

DISPOSITIVO DE MICRODESCARGAS EM GASES NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Autor: Alan Wilson Figueira de Andrade
Orientador: Milton Eiji Kayama

(alan_wf@hotmail.com)

UNESP – Campus de Guaratinguetá – Engenharia Elétrica – Bolsa PIBIC

Palavras-chave: Plasma; Jato; Microdescargas; Pressão Atmosférica.

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo de microdescargas em gases à pressão atmosférica para geração de plasma a fim de ser utilizado no tratamento de superfícies. O trabalho foi baseado em um estudo de iniciação científica que aconteceu em duas etapas. Na introdução apresentam-se as motivações do estudo, o dispositivo desenvolvido na primeira etapa do trabalho bem como os primeiros resultados e propostas de melhorias. Definem-se os objetivos da segunda etapa, que contemplam modificações no dispositivo de descarga e na fonte de alimentação. Em seguida são explanados os métodos utilizados para confecção do dispositivo, construção da fonte de alimentação e circuito de fotodeteção para observar as descargas. Apresenta-se o modelo e configurações dos experimentos, os resultados obtidos são expostos e debatidos brevemente. Colocam-se as conclusões do trabalho e novas propostas de investigação e melhoramentos para o estudo das microdescargas. Seguem-se os agradecimentos aos envolvidos no projeto e, por fim, a bibliografia utilizada.

1. Introdução

1.1. Objetivo

Plasmas de descargas gasosas a alta pressão têm grande aplicação em processos industriais, por exemplo, a solda MIG, solda TIG e tochas de plasma para fornos siderúrgicos. Outros processos industriais, como recobrimento e tratamento de superfícies usam plasmas gerados a partir de gases a pressões bem abaixo da pressão atmosférica. O regime da descarga em alta pressão é conhecido como regime de arco e em baixa pressão, regime luminescente. O custo em produzir descargas em baixa pressão é muito alto, portanto considerável esforço vem sendo realizado pela comunidade mundial em substituí-los por descargas em pressão ambiente [1]. O objeto deste projeto é o desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico para operar em tal condição. Em uma etapa posterior será empregado para alterar as propriedades mecânicas e elétricas da superfície de materiais.

1.2. Dispositivo anterior

A pesquisa em descargas a alta pressão busca o regime de descarga luminescente ou mesmo descarga do tipo corona, fugindo do regime de arco. Do ponto de vista do controle do regime da descarga evita-se que ocorra uma transição do luminescente ao arco que tende a ocorrer naturalmente quando aumentamos a tensão entre os eletrodos da descarga [2,3]. Um tipo de descarga que possibilita este controle são as microdescargas que são produzidas por descargas em eletrodos com pequena dimensão. Elas podem ser criadas na configuração de eletrodos conhecida como catodo oco onde o catodo tem a forma cilíndrica um pequeno copo e o anodo é posicionado na frente da abertura deste copo. Nesta configuração foi observada em alta pressão a formação de plasma com tensões de 600 V enquanto que em outras configurações isto ocorre a tensões acima de 4 kV. O catodo oco também aumenta a emissão catódica em até duas ordens de magnitude em relação ao catodo plano [4,5].

1.3. Primeiros resultados

Anteriormente, no Laboratório de Plasma e Processamento de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, foi desenvolvido o dispositivo do tipo catodo oco em um projeto de Iniciação Científica. O aluno que vem trabalhando neste projeto é o mesmo. O dispositivo tem geometria cilíndrica e seu desenho em corte é mostrado na Figura 1 - a. Foi desenvolvida uma fonte de alimentação cuja saída é uma senoidal em 60 Hz modulada a um nível de tensão contínua. O esquema elétrico da fonte é mostrado na Figura 1 - b. Este conjunto produz a esperada descarga elétrica estável em regime luminescente na pressão atmosférica. Um

resultado preliminar da caracterização do dispositivo é mostrado na forma da onda da tensão aplicada, mostrada na Figura 1 - c. A descarga desenvolve-se enquanto a tensão entre os eletrodos seja superior a +400 V ou -400 V, um nível de tensão relativamente baixo como inicialmente projetado para o dispositivo.

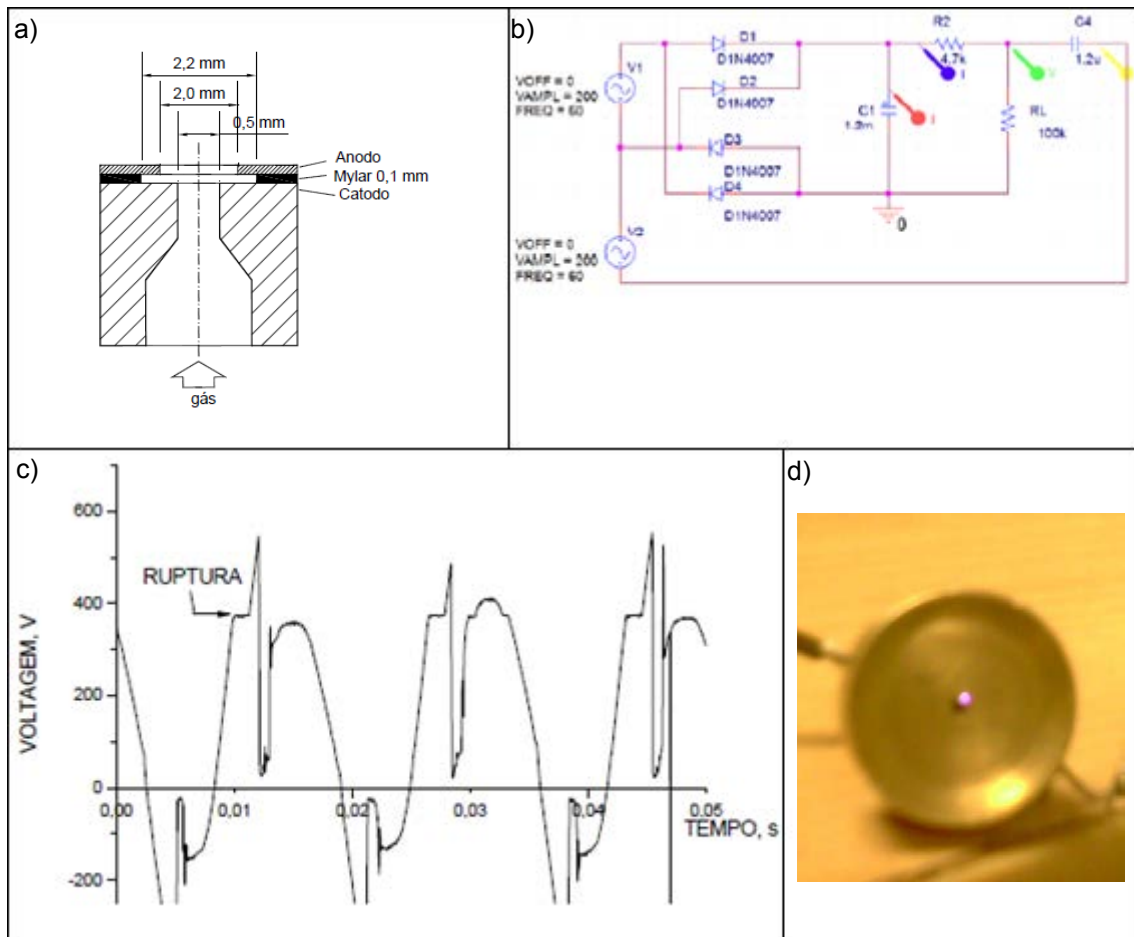


Figura 1 - Primeiros resultados. a) Dispositivo de descarga. b) Fonte de alimentação. c) Forma de onda na ruptura. d) Plasma observado.

1.4. Melhoramentos

Como se pretende que futuramente o dispositivo de descarga seja utilizado para tratamento de superfícies é importante que o plasma seja projetado para fora do tubo, como uma chama. Esse dispositivo, no entanto, não foi capaz projetar o plasma para fora do catodo, mesmo com o aumento do fluxo gasoso a chama permanecia interna, Figura 1 - d. Por esse motivo foi necessário repensar o esquema e a configuração dos eletrodos.

2. Objetivos na segunda fase

- Alterar dispositivo de descarga para trabalhar com fluxo gasoso contínuo.
- Visar máxima projeção do jato de plasma para aplicação em tratamento de superfícies.
- Desenvolver fonte de alimentação para alimentar o novo tipo de descarga.

3. Metodologia

3.1. Dispositivo de descarga

A projeção do plasma no dispositivo é ilustrada na Figura 2 - a. Esse dispositivo consiste basicamente de uma agulha central que conduz o gás e também é um dos eletrodos, um tubo capilar de boro-silicato reveste essa agulha isolando-a, e por fora do isolante um anel metálico aterrado faz o papel de segundo eletrodo [6]. A dimensão 'a' da Figura 2 – b, diâmetro da agulha utilizada tem 0,7 mm, 'b' tem 1 mm, a dimensão 'c' é o parâmetro variável do estudo e 'd' tem 10 mm.

A desvantagem com relação ao dispositivo anterior, é que aquele precisava de tensões baixas para gerar o plasma, em torno de 400 V, para esse novo esquema foi necessário tensões maiores que 4 kV. Para tanto uma nova fonte de alimentação precisou ser projetada.

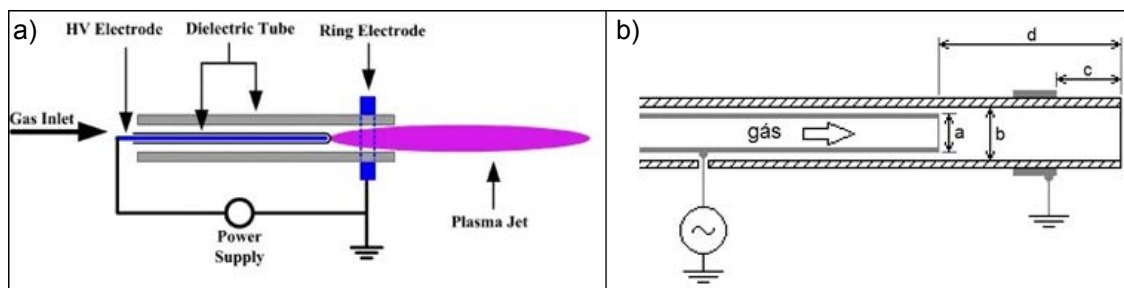


Figura 2 - Dispositivo de descarga. a) Modelo ilustrando a projeção do plasma. b) Dispositivo construído.

3.2. Fonte de alimentação

3.2.1. Diagrama de blocos

O diagrama de blocos da fonte de alimentação é apresentado a seguir na Figura 3.

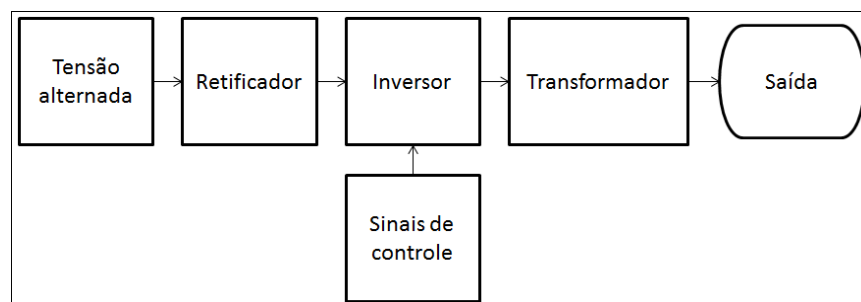


Figura 3 - Diagrama de blocos da fonte de alimentação

3.2.2. Circuito de potência

O circuito de potência, apresentado na Figura 4, utiliza um varivolt para regulagem da tensão e fusível de proteção, nele aparecem os estágios

de recebimento da energia, retificação, inversão e aplicação no transformador.

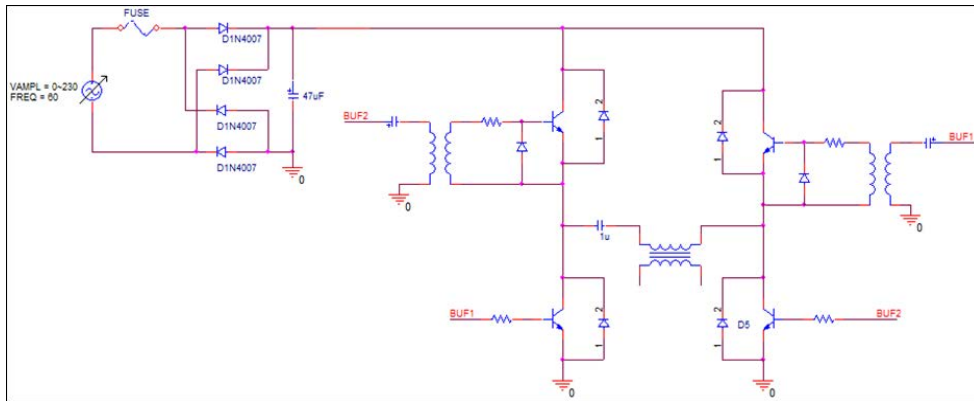


Figura 4 - Circuito de potência da fonte de alimentação

3.2.3. Circuito de controle

O circuito de controle apresentado na Figura 5 é responsável por gerar os sinais 'BUF1' e 'BUF2' que comandam o acionamento do inversor de configuração ponte-H da Figura 4.

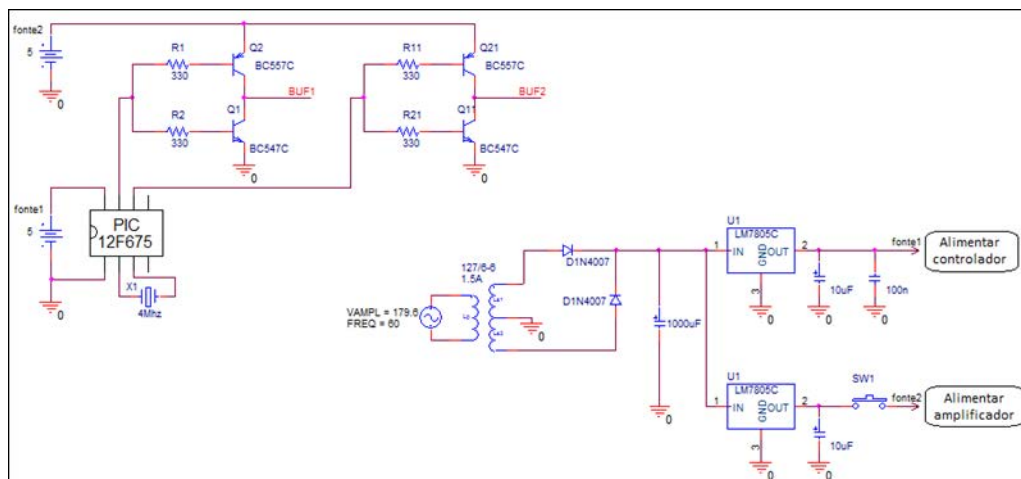


Figura 5 - Circuito de controle da fonte de alimentação

3.2.4. Acionamento dos transistores

Os sinais de controle são gerados por um microcontrolador PIC12f629, esses sinais são então amplificados, para que possam ser aplicados nos transistores de potência [7].

Um ponto importante para o acionamento desses transistores é que dois deles não podem ser acionados diretamente, pois têm os terminais de emissor conectados ao transformador (os dois de cima na Figura 4), devido ao efeito da indutância do transformador a tensão desses pontos flutua durante a operação do circuito, de forma que não se sabe qual valor de tensão deve ser aplicado à base do transistor para se injetar a

corrente necessária ao seu acionamento [8,9,10]. Foram utilizados transformadores de pulso para resolver esse problema, pode-se observar também na Figura 4 os diodos rápidos que protegem os transistores de surtos de tensão negativa entre coletor-emissor.

3.2.5. Sinal de saída

O sinal fornecido pelo inversor pode ser observado na Figura 6, onda de cima, e o sinal de saída da fonte na mesma figura na parte de baixo (não se pode considerar a relação entre as fases desses sinais da Figura 6 uma vez que foram medidas feitas separadamente no primário e secundário).

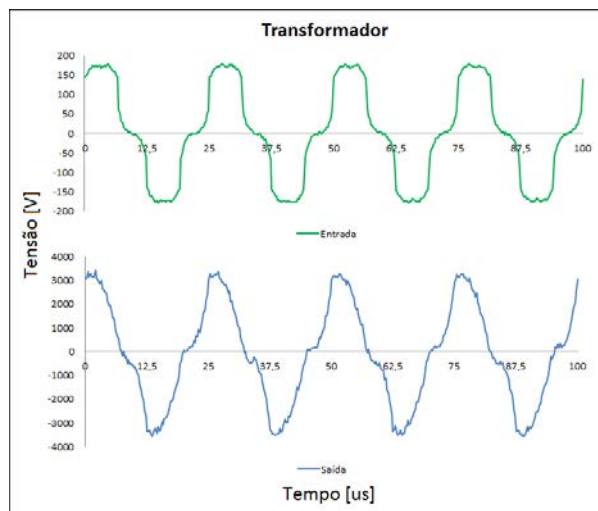


Figura 6 - Sinais no primário (a cima) e secundário (a baixo) do transformador de saída da fonte de alimentação

3.2.6. Montagem

O circuito foi montado sobre uma placa de circuito padrãoilhada e fixado numa caixa de alumínio, a montagem é apresentada na Figura 7.

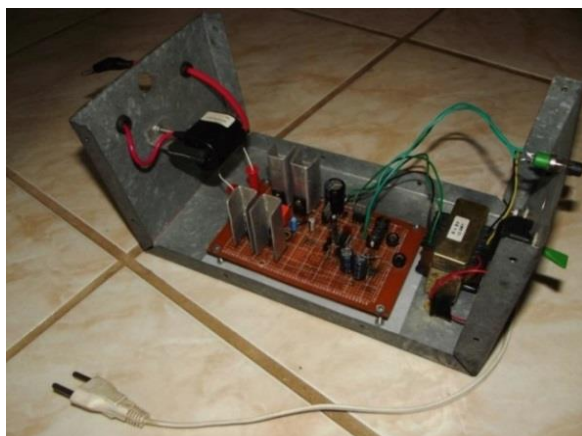


Figura 7 - Montagem da fonte de alimentação em caixa de alumínio

3.3. Fotodetector

Para analisar a chama de plasma produzida foi utilizado um foto detector. O fotodetector deve conseguir detectar variações rápidas de luminosidade para que seja capaz de dizer se o plasma é contínuo ou pulsado, como a fonte trabalha na frequência de 40 kHz ele deve ser capaz de responder mais rápido que isso, ensaios do tempo de resposta foram realizados aplicando-se a luz de um LED diretamente no circuito detector, e se pode observar os resultados na Figura 8 – a e b, nas quais em azul se mostra a tensão aplicada ao LED e em vermelho a resposta do detector. Note que há um pequeno atraso de resposta, em torno de 50ns, o que é bastante satisfatório. O circuito de detecção aparece na Figura 8 – c em que se utiliza um AMP-OP para dar ganho 2X no sinal, e utiliza-se um resistor de 51 ohms na saída para fazer casamento de impedância com o cabo coaxial de 50 ohms que conduz o sinal até o osciloscópio.

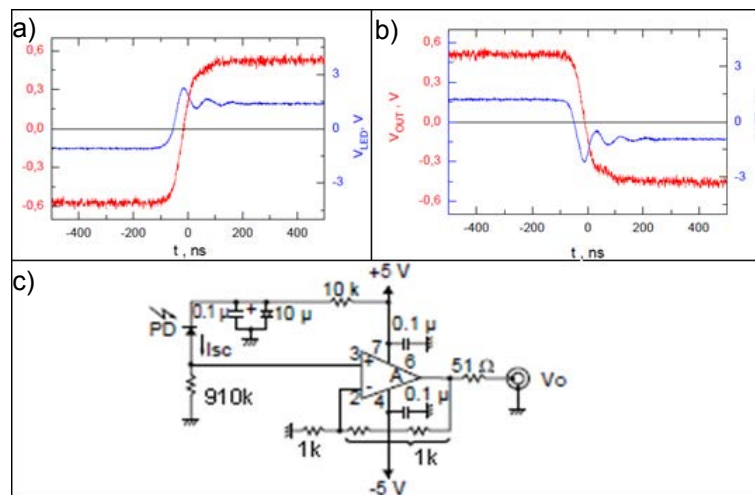


Figura 8 - Fotodetector. a) Tempo de resposta de subida. b) Tempo de resposta na descida. c) Circuito amplificador de sinal.

O circuito pode ser ligado diretamente à entrada de 50 Ω de um osciloscópio através de um cabo de também 50 Ω de impedância. São utilizados dois resistores em série como realimentação a fim de diminuir o efeito de capacitância parasita dos resistores [11].

4. Resultado e discussão

4.1. Setup do experimento

Para o experimento foram utilizadas as seguintes especificações, indicadas na Tabela 1.

Agulha de aço	Capilar de boro-silicato
gás hélio 1,5L/min	V = 7 kVpp – 40 kHz
a = 0,7 mm	b = 1 mm
c = 0 + Δ0,5 mm	d = 10 mm

Tabela 1 - Setup do experimento

Em que os parâmetros 'a', 'b', 'c' e 'd' são os indicados na Figura 2 – b. O parâmetro 'c' começou valendo 0,0 mm e foi sucessivamente acrescido de 0,5 mm.

4.2. Distorção da tensão

O gráfico da Figura 9 apresenta o resultado do comportamento da tensão para diferentes valores de 'c'.

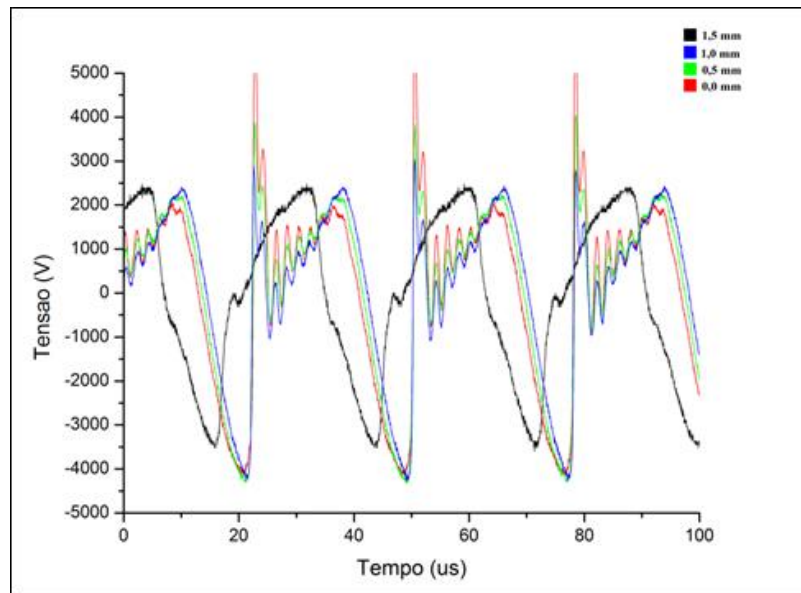


Figura 9 - Tensão observada para diferentes valores de 'c'

Inicialmente foi possível observar o jato de plasma projetado para fora do tubo, no entanto algo parecia estar errado, o jato era pouco visível e as formas de onda das tensões apresentavam grandes deformidades, o que poderia indicar provavelmente regime de arco, diferente do esperado.

4.3. Formação de arco

Olhando mais atentamente para o jato, Figura 10, descobriu-se que o plasma realmente se fechava de maneira direta, desde a ponta da agulha contornando o tubo até o anel externo, então a distancia do anel até a borda do capilar continuou sendo incrementada até que não se pudesse mais observar esse arco.

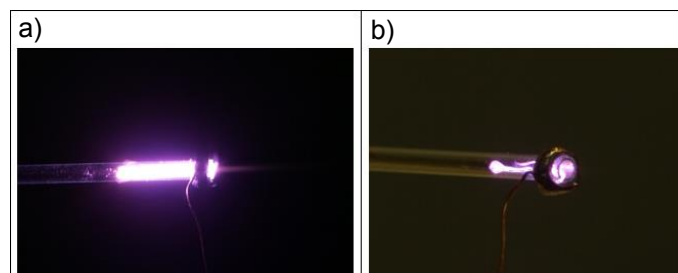


Figura 10 - Observação do plasma. a) Longa exposição. b) Curta exposição.

4.4. Rompimento do boro-silicato

Quando distância 'c' chegou a 6,5 mm, não havia mais o arco mas outro problema se apresentou, o tubo de boro-silicato não foi capaz de suportar a intenso campo elétrico e começou a se romper, dando origem a um plasma alaranjado, Figura 11, diferente da cor azulada característica dos plasmas de hélio. Depois de alguns segundos de plasma alaranjado o tubo se rompia completamente e o arco voltava a estar de maneira direta entre agulha e anel.

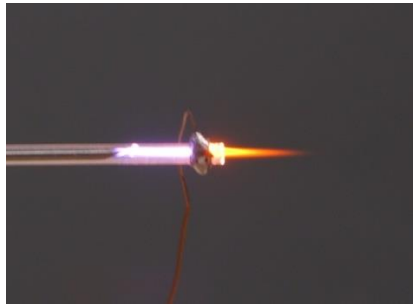


Figura 11 - Plasma alaranjado, falha na isolação do borosilicato

4.5. Tubo de quartzo

Uma das maneiras de se resolver o problema é substituir o isolante de borosilicato por outro mais resistente ao intenso campo elétrico, por exemplo, tubo de quartzo, na Figura 12 pode-se observar o jato de plasma desenvolvido nas mesmas condições da Tabela 1, porém com isolante de quartzo.

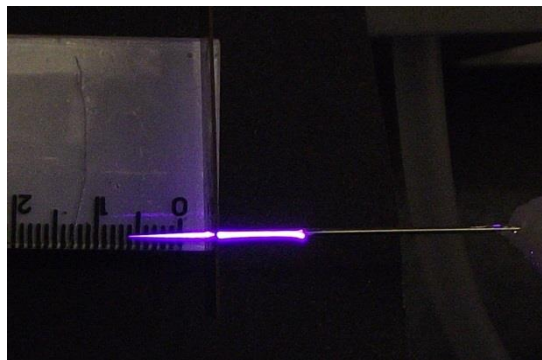


Figura 12 - Plasma desenvolvido em dispositivo isolado por tubo de quartzo

4.6. Diminuição da tensão

Outra maneira de conseguir produzir a descarga ainda em borosilicato é diminuir a tensão aplicada, Figura 13, neste caso a intensidade luminosa do plasma diminui, mas o jato já pode ser útil para tratamento de superfícies. O nível de tensão utilizado nesse experimento está em torno de 4 kV.

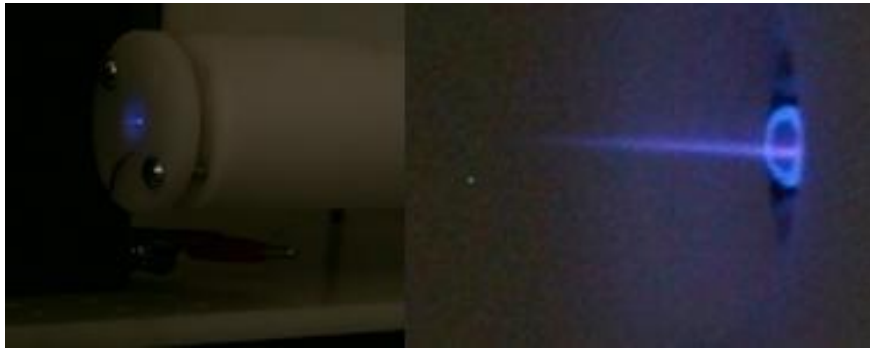


Figura 13 - Jato observado no dispositivo de borosilicato com tensão aplicada de 4 kV

4.7. Luminosidade

Na configuração com isolante de borosilicato em tensão próxima a 4 kV se observou a seguinte tela do osciloscópio da Figura 14, em que se vê a forma de onda da corrente, tensão e a resposta do fotodetector.

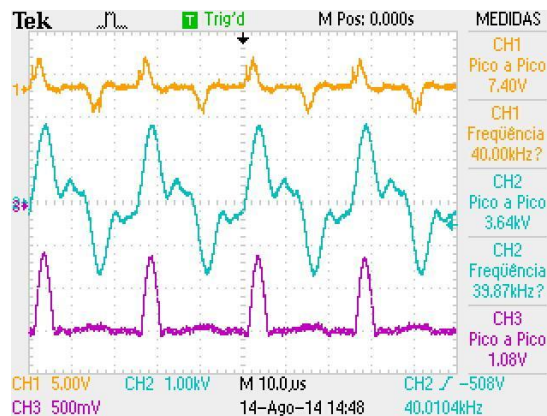


Figura 14 - Tela do osciloscópio indicando de cima para baixo: corrente, tensão, luminosidade

Interessante notar que o jato de plasma, indicado pelo fotodetector, só aparece nos pulsos positivos da tensão, embora as formas de onda da tensão e da corrente sejam simétricas em relação ao eixo do tempo.

5. Conclusões

O jato de plasma é suficiente para tratamento de superfícies. Com isolante de borosilicato pode ser projetado a até 4 mm de distância.

Há a possibilidade de jatos múltiplos funcionando paralelamente, de forma a acelerar a aplicação em superfícies, que precisariam ser varridas pelos jatos.

O dispositivo de fotodeteccção apresentou resultados muito bons quanto a tempo de resposta e nível de sinal. Como a intensidade luminosa é proporcional à densidade eletrônica no plasma esta técnica de medição é uma alternativa viável para análise e caracterização do jato de plasma. As

medições mostraram que a intensidade luminosa aumenta com o aumento da potência elétrica aplicada e com o número de jatos.

A fonte de alimentação atendeu aos quesitos de frequência, forma de onda e tensão de saída para realização das descargas. Entretanto, o superaquecimento apresentado pelos transistores de chaveamento é um fator que limita o tempo de uso do equipamento, o que pode gerar interrupções durante o processo e atrapalhar o tratamento. Sendo assim, é proposto um novo projeto eletrônico, utilizando transistores do tipo MOSFETs ao invés dos BJTs utilizados, para um circuito de ponte-H mais robusto, permitindo estender seu tempo de operação. Em plasmas produzidos por estas descargas é interessante também que se investigue sua dependência com a frequência e a forma de onda do sinal, sugere-se, então, que novos estudos sejam feitos nesse sentido.

6. Publicações

CONGRESSO BRASILEIRO DE APLICAÇÕES DE VÁCUO NA INDÚSTRIA E NA CIÊNCIA, 34., 2013, Ilhéus. **Atmospheric Pressure Plasma Jet**. Anais do XXXIV CBRAVIC.

CONGRESSO BRASILEIRO DE APLICAÇÕES DE VÁCUO NA INDÚSTRIA E NA CIÊNCIA, 34., 2013, Ilhéus. **Influence Of The Diameter Of Borosilicate Capillary To Generate Plasmas At Atmospheric Pressure**. Anais do XXXIV CBRAVIC.

CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 25., 2013, Guaratinguetá: UNESP. **Dispositivo De Microdescargas Em Gases Na Pressão Atmosférica**. Anais do XXV CIC.

CONGRESSO BRASILEIRO DE APLICAÇÕES DE VÁCUO NA INDÚSTRIA E NA CIÊNCIA, 33., 2012, São José dos Campos. **Micro Discharge Device at Atmospheric Pressure**. Anais do XXXIII CBRAVIC.

7. Agradecimentos

Participantes do grupo de plasma: Milton E. Kayama, Deborah C. R. Santos, Konstantin G. Kostov, Leide L. G. S. Kostov, Mauricio A. Algatti, Roberto Y. Honda, Rogério P. Mota, José B. Galhardo, André Laraia, Kyohei Yumitori, Leandro Urbano, Lucas Silva, Stefan Ortelt. Participantes da banca: José F. Adami, Milton E. Kayama, Paloma M. S. R. Rizol. E à PIBIC financiadora do trabalho.

8. Bibliografia

- [1] Kostov, K.G., Honda, R.Y., Alves, L.M.S. e Kayama, M.E., Characteristics of dielectric barrier discharge reactor for material treatment, Brazilian J. Phys., V.39, p.012054, (2009);
- [2] Li, X., Tao, X. e Yin, Y., An atmospheric-pressure glow-discharge plasma jet and its application, IEEE Trans. Plasma Science, vol.37, no.6, p.759, (2009);
- [3] Aubert, X. et al, Analysis of the self-pulsing operating mode of a microdischarge, Plasma Sources Sci. Technol., vol.16, p.23, (2007)
- [4] Schoenback, K.H., Verhappen, R., Tessnow, T. e Peterkin, F.E., Microhollow cathode discharges, Applied. Physics Letters, vol. 68, no.1, p13, (1996);
- [5] Schoenbach, K.H., El-Habachi, A., Shi, W. e Ciocca, M., High pressure hollow cathode discharges, Plasma Sources Sci. Technol., vol.6, p.468, (1997)
- [6] Z Cao, Q Nie, D L Bayliss¹, J L Walsh¹, C S Ren, D Z Wang and MGKong, Spatially extended atmospheric plasma arrays, Plasma Sources Sci. Technol. 19 (2010)
- [7] SOUZA, D. J. Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado Para Pic16f628a. São Paulo: Editora Érica, 6ª edição, 2003
- [8] Figini, G. Eletrônica industrial: circuitos e aplicações. Editora Hemus, 2002
- [9] Cipelli, A. M. V., Sandrini W. J., Markus O. Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos Editora Érica, 23ª edição
- [10] Sedra, Adel S. Microeletrônica Editora Prentice Hall Br 6ª edição
- [11] HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Application Circuit Examples of Si Photodiode. Hamamatsucity, Japan. 2008.