

## CRIAÇÃO DE COMPONENTES DC EM LAÇOS CAPACITIVOS EM SAÍDAS DE INSTRUMENTOS CIRÚRGICOS

E. Dias Jr.\* , B. Schneider, Jr.\*\*

\*UTFPR, Curitiba, Brasil

\*\* UTFPR, Curitiba, Brasil

e-mail: [eltondjr@yahoo.com.br](mailto:eltondjr@yahoo.com.br)

**Resumo:** Muitas dezenas de milhões de procedimentos eletrocirúrgicos são executados todos os anos em todo o mundo. Embora a eletrocirurgia seja conhecida há quase um século, em alguns destes procedimentos podem ocorrer a eletroestimulação e queimaduras na pele do paciente no contato com a placa de retorno [1]. As causas destas queimaduras não se devem exclusivamente ao mau uso do equipamento eletrocirúrgico. A origem elétrica destas queimaduras está na forma pela qual a faísca eletrocirúrgica se desenvolve, gerando componentes DC, que podem ocorrer mesmo com a presença do capacitor, previsto pela norma NBR IEC 60601-2-2 [2], que visa a proteção elétrica do paciente. Experimentos em dc (corrente contínua) foram feitos para simular as faíscas que executam o corte. A faísca foi obtida para quando o bisturi estava mais positivo que o tecido orgânico (simulado por chuchu, *Sechium edule sp*) e para quando o bisturi estava mais negativo. Pela diferença de geometria entre os eletrodos metálico e orgânico, notou-se que as tensões necessárias para deflagrar as faíscas eram diferentes em ambos os sentidos. Os experimentos realizados em DC encontraram uma forte correspondência com experimentos realizados em ac com o mesmo objetivo [3], e explicam em grande parte a eletroestimulação e queimaduras DC comuns a esses procedimentos. [4]

**Palavras-chave:** Eletrocirurgia, queimaduras em DC, faíscas elétricas, descargas elétricas.

**Abstract:** *Tens of millions electrosurgical procedures are performed each year over the world. However, in some of those procedures we can have undesirable muscle electrostimulation and skin dc burns. The causes of these burns are not only due to bad use of electrosurgical equipment. Electrosurgical sparks can create asymmetries in electrical parameters that lead to electrostimulation and others DC problems, despite of the presence of capacitance in the patient circuit. DC experiments were made and the spark obtained when the scalpel was more positive than the tissue (simulated by Chayote: *Sechium edule sp.*) had its sparking voltage different of the sparking voltage when scalpel was less positive than the tissue. The difference in geometry between the electrodes can be one of the actors in this asymmetry. That asymmetry produces a dc voltage that charges the protection capacitance. The discharge of th-*

*capacitor over the patient explains some electrostimulation and its presence in the skin gel passive electrode coupling is responsible for dc burns [4]. The experiments performed in dc found a strong correlation with experiments performed in AC [3].*

**Keywords:** *Electrosurgical burns in DC, electric sparks, electrosurgery, electrical discharge.*

### Introdução

A eletrocirurgia, amplamente utilizada em vários procedimentos cirúrgicos, pode oferecer riscos ao paciente. O corte/coagulação é realizado através de sucessivas faíscas elétricas entre o bisturi e o tecido orgânico a taxas que podem ir de 300 kHz a 3 MHz, de 200 a 8000 Vp e potências que podem ir até 300 W [1]. A corrente elétrica que flui pelo corpo do paciente entre o bisturi e a placa de retorno pode causar a eletroestimulação, se contiver componentes em baixas frequências. Na região de contato da placa de retorno com o tecido podem também ocorrer graves queimaduras quando tensões DC estiverem presentes. As queimaduras em DC ocorrem quando uma componente de tensão contínua provoca reações eletroquímicas no gel utilizado para o acoplamento da placa de retorno à pele do paciente [4].

Neste trabalho serão apresentadas as possíveis causas do aparecimento destas componentes de tensão e corrente contínuas.

A faísca elétrica é o processo físico utilizado no corte eletrocirúrgico e a mesma, entre metais, já foi amplamente estudada e alguns modelos explicam muito bem o seu funcionamento. A Teoria Townsend, proposta por John Sealy Eduard Townsend, em 1900, propõem que avalanches de elétrons no espaço de descarga, entre os eletrodos, causam a quebra de rigidez dielétrica do meio e, assim, a descarga elétrica pode ocorrer. No entanto, em eletrocirurgia, a faísca elétrica deve ocorrer entre metal e tecido orgânico, eletrodos de materiais diferentes. Outra característica importante está na geometria do eletrodo e do tecido orgânico. O eletrodo que executa o corte possui geralmente uma geometria pontiaguda, em agulha, faca ou esfera, enquanto que o tecido é assumido como uma superfície plana. Nos experimentos realizados em DC aqui relatados, apenas os eletrodos esféricos foram utilizados. Esta diferença faz com que a corrente elétrica entre o bisturi e o tecido

seja assimétrica, ou seja, ela possui valores diferentes das tensões elétricas que deflagram a faísca nas fases positiva e negativa da descarga elétrica.

A norma NBR IEC 60601-2-2 [2], que regra sobre equipamentos eletrocirúrgicos, prevê a utilização de um capacitor no circuito do paciente. Este capacitor impede a ocorrência de corrente elétrica DC no circuito do paciente, mas não a componente DC de tensão elétrica [5]. Esta tensão DC deriva também para a placa de retorno colocada junto à pele do paciente, que formam também um capacitor. Este capacitor é atípico, constituído de metal e tecido orgânico. Uma tensão DC, mesmo que pequena, da ordem de 3 V, já é o suficiente para causar queimaduras na pele do paciente na presença de gel [6].

### Materiais e métodos

Experimentos que utilizaram eletrodos cirúrgicos esféricos de diâmetros de 1,8 mm, 4,5 mm, 6,5 mm e de uma placa de retorno com 11 cm x 15 cm foram feitos para levantar o comportamento das tensões de deflagração das faíscas para ambos os sentidos. Para simular o tecido orgânico foram utilizados chuchu [3] e lombo de porco. O gerador de alta tensão utilizado foi um Leybold com tensão ajustável até um máximo de 5 kV. Um equipamento para estudo da falcância foi idealizado e construído pelos autores deste artigo e foi composto de um trilho para o movimento do eletrodo em relação ao tecido. Este movimento do trilho, por sua vez, foi medido micrometricamente através de um relógio comparador com discriminação de 0,01 mm, como ilustrado a figura 1.

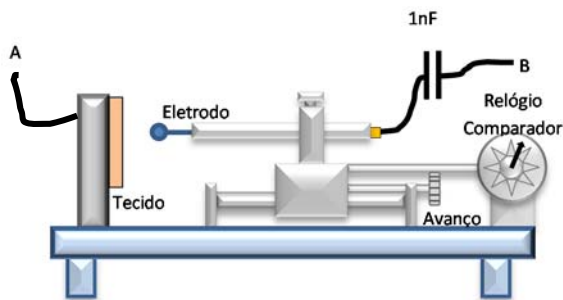


Figura 1: Esquema da montagem eletrodo-tecido utilizado nos experimentos para a detecção da assimetria

As tensões foram medidas com um osciloscópio Tektronix TDS-2022, 200 MHz e 2 GS/s, do qual o registro era extraído em formato de arquivo numérico csv (comma separated values), para posterior processamento. A ponta de prova utilizada foi da marca Tektronix modelo TPI-P250, 250 MHz, com atenuação de 100 vezes. Em série com a faísca, entre eletrodo e tecido, foi associado um conjunto de 10 capacitores em

série de 10 nF/1,6 kV. O objetivo desta associação de capacitores em série com o espaço de descarga foi o de evitar faíscas subsequentes à primeira, que poderiam causar a degradação (dessecação ou ressecamento) do tecido orgânico, alterando as condições de condução deste tecido. Após a ocorrência de cada faísca, os capacitores eram descarregados antes da repetição do processo.

O experimento iniciava-se a partir da maior distância entre eletrodo e tecido para a qual era possível se obter a faísca elétrica para a tensão máxima fornecida pelo gerador de tensão. Com avanços de 25  $\mu\text{m}$  do eletrodo em direção ao tecido foram medidas as tensões de deflagração da faísca (“Tensão de Breakdown”, quando o meio torna-se condutor e a faísca pode se desenvolver). O registro da tensão foi obtido imediatamente após a primeira faísca para cada uma das polaridades entre eletrodo ativo e passivo, variando-se entre os experimentos a distância entre eletrodos. O experimento era encerrado quando ocorria o contato do eletrodo com o tecido, fato facilmente observado no osciloscópio.

Um experimento realizado com dois eletrodos esféricos e metálicos (aço-inox) iguais e de diâmetros de 4,5 mm foi realizado para referência e está ilustrado na figura 2. Observa-se que as tensões necessárias para a deflagração da faísca são iguais para ambos os sentidos, como esperado. O mesmo não acontece para os casos de eletrodo esférico e outro plano ou um eletrodo esférico e tecido orgânico.

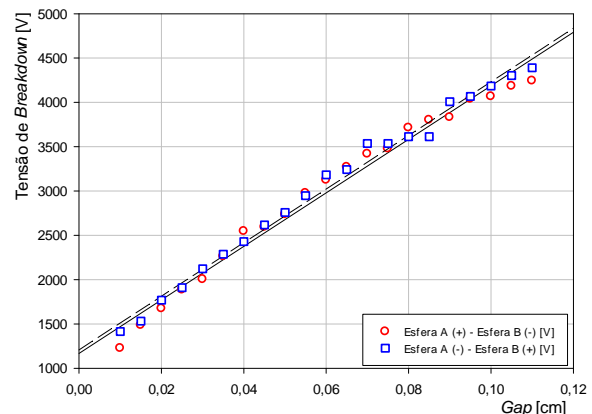


Figura 2: Experimento entre eletrodos esféricos de 4,5 mm de diâmetro. Para esta simetria entre eletrodos, não há assimetria em tensão. Os círculos representam as tensões de quebra de rigidez dielétrica para a esfera A (que representa o bisturi) quando este está positivo. O quadrado representa a quebra com a esfera A carregada negativamente.

### Resultados

Quando é utilizado o eletrodo esférico de 1,8 mm e a placa plana, ambos metálicos, uma assimetria em tensão

se torna evidente. A figura 3 também exibe o resultado para esta situação (pontos redondos).

A faísca elétrica ocorre mais facilmente quando o eletrodo estava mais negativo do que a placa de retorno, i.e., quando os elétrons partem da região do eletrodo de menor raio de curvatura. Esse comportamento também surge quando sobre a placa de retorno é colocado material orgânico (Figura 3, quadrados e triângulos).

As diferenças que são observadas entre os resultados obtidos quando utilizado placa metálica, chuchu ou carne de porco devem-se também às condições da superfície do material e as irregularidades superficiais, alteram a tensão de ocorrência da faísca para um mesmo *gap*. A umidade relativa do ar também influencia na tensão de faiscância. Em dias mais úmidos, a tensão, para os mesmos *gaps*, foi menor [7]. A figura 3 exibe os gráficos obtidos com a utilização da placa plana metálica (placa de retorno), do chuchu e da carne de porco, para tensão de deflagração de faíscas em ambos os sentidos.

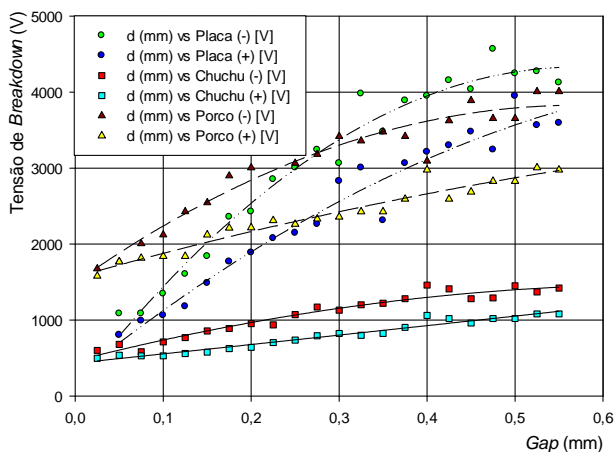


Figura 3: Gráfico que ilustra a assimetria em tensão para os três experimentos realizados. *Gap* é a distância (*d*) entre o eletrodo e a placa/tecido.

O efeito ponta [8] faz com que o campo elétrico nas proximidades do eletrodo esférico possua maior intensidade do que nas proximidades da placa de retorno, que é plana. Esta assimetria da geometria do campo elétrico ao redor de ambos os eletrodos é que provoca a assimetria em corrente em ambas as direções (para o caso sem capacitor) ou em tensão (para o caso com capacitor). Tal assimetria em tensão causa uma componente de tensão DC que é armazenada sobre o capacitor. A descarga deste capacitor é que pode causar a eletroestimulação (principalmente no caso de o cirurgião desenergizar o equipamento com a caneta ativa não conectada ao paciente. Neste caso, ao encostar novamente no paciente, há a eletroestimulação) e a presença da tensão nele armazenada sobre a interface pele eletrodo- é responsável pelas queimaduras em DC.

## Discussão

O que caracteriza a quebra de rigidez dielétrica do meio é o desenvolvimento, entre eletrodos, de um fino canal ionizado por onde a faísca elétrica se desenvolve. Este fino canal ionizado é criado pelo movimento de elétrons na direção do anodo e pelo movimento de íons positivos na direção do catodo. Porém, a velocidade de deriva dos elétrons é da ordem de mil vezes maior do que à de um íon [9]. Quando o eletrodo esférico está negativo, os elétrons que iniciam o processo de avalanche são fortemente acelerados pelo campo mais intenso nas proximidades da ponta esférica, sofrem sucessivas colisões e ionizam intensamente esta região mais próxima da esfera. Na inversão de polarização, é a placa que fica negativa e os elétrons que iniciam a avalanche encontram-se na região onde o campo elétrico é menos intenso e o número de elétrons e íons produzidos pela ionização é menor. Para um mesmo campo, a ionização de um caminho que possibilite a faísca leva mais tempo quando o elétron produz o efeito avalanche da placa para o eletrodo esférico e menos tempo no sentido contrário. Para uma mesma distância entre eletrodos, um campo elétrico menor é necessário para produzir a faísca eletrônica no sentido eletrodo-esfera para a placa do que no sentido inverso. Esta é a causa da assimetria. A figura 4 mostra a ionização, levando em conta a densidade de campo elétrico devida à geometria dos eletrodos, para as duas polarizações descritas.

Os dados obtidos através do experimento descrito até aqui concordam com experimentos realizados em AC, onde a assimetria em tensão também foi observada [5]. O registro da tensão elétrica no tempo, registrado durante a execução do corte eletrocirúrgico, utilizando-se como carga o chuchu, para uma frequência aproximada de 230 kHz, usando equipamento desenvolvido em nosso laboratório [10], é mostrado na figura 5. Pode-se observar o deslocamento vertical da curva em relação ao zero, e que 500 volts foram suficientes para faiscar (sentido eletrônico) do eletrodo ativo para o tecido orgânico e 700 V para o sentido contrário, aproximadamente, gerando uma componente dc de aproximadamente 200 V. Se não houvesse o capacitor no circuito do paciente, a assimetria estaria na corrente. Esta componente fica armazenada no capacitor de proteção e fica disponível também na interface placa-paciente, onde pode causar a queimadura eletroquímica potencializada pelo gel ou causar a eletroestimulação quando o eletrodo ativo toca o paciente após o eletrodo ter sido retirado do tecido orgânico ainda energizado.

## Conclusão

A diferença de geometria é um fator que influencia na assimetria entre as tensões de deflagração de faíscas para sentidos opostos de um par de eletrodos que não

seja de mesma geometria e mesmo material. Como as tensões são diferentes, em valores absolutos, para diferentes materiais, outros fatores também devem influenciar e mais investigação deve ser feita. Desta forma o desenvolvimento da avalanche de elétrons proposto pelo modelo de *Townsend* ocorre com maior facilidade quando o elétron semente parte da região mais intensa do campo elétrico, o que promove a ionização do meio de forma mais eficiente e melhor distribuída no gap, podendo a faísca se originar para um valor de tensão inferior. Os resultados assim obtidos concordam com experimentos anteriormente realizados em AC [5].

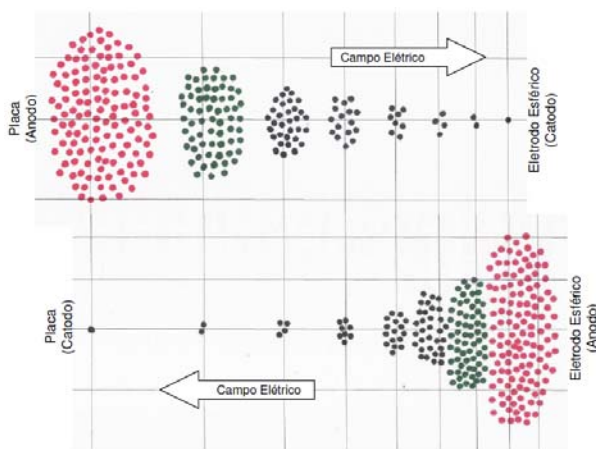


Figura 4: Esquema do caminho ionizado pela avalanche de elétrons. Quando a placa é o anodo a distribuição dos elétrons permite a faísca elétrica em uma menor tensão, ou menor tempo para uma mesma tensão.

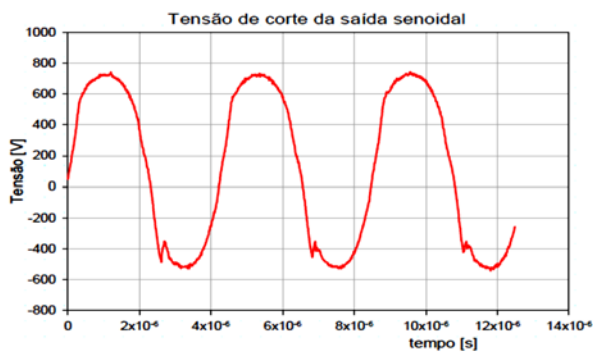


Figura 5: Gráfico da tensão pelo tempo que mostra a assimetria em experimento realizado em AC. A senóide está deslocada verticalmente para cima. O que indica uma componente DC na tensão.

### Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelas condições oferecidas para a realização destes experimentos. Agradeço à Fundação

Araucária pela bolsa que me mantém estudando e pesquisando.

### Referências

- [1] Schneider JR., B. Abatti, P. J., Desenvolvimento de um Equipamento Eletrocirúrgico com Saída não Chaveada. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 21, n.1, p. 15-24, abril 2005.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Série de normas NBR IEC 60601-2 “Requisitos particulares de segurança em Equipamento Eletromédico”. Rio de Janeiro.
- [3] Schneider Jr., B. ; Abatti, P. J. . Electrical Characteristics of the Sparks Produced by Electrosurgical Devices. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 55, p. 589-593, 2008.
- [4] Leeming, M.N., Ray Jr., C. e Howland, W.S., 1970, Low-voltage Direct current Burns, p1681-1684, J. Am. Med. Assoc., nov. 30, 1970, V214, N9.
- [5] Schneider JR., B. Estudo Teórico-prático de Parâmetros Técnicos e Fisiológicos Utilizados em Eletrocirurgia, Visando a Otimização do Desenvolvimento e Performance de um Bisturi Eletrônico. Tese de Doutorado, Curitiba, PR. UTFPR, 2005.
- [6] Webster, J. G., (1988), "Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation", 1988, Vol.2, John Wiley & Sons, p1180-1203.
- [7] Dias Jr., E. Caracterização da Deflagração da Descarga Eletrocirúrgica. Dissertação de Mestrado, Curitiba, PR. UTFPR, 2009.
- [8] Sears, F.W. & Zemansky, M.W., "Física, Eletricidade, Magnetismo e tópicos de Física Moderna", Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., (primeira ed. de 1970), 1980.
- [9] Wagennars, E. Plasma Breakdown of Low-Pressure Gas Discharge. Technische Universiteit Eindhoven – Proefschrift, 2006.
- [10] Bernardi., R. Desenvolvimento De um Equipamento Para Estudo de Eletrocirurgia Com Controle De Potência Ativa. Dissertação de Mestrado, Curitiba, PR. UTFPR, 2007.