



ADEQUAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PILOTO MULTIFUNCIONAL DE MICRO-ONDAS NA GERAÇÃO DE PLASMA PARA APLICAÇÕES EM PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

Bruna Faviero¹; Antonio Marsaioli Jr²; Michele Nehemy Berteli

Nº 17212

RESUMO – Plasmas não-térmicos podem inativar micro-organismos, incluindo esporos bacterianos, a temperaturas ambiente ou moderadamente elevadas. O objetivo do estudo foi a configuração de um equipamento piloto multifuncional de micro-ondas para a geração e aplicação de plasma. Foi adequada uma unidade de geração de plasma por micro-ondas através da configuração da unidade provedora de micro-ondas para a sua transmissão na forma de onda monomodal e da instalação de um aplicador para a conversão do gás em plasma. A adequação contemplou a aplicação via tratamento remoto, ou seja, o tratamento ocorre fora do aplicador onde é gerado o plasma, através do fluxo dos elementos formados no plasma. Foram aplicados tratamentos remotos por plasma de argônio em bioindicadores com suspensão de células de *Staphylococcus aureus* ATCC2593 (desenvolvidos pelo Labtermo). Os bioindicadores foram posicionados em uma caixa acrílica, localizada próxima à saída do aplicador de geração do plasma, conectada a este por uma mangueira. As condições usadas na geração de plasma foram: sistema monomodal com onda viajante, $P= 500W$, com ajuda do incitador de campo elétrico, e vazão de argônio de 7,5 litros/min.. Após o início do plasma a potência foi reduzida para 200W, com indicação de 80 a 100 W de potência refletida. Os tempos de tratamento dos bioindicadores foram de 10 s e 60 s, resultando em 0,67 e 1,33 reduções decimais de *S. aureus*, respectivamente. Durante os testes foi verificado que o fluxo dos elementos gerados pelo plasma na entrada da caixa acrílica apresentou temperaturas de cerca de 65°C.

Palavras-chaves: plasma não térmico, micro-ondas, argônio, tratamento remoto, bioindicadores.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia de Alimento, FEA/UNICAMP, Campinas-SP; brunafaviero@gamil.com

2 Colaborador, Pesquisador do Instituto de Tecnologia de Alimentos, GEPC/ITAL, Campinas-SP.

3 Orientadora: Pesquisadora do Instituto de Tecnologia de Alimentos, GEPC/ITAL; berteli@ital.sp.gov.br.



ABSTRACT – *Non-thermal plasma can inactivate microorganisms, including bacterial spores, at ambient temperature or moderately elevated temperatures. The aim of the study was to configure a pilot multifunctional microwave equipment for the generation and application of non-thermal plasma. It was provided the microwave plasma generation through the microwave transmitting unit for the monomodal configuration and the installation of an applicator for the conversion of the gas into plasma. The suitability contemplated the remote treatment, that is, the treatment takes place outside the applicator where the plasma is generated, through the flow of elements formed in the plasma. Remote treatments by argon plasma were applied in bioindicators with *Staphylococcus aureus* ATCC2593 cell suspension (developed by Labtermo). The bioindicators were placed in an acrylic box, located near the exit of the plasma generation applicator, connected to it by a hose. The conditions used for the generation of plasma were: monomodal system in the configuration of traveling wave, transmitted power (P) = 500W, with the aid of the external electric field inductor, and argon flow of 7.5 liters / min. After the plasma was initiated the transmitted power was reduced to 200W, with indication of 80 to 100 W reflected power. The treatment times of the bioindicators were 10 s and 60 s, resulting in 0.67 and 1.33 decimal reductions of *S. aureus*, respectively. During the tests it was verified that the flow of the elements generated by the plasma showed temperatures of about 65 °C at the acrylic box entrance.*

Keywords: nonthermal plasma, microwave, argon, remote treatment, bioindicators.

1 INTRODUÇÃO

A atual demanda comercial, baseada em sustentabilidade, qualidade, acessibilidade e segurança alimentar, impulsiona um alto investimento de esforços nos ramos da cadeia de abastecimento alimentar, relacionados à melhoria de sua eficiência e sustentabilidade. Neste panorama, incentiva-se o desenvolvimento de alternativas melhoradas aos processos alimentares tradicionais (SUROWSKY et al., 2014).

Os processos não-térmicos para a preservação de alimentos resultam da demanda dos consumidores por alimentos de alta qualidade, minimamente processados com características frescas e sem aditivos (LADO & YOUSEF, 2002). Hati, et al., 2012, citam que durante o processamento não-térmico, a temperatura dos alimentos é mantida abaixo da temperatura normalmente utilizada no processamento térmico, portanto, o declínio na qualidade dos alimentos é mínimo. Além da preservação, as tecnologias não-térmicas necessitam obter um nível de



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

segurança igual ao de um processo térmico ou, preferencialmente, melhorado. Ainda de acordo com os autores, as técnicas não-térmicas são efetivas para inativar as formas vegetativas de bactérias, leveduras e fungos, mas esporos bacterianos e a maioria das enzimas não são completamente inativados. Entretanto, os tratamentos por plasma não térmicos - PNT, de acordo com suas condições operacionais, podem inativar tanto as células vegetativas quanto os endosporos bacterianos.

De acordo com Bundaleska et. al. (2014), as tecnologias baseadas em plasmas permitem o controle externo da temperatura do plasma, o uso de várias opções de gases, desde os inertes até os altamente reativos, o que pode, dessa forma, beneficiar a qualidade e aplicação dos processos em questão, entre outros fatores. Ainda segundo os autores, as técnicas de plasma são usualmente processos “limpos” onde não ocorre a emissão de gases poluentes na atmosfera, como nas técnicas convencionais, de modo que o balanço global de emissão de CO₂ pode ser reduzido a zero se a eletricidade for proveniente de fonte de energia renovável.

O plasma, considerado por Langmuir em 1927 como o quarto estado da matéria (GUGLIOTTI, 2001), pode ser definido como um gás neutro ionizado (MOREAU et. al., 2008). Segundo Niemira & Gutsol, 2011, à medida que os materiais adquirem energia, eles mudam de estado, de sólido (energia mais baixa) para líquido e depois de gás. Em energias extremamente elevadas, a matéria passa por uma transformação adicional em um plasma, o "quarto estado" da matéria. Ainda segundo os autores, no sentido mais amplo, plasma é um gás ionizado que consiste em moléculas neutras, elétrons, íons positivos e negativos, com as concentrações de cada um equilibrando-se, de modo que o plasma seja eletricamente neutro no geral. É necessário aplicar uma energia significativa para criar plasma a partir de gases ou líquidos normais. Essa energia pode ser transmitida como calor, eletricidade, radiação, compressão adiabática rápida, luz laser ou por outros meios. A energia é retida pelo plasma por algum período de tempo definido e a quantidade de energia que um determinado volume de plasma contém está relacionada à sua composição química, densidade e temperatura. De acordo com os autores, do ponto de vista técnico, os diferentes componentes do plasma (elétrons, íons e moléculas neutras) podem apresentar temperaturas diferentes, que são diferentes níveis de energia. Em plasmas extremamente quentes resultantes de reações termonucleares, as temperaturas são tão altas (milhões de Kelvins) que todos os átomos estão completamente ionizados, sendo denominados como plasmas totalmente ionizados. Plasmas não totalmente ionizados são geralmente divididos em duas classes: plasmas térmicos, de "equilíbrio", e plasmas não-térmicos, de "não-equilíbrio". Em plasmas térmicos, por exemplo os arcos de soldagem e raios, a temperatura de todos os



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

componentes é suficientemente alta (cerca de $1 \text{ eV} \approx 11.600 \text{ K}$) que todas as partículas estão em equilíbrio termodinâmico e a energia não é transferida entre as partículas. Em contraste, em plasma não térmico, por exemplo os sinais de néon, televisores de plasma, a energia média (elétrons) é muito maior do que a das partículas pesadas (moléculas e íons) que compõem o resto do plasma. Isso significa que os elétrons podem transferir parte de sua energia para as partículas pesadas com cada colisão, resultando em excitação da partícula pesada. Essas partículas excitadas são muito reativas e emitem luz na faixa visível e/ou UV. O espectro e a intensidade da emissão de luz dependem da energia do plasma e da composição química.

A utilização de micro-ondas como fonte de geração de plasma é considerada excelente. (Purevdorj et. al., 2002). A necessidade energética para a geração por micro-ondas é considerada pequena. Isso se deve ao fato dos elétrons estarem sujeitos à ação do campo magnético, o que faz com que a frequência angular dos elétrons aumente até atingir o nível de excitação. Isso ocorre porque o campo magnético externo aplicado é perpendicular ao campo elétrico das micro-ondas, o que força os elétrons a assumir uma trajetória circular ou helicoidal. Nesse estado, a energia necessária para manter ou gerar o plasma deve ser mínima (Chau et. al. 1996).

Além do controle da temperatura, é possível ter alguma predição sobre os elementos formados de acordo com o gás utilizado para a geração do plasma. Se há algum contato do gás do plasma com o ar atmosférico, ou até mesmo a utilização intencional de gás atmosférico, é esperada a formação de espécies reativas de nitrogênio e de oxigênio (GAROFULIC et. al. 2015), produzidas devido às colisões entre elétrons, átomos e moléculas (SUROWSKY et al., 2014).

Os mecanismos de ação do plasma na inativação ou morte de micro-organismos são mais dependentes dos compostos formados do que da natureza dos substratos a serem tratados. A membrana celular pode interagir com os radicais livres, com as partículas carregadas e com as espécies reativas formadas (NIEMIRA e GUTSOL, 2011).

A interação entre o substrato a ser tratado e o plasma não térmico pode ser dividida em três diferentes grupos. O primeiro grupo engloba o tratamento remoto, no qual um fluxo dos elementos gerados do plasma é induzido e não há contato direto entre o plasma e a superfície a ser tratada. Em relação às outras categorias, o primeiro grupo é o que contém concentração menor de moléculas reativas capazes de interagir com os micro-organismos de interesse. O grupo dois refere-se ao tratamento direto da amostra com o plasma gerado. Ele é diretamente aplicado ao sistema por fontes em modo pulsante. O terceiro grupo caracteriza os sistemas nos quais o produto a ser tratado entra em contato direto com um dos eletrodos geradores do plasma, ou até mesmo



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

funciona como um eletrodo. A intensidade de ação dos compostos reativos é a maior possível no último grupo citado. A descarga em barreira dielétrica é um exemplo prático dessa categoria. Deve-se inclusive ter cautela para a escolha do material a ser tratado por esse método, visto que há susceptibilidade a danos (NIEMIRA e GUTSOL, 2011).

Produtos frescos industrializados podem apresentar uma alta carga microbiana devido à inviabilidade de tratamento térmico ou outros tratamentos tradicionais, como a cura ou a acidificação, que prejudicariam a qualidade sensorial do alimento. Como exemplo de produto que possui tal preocupação por parte da indústria, é possível citar os vegetais minimamente processados. Em um estudo desenvolvido por Lee et. al. (2015), não foi registrado nenhum efeito notável do pH ou da atividade de água dos alimentos na eficácia do tratamento antimicrobiano realizado por plasma gerado por micro-ondas.

De acordo com Kayes et al., 2007, a segurança alimentar é a maior preocupação de todos os setores da indústria de alimentos e muitas pesquisas tem como foco a destruição de micro-organismos em alimentos frescos, não destinados ao cozimento. A qualidade destes alimentos é de extrema importância, de modo que os processos aplicados devem ser eficazes na destruição de micro-organismos sem resultar em alterações inaceitáveis nas propriedades físicas e organolépticas dos mesmos. Os autores conduziram um estudo que avaliou a eficiência na aplicação de plasma na inativação de bactérias patogênicas de importância em alimentos, tais como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Salmonella Enteritidis*, entre outras, e verificaram que o tempo de exposição, o pH do meio de cultura, a temperatura de incubação e a idade da cultura afetaram a sobrevivência de todos os micro-organismos expostos ao plasma. Ainda segundo os autores, não foram observadas diferenças significativas entre os patógenos gram-positivo e negativo, mas uma maior resistência do *B. cereus*, formador de esporos, em relação às formas vegetativas ao plasma; os mesmos concluíram que o tratamento por plasma pode ser aplicável em processos de alimentos como meio de reduzir a contaminação de alimentos e superfícies de contato com bactérias patogênicas.

O objetivo deste estudo foi a adequação de um sistema processador piloto multifuncional por micro-ondas, frequência 2,45GHz, para a geração de plasma não-térmico e aplicação através de tratamento remoto, ou seja, a partir de fluxo dos elementos formados no plasma.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Unidade de geração de plasma por micro-ondas para aplicação em tratamento remoto

A partir do sistema processador piloto multifuncional por micro-ondas foi adequada uma unidade de geração de plasma por micro-ondas para a aplicação em tratamento remoto. A unidade de geração de plasma por micro-ondas é composta por um sistema de geração de micro-ondas, um aplicador para a geração de plasma, um sistema provedor de gás, no caso argônio, e uma caixa acrílica, 14,7 cm x 14,7 cm e 8 cm de altura, conectada ao aplicador de plasma para o tratamento remoto de bioindicadores pelos elementos formados pelo plasma.

O sistema de geração de micro-ondas na frequência de 2,45 GHz é composto de fonte de alimentação de tensão e corrente para o gerador de micro-ondas do tipo magnetron, com trechos de guias de onda em alumínio de seção retangular padrão WR284. Faz parte ainda do sistema, um circulador de desvio da micro-onda refletida para proteção do magnetron, um sintonizador de 3 tocos para o casamento de impedâncias, um acoplador bidirecional ligado a dois medidores de potência de micro-ondas analógicos (Dual Directional Power Monitor - GA3004-3F) para a leitura das potências transmitida e refletida.

Um aplicador de micro-ondas universal “Downstream Plasma Applicator”, modelo GA6101 da Gerling Applied Engineering, Inc. para ligação ao guia de ondas foi instalado para permitir tratar gases de modo contínuo visando a geração de plasma. Foi instalado um sistema provedor de gás (White Martins) a partir de um cilindro de 10 m³ tipo T, de gás argônio (pureza 4.8), partindo-se de uma estação pré-redutora de pressão na cabeça do cilindro e seguindo até outra estação secundária redutora de pressão junto a um fluxômetro (0 a 25 litros/min), nas proximidades do aplicador de micro-ondas para geração de plasma. O critério para a escolha inicial do argônio baseou-se na frequência maior com que este gás comparece na literatura das pesquisas que tratam das aplicações de plasma no processamento de alimentos. A ligação da tubulação de gás de ¼ pol. na entrada do aplicador de micro-ondas foi feita pela sua parte superior, com a possibilidade de acesso de um incitador de campo elétrico ao aplicador (BD-10A High Frequency Generator, Electro Technic Products), baseado no princípio da bobina de Tesla. A presença do incitador é justificada pois, para iniciar o plasma pode ser necessário um campo elétrico externo. Nesta configuração, o gás tratado por micro-ondas gera o plasma no interior do aplicador. O gás atravessa continuamente o aplicador contido em um tubo de quartzo, posicionado no centro do aplicador de micro-ondas.

Com o desenvolvimento do plasma seus elementos resultantes são conduzidos pela parte inferior do aplicador, a partir da mangueira plástica. Um banho de temperatura constante (Marconi), conectado a uma bomba peristáltica, dotado de refrigeração é usado para circular água na câmara envoltória do aplicador de micro-ondas.

Para a geração do plasma, baseado em testes preliminares, foi adotada a configuração do sistema monomodo, a partir de onda viajante, com posicionamento no final do guia de onda de uma peça composta por uma carga de água. Nesta configuração, as micro-ondas não absorvidas pelo argônio no aplicador são então absorvidas pela água, resultando em uma propagação em uma única direção no guia de onda. A vazão da carga d'água é medida por um rotâmetro instalado na linha de água.

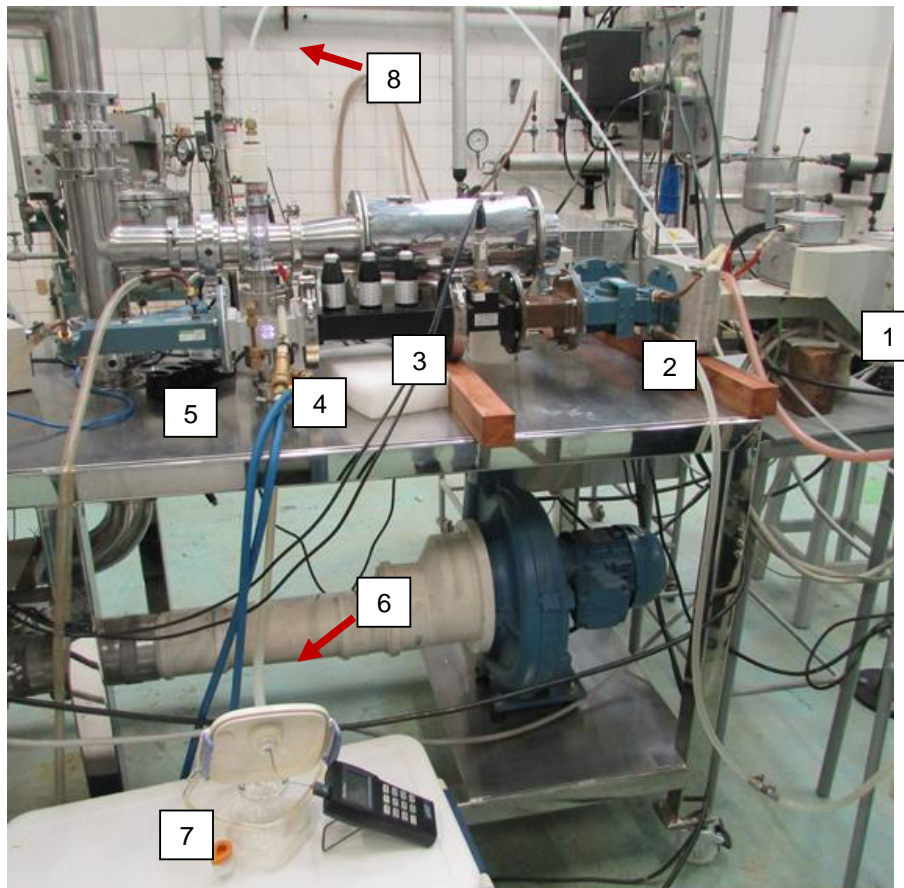


Figura 1 – Unidade de geração de plasma por micro-ondas para tratamento remoto: [1] gerador de micro-ondas; [2] circulador de desvio das micro-ondas refletidas; [3] sintonizador de 3 tocos; [4] aplicador de micro-ondas para geração de plasma; [5] carga d'água; [6] mangueira plástica de transporte dos elementos gerados pelo plasma; [7] caixa acrílica para tratamento remoto de superfícies; [8] tubulação de gás de argônio até o aplicador de geração de plasma.

A Figura 1 apresenta uma visão geral da unidade geradora de plasma por micro-ondas. Na situação representada pela Figura 1 um termopar foi inserido na mangueira para leitura da temperatura do fluxo de elementos gerados pelo plasma. A Figura 2 apresenta em detalhe a caixa acrílica de tratamento remoto, enquanto a Figura 3 o aplicador de geração de plasma por micro-ondas, cujo plasma pode ser visualizado pela parte luminosa dentro do aplicador de micro-ondas.

No centro da caixa acrílica foi posicionado um suporte de vidro de 5,5cm de altura para aproximar os bioindicadores da mangueira de transporte dos elementos gerados no plasma.

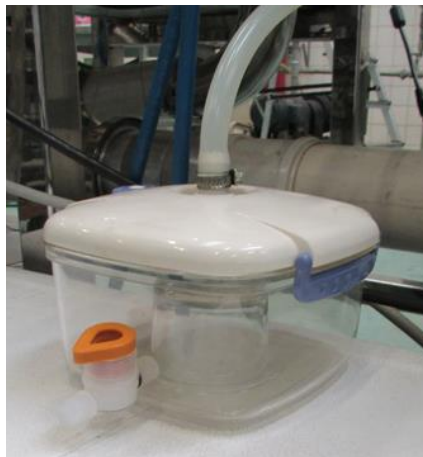


Figura 2 – Caixa acrílica conectada à mangueira de transporte do fluxo de elementos gerados pelo plasma para tratamento remoto de superfícies.

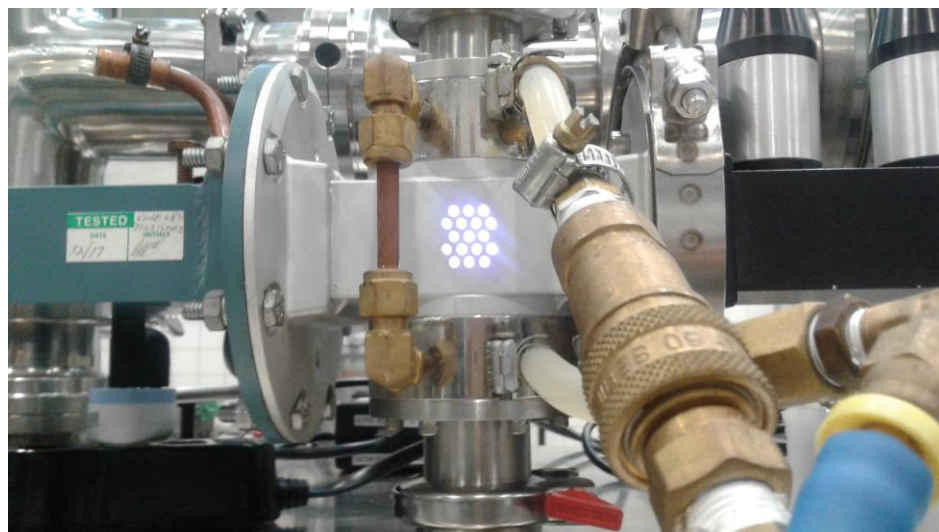


Figura 3 – Aplicador de micro-ondas durante a geração de plasma não térmico.



2.2 Geração de PNT de argônio para tratamento de bioindicadores

Na unidade geradora de plasma descrita acima foram levantadas as condições favoráveis para a geração de plasma em relação em relação à potência de micro-ondas e vazão de gás de argônio. A potência de micro-ondas disponível para a geração de plasma foi monitorada pelos dois wattímetros presentes no sistema de geração de micro-ondas, um indicando a potência transmitida e outro a refletida, e a vazão do argônio foi monitorada pelo fluxômetro presente no sistema provedor de gás. Durante os testes, foi verificada a necessidade do uso do incitador de campo elétrico para iniciar a geração de plasma.

Os bioindicadores utilizados nos tratamentos remotos foram desenvolvidos pelo Labtermo, baseados na referência de Purevdorj (2002). Foram utilizados bioindicadores de polipropileno (6mm de diâmetro interno para inoculação e 13mm de diâmetro externo), esterilizados em autoclave a 121°C/15min antes da inoculação. Em cada bioindicador foram inoculados 100 microlitros de suspensão de células vegetativas de *Staphylococcus aureus* ATCC2593 e diluída até cerca de 10⁸UFC/ml. Foi realizada a contagem da suspensão inoculada e a contagem da suspensão no bioindicador antes da secagem, utilizando como meio de subcultura o BHI Agar (Difco), com incubação a 35°C/48h. A secagem foi realizada em estufa bacteriológica, previamente sanitizada com solução de ácido peracético a 0,03% (v/v) por 30min. O tempo total de secagem aplicado foi de 18h a 35°C e, durante este tempo os bioindicadores foram alocados em placas de Petri estéreis com tampa semi-aberta. Decorrido este período, as placas com bioindicadores foram fechadas e 2 deles foram conduzidos a enumeração da população inicial impregnada nos mesmos, utilizando como meio de subcultura o BHI Agar (Difco), com incubação a 35°C/48h.

Os bioindicadores foram levados para a planta piloto do GEPC para serem submetidos ao tratamento por PNT. Posicionados nas placas de Petri estes foram inseridos na caixa acrílica, também previamente sanitizada com ácido peracético. Antes do posicionamento dos bioindicadores foi iniciada a geração de PNT. Após cerca de 5 minutos do início da geração do PNT, a tampa da caixa acrílica foi parcialmente aberta para a introdução das placas com os bioindicadores sobre o suporte de vidro, e então imediatamente fechada. Deu-se início então aos tratamentos por PNT. Em cada placa foram alocados 2 bioindicadores (replicata), sendo que cada um destes ficou a 25mm da borda da placa. Os bioindicadores 1 e 2 foram submetidos ao tratamento por 10s e os bioindicadores 3 e 4, por 1min.



Figura 4 – Placas de Petri com bioindicadores de *S. aureus*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em estudos preliminares foram testadas duas configurações de sistema de geração em monomodo, a partir de onda estacionária, ou seja, com um curto móvel posicionado no final do guia de onda, e por onda viajante no guia de ondas, a partir da substituição do curto móvel por uma carga de água no final do mesmo. A geração de plasma ocorreu com a configuração por onda viajante, que foi então a adotada na continuação do estudo.

Durante os tratamentos dos bioindicadores por PNR, no início da geração do plasma, após um período de circulação de argônio na linha, com vazão de 7,5 litros/min, a unidade geradora de plasma foi testada com valores de potências transmitidas gradativas, de maneira a se estabelecer a potência inicial mínima para geração do plasma, com e sem o uso do incitador externo de campo elétrico. Observou-se que o plasma foi gerado a uma potência transmitida de 500 W, com uso do incitador. A potência transmitida foi sendo reduzida até o valor de 200W, com indicação de 80 a 100 W de potência refletida. Estabelecidas estas condições as placas com os bioindicadores foram posicionadas na caixa acrílica para o tratamento por plasma. Após a retirada dos bioindicadores, foi inserido na mangueira de transporte um termopar para a leitura das temperaturas do fluxo de elementos gerados pelo plasma, cujos valores ficaram na faixa de 65°C. Este valor mostra que os resultados do tratamento dos bioindicadores podem ter influência do efeito térmico, juntamente com o do plasma.

De acordo com os resultados microbiológicos avaliados pelo Labtermo, verificou-se que o tratamento de PNT equivalente a 10s de exposição causou 0,67 reduções decimais, em média,



sobre a população de *S.aureus* ATCC2593. Já o tratamento de 1min proporcionou em média 1,33 reduções.

4 CONCLUSÕES

Foi efetuada uma adequação de um sistema processador por micro-ondas multifuncional para uma unidade de geração de plasma por micro-ondas para aplicação por tratamento remoto. Foram estudados as condições para geração de plasma de argônio e o tratamento de bioindicadores inoculados com suspensão de células vegetativas de *Staphylococcus aureus* ATCC2593. As condições usadas na geração de plasma foram: sistema monomodal com onda viajante, P= 500W para iniciar o plasma, com ajuda do incitador de campo elétrico, e vazão de argônio de 7,5 litros/min.. Após o início da geração de plasma a potência foi reduzida para 200W, com indicação de 80 a 100 W de potência refletida. Os tempos de tratamento dos bioindicadores foram de 10 s e 60 s, resultando em 0,67 e 1,33 reduções decimais de *Staphylococcus aureus*, respectivamente. Entretanto, durante os testes verificaram-se temperaturas de cerca de 65°C no fluxo dos elementos gerados pelo plasma na entrada da caixa acrílica. Como continuação deste estudo, sugere-se otimizar as condições de potência de micro-ondas e vazão de gás de argônio, de maneira a se obter um fluxo de elementos gerados pelo gás com temperaturas próximas a 40°C para eliminar possíveis efeitos térmicos nos tratamentos de superfícies de bioindicadores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP pelo financiamento do presente projeto de pesquisa.

5 REFERÊNCIAS

Chau, T. T.; Kao, K. C.; Blank, G.; Madrid, F. Microwave plasmas for low-temperature dry sterilization. *Biomaterials*, v.17, 13, p.1273-1277, 1996.

Bundaleska N.; Dias, F. M.; Lino da Silva, M.; Ferreira, C. M.; Amorim, J. Air–water ‘tornado’-type microwave plasmas applied for sugarcane biomass treatment. *Journal of Physics D: Applied Physics*, v.47, p.1-10, 2014.

Garofulic, I. E.; Jambrak, A. R.; Milosevic, S.; Dragovic-Uzelac, V.; Zoric, Z.; Herceg, Z. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Marasca (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice. *LWT - Food science and Technology*, v.62, p.894-900, 2015.

Gugliotti, M. Irving Langmuir: o milagre da ciência. *Química Nova*, v.24, no.4, p.568-572, 2001.

Hati, S.; Mandal, S.; Vij, S.; Minz, P. S.; Basu, S.; Khetra, Y.; Yadav, D.; Dahiya, M. Non-thermal plasma technology and its potential applications against foodborne microorganisms. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.36, p.518-524, 2012.

Kayes, M. M.; Critzer, F. J.; Kelly-Wintenberg, K.; Roth, R.; Montie, T. C.; Golden, D. A. Inactivation of Foodborne Pathogens Using a One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma. *Foodborn Pathogens and Disease*, v.4, p.50-59, 2007.

Lado, B.H. and Yousef, A.E. Alternative food-preservation technologies: Efficacy and mechanisms. *Microbes Infect.* 4, 433–440, 2002.

Lee, H.; Kim, J. E.; Chung, M.; Min, S. C. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. *Food Microbiology*, v.51, p.74-80, 2015.

Moreau, M.; Orange, N.; Feuilloley, M. G. J. Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination. *Biotechnology Advances* 26, p.610-617, 2008.

Niemira B. A.; Gutsol, A. Nonthermal Plasma as a novel food processing technology. *Nonthermal Processing Technologies for Food*, p.271-288, 2011.

Purevdorj, D.; Igura, N.; Hayakawa, I.; Ariyada, O. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments. *Journal of Food Engineering*, v.53, p.341-346, 2002.

Surowsky, B.; Schluter, O.; Knorr, D. Interactions of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma with Solid and Liquid Food Systems: A Review. *Food Engineering Reviews*, 2014.