



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

Natália **Pereira**¹; Antonio **Marsaioli Jr.**²; Michele Nehemy **Berteli**³.

Nº 16218

RESUMO – Estudos literários recentes apontaram que as micro-ondas têm sido associadas à tecnologia de geração de plasma não térmico, com aplicações potenciais contra os micro-organismos presentes em alimentos. Plasmas, em contraste com os processos térmicos tradicionais, podem inativar micro-organismos, incluindo esporos bacterianos, a temperaturas ambiente ou moderadamente elevadas, por tempos de tratamento curtos. O objetivo desse estudo foi a configuração e avaliação de um sistema processador de alimentos por micro-ondas multifuncional (3 kW e 2,45 GHz) na geração e aplicação de plasma não térmico. Trata-se de um equipamento com multifuncionalidades para a aplicação de micro-ondas combinada com diversas tecnologias de processos da indústria agroalimentar. Este projeto de bolsa PIBIC está vinculado a um auxílio à pesquisa que aborda a construção e avaliação do equipamento multifuncional piloto processador secador por micro-ondas, financiado pela Fapesp. Durante a execução do projeto foi constatado que ao aplicador de geração de plasma precisa ser acoplado um “kit” de resfriamento. A compra do acessório foi justificada para a Fapesp e aprovada. Entretanto, a importação do kit não foi concluída até a data da apresentação deste trabalho. As etapas realizadas abrangeram uma extensa pesquisa bibliográfica sobre aplicação de plasma em alimentos, bem como feito o acompanhamento das fases de instalação do equipamento multifuncional ao sistema gerador de micro-ondas e sua ligação à infraestrutura de serviços.

Palavras-chaves: Micro-ondas, plasma, alimentos.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP; nat.per22@gmail.com

2 Colaborador: Pesquisador do Instituto de Tecnologia de Alimentos/Grupo de Engenharia de processos, Campinas-SP;

3 Orientador: Pesquisador do Instituto de Tecnologia de Alimentos/Grupo de Engenharia de processos, Campinas-SP; berteli@ital.sp.gov.br



ABSTRACT – Recent studies shows that microwaves have been associated to the technology of generation of non-thermal plasma, with potential application against microorganisms that might be present in food. Plasmas, in contrast to traditional thermic treatments, can inactivate microorganisms, including bacterial spores, in low temperatures (ambient or moderately high), in a short period of time. The study aimed the evaluation and the setting of a microwave multi-processor system (3 kW; 2,45 GHz) that generates and applies non-thermal plasma. The multifunctional equipment delivers microwaves that can be associated to several food process technologies. For the initial setting of the device, the plasma should be led to the main cavity of the system, where the product (biological indicator) is located. The evaluation of the systems' efficiency will be performed by the analysis of the destruction of the microorganisms contained by the biological indicators after the treatment. This PIBIC project is associated to a research support that approaches the construction and evaluation of a multifunctional pilot equipment, which employs microwaves to processing or drying the product, financed by Fapesp. During the execution of the project, it was noticed that the plasma generator needed a cooling system to work properly. The acquisition of this accessory was justified and approved by Fapesp, however, the importation of the cooling system was not concluded until this present date. The project phases carried out until the present are a bibliographic research about plasma application in food process while the main equipment is still being developed, which has been helping to expand the technical knowledge of this subject.

Keywords: Microwaves, plasma, food.

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de plasma não-térmico é um emergente processo não térmico com grande potencial de aplicação em desinfecção de superfícies de alimentos, embalagens e equipamentos. De acordo com a literatura, em geral, as técnicas não térmicas são efetivas para inativar as formas vegetativas de bactérias, fungos e leveduras; entretanto, os esporos bacterianos e muitas enzimas não são completamente inativados. A exceção fica com a tecnologia de plasma-não-térmico, que pode também provocar a destruição de esporos de micro-organismos presentes nas superfícies durante o processamento de líquidos e de produtos sólidos (Hati et al., 2012).

As tecnologias tendem a se adequar aos produtos de alta complexidade que são oferecidos pelas indústrias, bem como às suas devidas restrições, tais como sensibilidade ao calor (Niemira & Gutsol, 2011). Dentre as técnicas que podem ser utilizadas, o controle bacteriano com o auxílio de



plasma pode ser aplicado a diferentes temperaturas, pressões, e diversas fontes podem originá-lo (Moreau et. al., 2008).

A esterilização por plasma possui potencial para ser uma técnica que não gera resíduos químicos tóxicos, já que não há necessidade de pré-tratamento da superfície a ser tratada com ácidos como pode ocorrer para garantir a eficácia de outros tratamentos antimicrobianos a baixas temperaturas no caso de utensílios médicos, por exemplo (Purevdorj et. al., 2002). 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 fonte para a sua geração for proveniente de energia renovável.

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.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sistema processador piloto multifuncional por micro-ondas

O sistema processador por micro-ondas multifuncional, ilustrado na Figura 1, consiste, basicamente, de uma cavidade de formato prismático com seção hexagonal [1], de construção



10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica CIIC – 2016
02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-135-6

metálica em aço inoxidável ABNT 304L, com volume aproximado de 175 litros, dotada de uma porta para carga/descarga do material a ser processado. Não dispõe de prato giratório ou de agitador de campo no seu interior, pois sua geometria foi escolhida visando direcionar a energia incidente de micro-ondas assim como as parcelas de micro-ondas refletidas pelas paredes metálicas de modo tal que suas superposições gerem uma configuração multi-modo bastante dispersa das ondas estacionárias, homogeneizando espacialmente a distribuição das intensidades do campo elétrico [2]. Neste projeto a aplicação das micro-ondas não ocorrerá na cavidade, conforme descrito na sequência. O sistema multifuncional é dotado de uma unidade geradora de ar quente para os processos de secagem híbridos assistidos a micro-ondas [3]. Neste projeto não será usado o conjunto de ar quente.

Um visor para observação, contraposto a outro para iluminação, permite acompanhar o andamento do processo. Temperaturas pontuais do material em teste podem ser monitoradas por sensores de fibra óptica que atravessam a tampa situada na parte superior da autoclave. Temperaturas médias sobre certa área do material podem ser lidas através de sensor de infravermelho instalado centralmente sobre a mesma tampa.

Para o tratamento não térmico por plasma de micro-ondas, a configuração do sistema provedor de micro-ondas será alterada no sentido de não mais serem fornecidas micro-ondas para a cavidade multi-modo, mas para outro aplicador, neste caso o tipo UWA [Universal Waveguide Applicator], através do qual as micro-ondas, agora em mono-modo e sob a forma estacionária, serão absorvidas para a formação do plasma de um gás que atravessa o UWA [2.1] (Figura 2). O gás será conduzido por uma tubulação transparente às micro-ondas, proveniente de um reservatório [5] (Fig. 2). A ponta do tubo de gás liga-se à cavidade principal, onde estará colocado o produto a ser tratado, sob baixa pressão, ou à pressão atmosférica. A pressão da cavidade principal será mantida por um regulador à saída do reservatório de gás e por uma bomba de vácuo ligada à outra tubulação, conectada à tampa principal da cavidade.

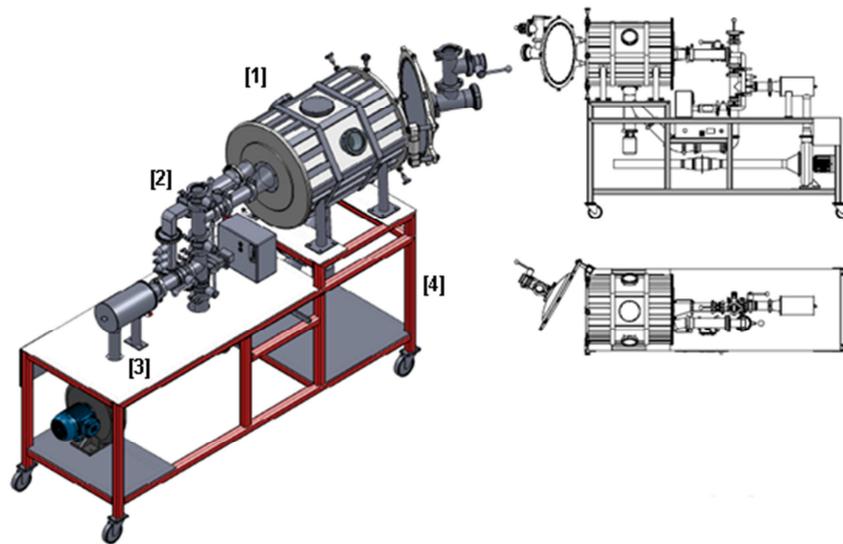


Figura 1. Sistema processador/secador por micro-ondas: [1] cavidade aplicadora de micro-ondas; [2] unidade provedora de micro-ondas – 3 kW x 2,45 GHz; [3] unidade provedora de ar quente; [4] estrutura móvel do equipamento.

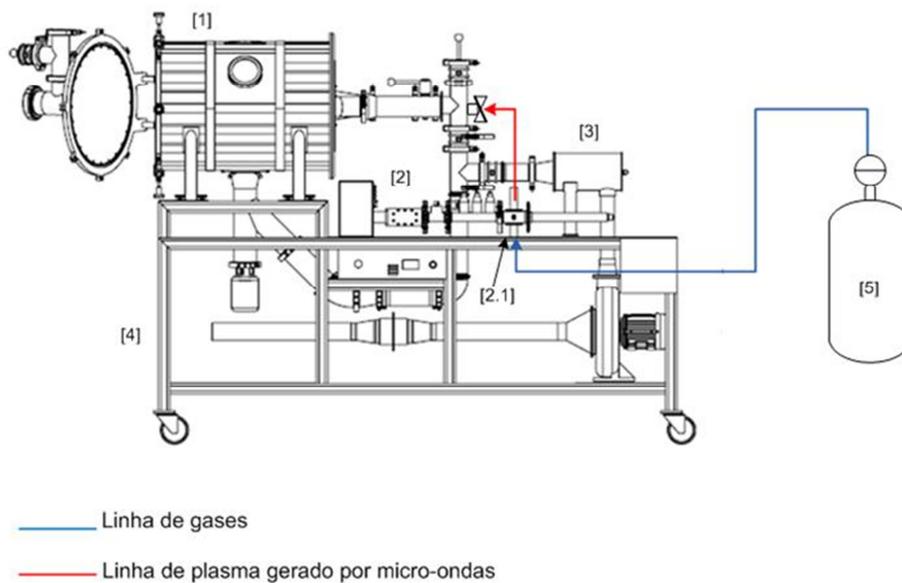


Figura 2. Aplicador em guia de onda mono modo para geração de plasma: [1] cavidade aplicadora de micro-ondas; [2] unidade provedora de micro-ondas – 3 kW x 2,45 GHz; [2.1] aplicador tipo UWA [3] unidade provedora de ar quente; [4] estrutura móvel do equipamento; [5] cilindro de gás.

Durante o desenvolvimento do projeto, aproveitando a participação do Prof. Marsaioli, responsável pelo projeto e construção do equipamento, no “49th. Annual Microwave Symposium” – San Diego - USA, foram esclarecidas algumas dúvidas a respeito da adequação da geração de plasma pelo aplicador universal UWA, modelo GA6002A, adquirido pelo projeto para a geração de plasma. Foi perguntado ao próprio Diretor da GAE, Mr. John Gerling, que afirmou ser possível a



geração de plasma no aplicador, porém não ser prudente em virtude da possibilidade de um eventual superaquecimento do aplicador por descontrole na regulagem da potência de micro-ondas para uma determinada vazão de gás ou mistura de gases. Foi então questionado ao Mr. John Gerling a viabilidade da transformação do aplicador GA6002A no modelo GA6101, mais específico para plasma, mediante a complementação do primeiro com um “kit”, próprio para o resfriamento da carcaça, uma vez que os dois modelos de aplicadores possuíam o mesmo “chassis” básico: ele não apenas confirmou a possibilidade como enviou posteriormente especificações técnicas e desenho do “kit”, acompanhadas de um orçamento. A compra deste kit foi solicitada à Fapesp na ocasião do envio de relatório parcial referente ao Auxílio, no final de dezembro de 2015, cujo parecer foi aprovado. Entretanto a importação, realizada pela própria FAPESP ainda não foi concluída, o que prejudicou o cronograma da presente pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Montagem e instalação do equipamento

O início das atividades práticas se deu com a instalação do sistema processador por micro-ondas multifuncional, Figura 3, seguido da verificação dos parâmetros de segurança necessários para o cumprimento da norma técnica. Nos protocolos de segurança quanto ao vazamento e exposição às micro-ondas, baseou-se nos parâmetros do *Center for Devices and Radiological Health* [CDRH], da *Food and Drug Administration* - FDA, que determinam que o vazamento deve ser inferior ou igual a 5 mW/cm^2 (FDA Publication #75-8003, July 1974, citado por Buffler, 1992). Para que o equipamento fosse ligado, foi necessário posicioná-lo estrategicamente próximo às fontes de energia elétrica instaladas no local, bem como a um registro de água corrente para garantir o resfriamento contínuo do gerador de micro-ondas por meio da circulação de água à temperatura ambiente. Tendo em vista a importância do controle de temperatura do sistema, é fundamental a circulação de água de forma a evitar o superaquecimento que poderia prejudicar tanto o funcionamento do processador quanto a segurança dos manipuladores. Um rotâmetro foi conectado logo antes da entrada de água de modo a permitir que a vazão de água seja medida e regulada de acordo com a necessidade de resfriamento do sistema.

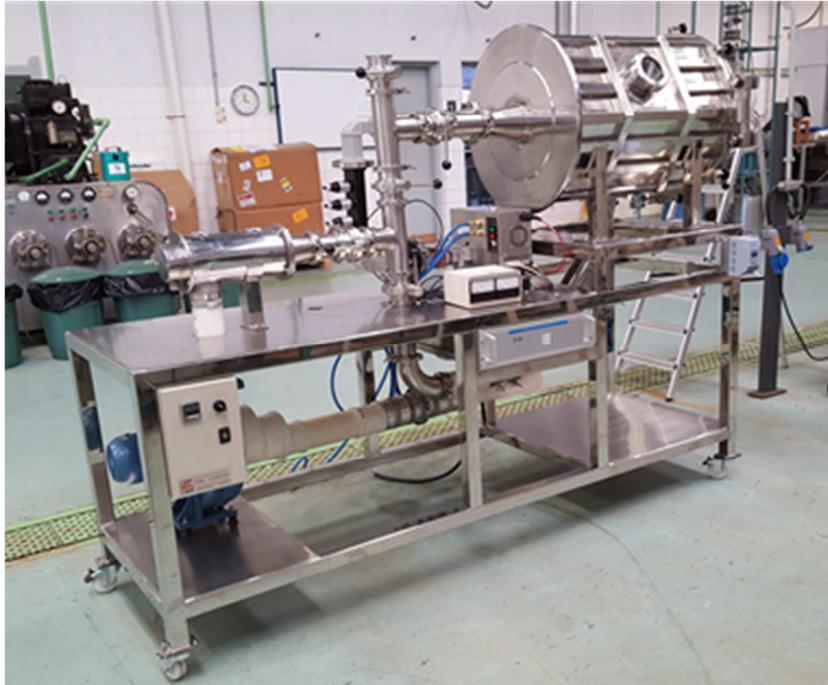


Figura 3. Equipamento piloto multifuncional em fase de instalação na planta piloto do GEPC/ITAL

Em um primeiro momento, ao tentar dar início aos testes, observou-se que o sistema processador acionava a opção "Alarme" quando a chave geral era ligada. Essa falha ocorreu devido à algum problema com a circulação de água corrente, cuja vazão era muito baixa, sugerindo alguma forma de entupimento nesse sistema. Seguindo com as verificações, notou-se que o impedimento ocorreu devido à uma simples inversão na posição das mangueiras de entrada e saída no dispositivo de resfriamento. Resolvido o problema, a vazão se normalizou e foi possível ligar o gerador de micro-ondas.

O passo seguinte consistiu na verificação e ajuste das micro-ondas emitidas e refletidas. Dentro da cavidade central, posicionou-se um béquer de vidro contendo 4,5 litros de água destilada, para que as micro-ondas geradas pudessem ser absorvidas. O gerador de micro-ondas foi então ligado em diversos valores de potência de forma crescente, e, com o auxílio de um watímetro (Dual Directional Power Monitor - GA3004-3F, com potência máxima medida de 3kV) ligado em dois pontos distintos, um referente à onda transmitida e outro à refletida, foi possível medir quanto de onda foi absorvido no sistema e sua taxa de reflexão. Para um ajuste fino, utilizou-se três pinos de um sintonizador com a função de introduzir impedâncias no sistema fazendo com que haja uma minimização das ondas refletidas.

Por fim, o vazamento das micro-ondas foi medido com o auxílio de um medidor de vazamento (Holaday HI-1501 - GA 3202). A maior preocupação em relação às falhas de vedação



foi a tampa da cavidade, na qual está instalada uma malha metálica responsável por aumentar o contato elétrico entre a tampa e a cavidade. Baseado em protocolos quanto ao vazamento e exposição às micro-ondas foi verificada a segurança do equipamento.

4 CONCLUSÃO

O presente relatório apresenta as etapas realizadas que abrangeram uma pesquisa bibliográfica sobre aplicação de plasma em alimentos e o acompanhamento das fases de instalação e de ligação à infraestrutura de serviços. O projeto acabou sendo atrasado pela necessidade de importação de um kit de resfriamento do gerador de plasma. Entretanto esta pesquisa terá continuidade e todo o levantamento feito até o momento servirá para orientação do desenvolvimento da parte experimental, assim como na ampliação do conhecimento técnico da equipe envolvida. Trata-se do primeiro projeto sobre esse tema atual e promissor desenvolvido no GEPC.

5 AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa concedida, bem como à Fapesp pelo financiamento do projeto. Agradeço também à orientadora Michele Nehemy Berteli por me permitir fazer parte do projeto e pelo auxílio ao longo desse ano de trabalho; e ao colaborador Antonio Marsaioli Jr pela orientação e auxílio nas aplicações práticas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Marsaioli, A. Jr. **Desenvolvimento de um protótipo de secador cilíndrico – rotativo a microondas e a ar quente para a secagem contínua de produtos sólidos granulados.** Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1991.



10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica CIIC – 2016
02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-135-6

5. Moreau, M.; Orange, N.; Feuilloley, M.G.J. **Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination.** Biotechnology Advances 26, p.610-617, 2008.
6. Niemira B. A.; Gutsol, A. **Nonthermal Plasma as a novel food processing technology.** Nonthermal Processing Technologies for Food, p.271-288, 2011.
7. 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.