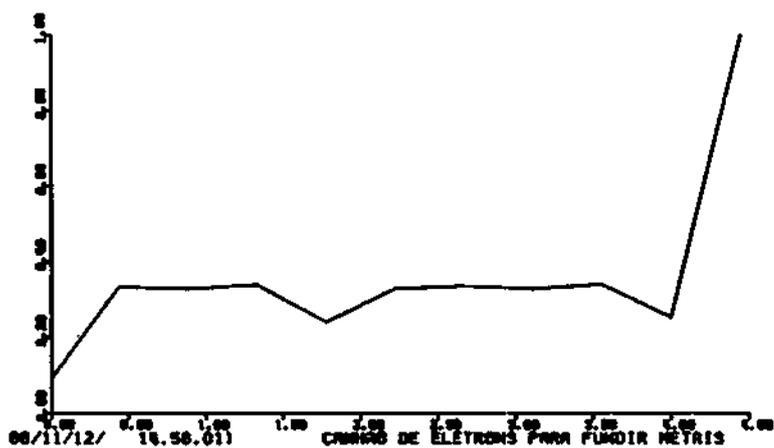


FIGURA 3 - Perfil radial da densidade de corrente elétrica do feixe. A unidade do eixo vertical é normalizada em relação à densidade máxima de corrente e a unidade do eixo horizontal é em mm.

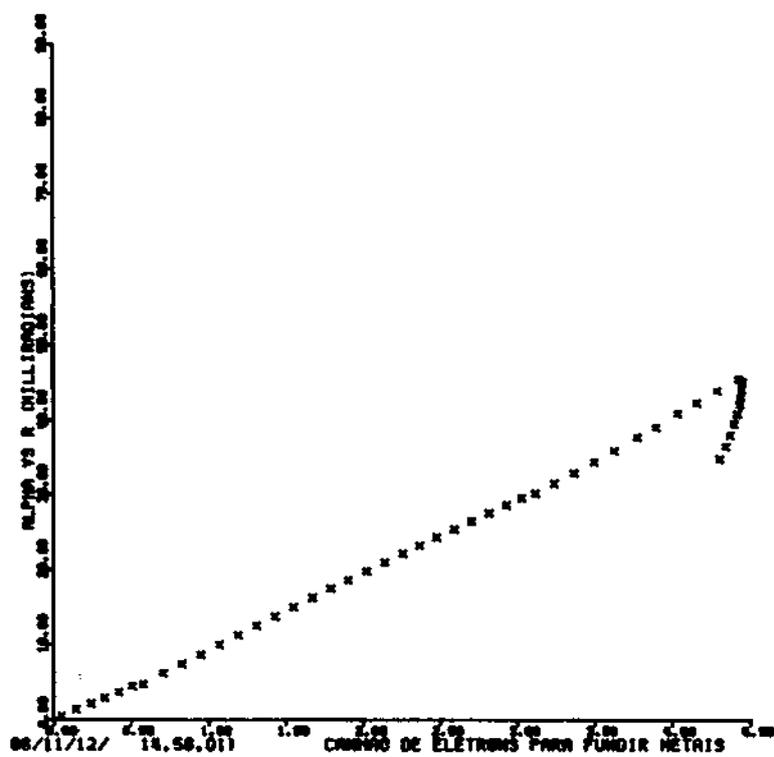


FIGURA 4 - Ângulo de inclinação das trajetórias como função da distância radial. Na borda do feixe, $r \geq 4\text{mm}$, o feixe torna-se translaminar.

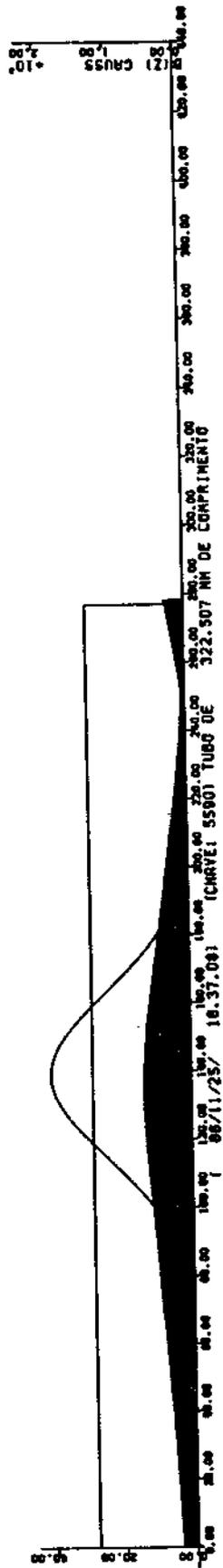


FIGURA 5 - Focalização do feixe, por meio da lente magnética. A curva gaussiana representa o perfil do componente z do vetor indução magnética. Neste caso, seu valor máximo é de 199 G.

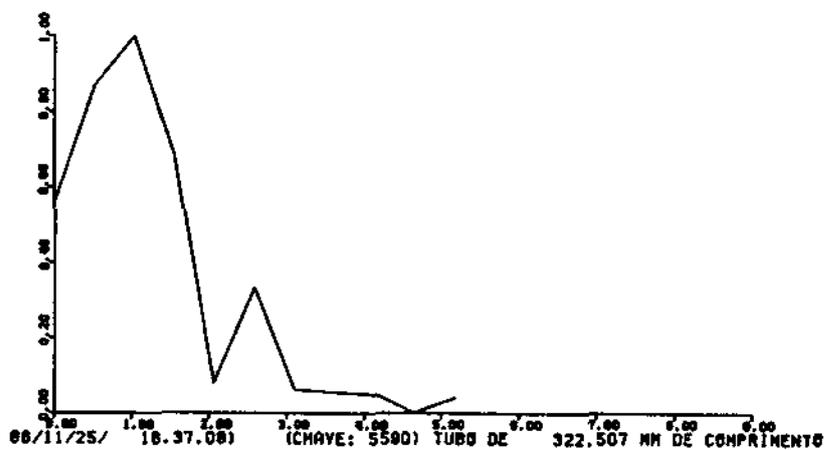


FIGURA 6 - Perfil radial do feixe (densidade de corrente relativa) ao sair da lente magnética (caso 199 G).



FIGURA 7 - Focalização do feixe, por meio de uma lente magnética (caso 196 G).

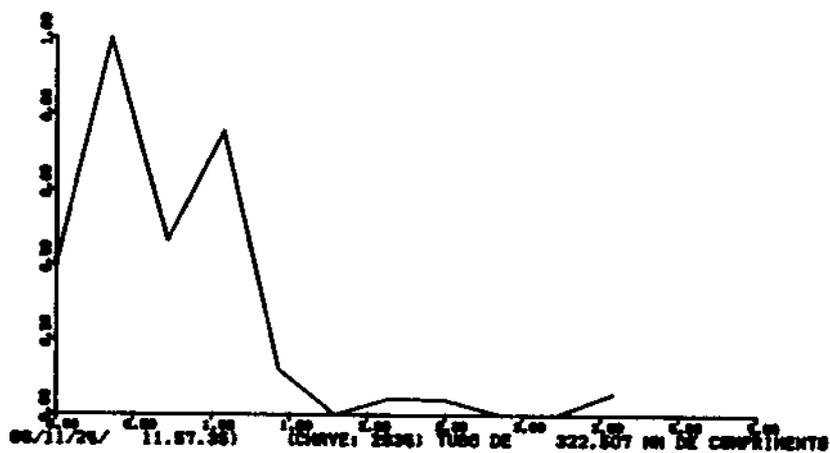


FIGURA 8 - Perfil radial do feixe (densidade de corrente relativa) ao sair da lente magnética (caso 196 G).

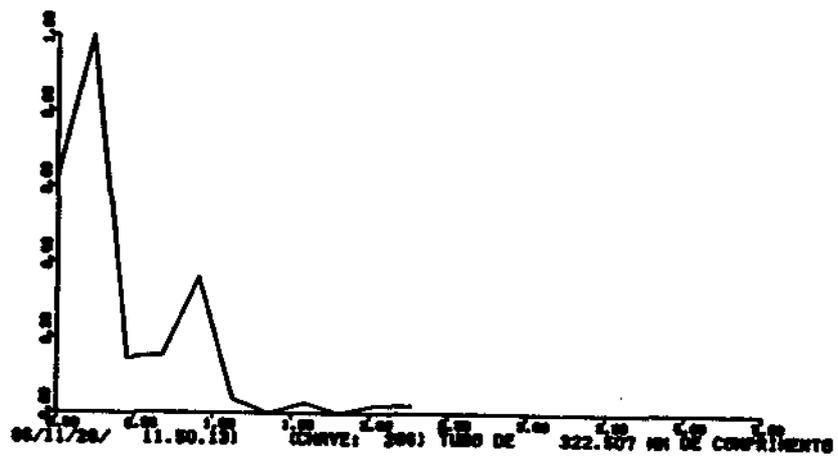


FIGURA 10 - Perfil radial do feixe ao sair da lente magnética,
(caso 193 G).



PROPOSTA PARA
PUBLICAÇÃO

- DISSERTAÇÃO
- TESE
- RELATÓRIO
- OUTROS

TÍTULO

ANÁLISE DE UM CANHÃO DE ELÉTRONS PARA FUSÃO DE METAIS

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

A.C. Jesus Paes
R.M.O. Galvão
P. Boscolo
A. Passaro

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

DIVULGAÇÃO

- EXTERNA INTERNA RESTRITA
- EVENTO/MEIO
- CONGRESSO REVISTA OUTROS

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

LAP

NOME DO REVISOR

GERSON OTTO LUDWIG

NOME DO RESPONSÁVEL

GERSON OTTO LUDWIG

REV. TÉCNICA

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

28/8/87

1/1/

Ludwig

APROVADO

DATA

ASSINATURA

- SIM
 NÃO

28/8/87

Ludwig

APROVAÇÃO

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

1/1/

PÁG

DEVOLVIDO

ASSINATURA

1/1/

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

1/1/

DATILOGRAFIA

Nº DA PUBLICAÇÃO:

PÁG.:

CÓPIAS

Nº DISCO:

LOCAL:

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

- SIM
 NÃO

1/1/

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS