



Utilização do aquecimento ôhmico no processamento de alimentos

Use of ohmic heating in food processing

Kamila de Oliveira do Nascimento¹, Isabela Pereira Reis², Flávia de Floriani Pozza Rebello³

Resumo - O aquecimento ôhmico é considerado uma tecnologia inovadora no processamento dos alimentos, que consiste na passagem de corrente elétrica alternada através de um alimento com a finalidade principal de aquecimento através da geração interna de energia. Esta tecnologia possui um potencial de inibição eficaz em relação ao crescimento microbiano através da distribuição de temperatura uniforme no produto. Comparando este processo ao aquecimento convencional, além do aquecimento rápido e uniforme, possui tempos de processamento mais curtos e rendimentos mais elevados, mantendo a cor e valor nutricional dos alimentos, especialmente dos que se encontram na forma líquida e dos sólidos imersos em alimentos líquidos. Entretanto, em alimentos sólidos, tais como produtos à base de carne, pode interferir nos aspectos estruturais e sensoriais do alimento, demonstrando que o método ainda precisa ser melhorado. Sendo assim, o objetivo dessa revisão de literatura foi apresentar os princípios e aplicações do tratamento ôhmico na indústria de alimentos, avaliando sua aplicabilidade no tratamento térmico e a influência das variáveis de processo sobre a qualidade dos alimentos. Conclui-se que o aquecimento ôhmico é uma técnica importante para estender a vida útil de diversos produtos alimentícios, visando principalmente o conceito de sanitização em produtos sólidos e misturas líquidas.

Palavras-chave: condutividade térmica, tecnologia inovadora, alimentos.

Abstract - The ohmic heating is considered an innovative technology in food processing, which consists of passing an alternating electric current through a food for the main purpose of heating through the internal generation of energy. This technology has the potential for effective inhibition compared to microbial growth through the uniform temperature distribution in the product. Comparing this process to conventional heating, plus rapid and uniform heating, has shorter processing times and higher yields, while maintaining color and nutritional value of food, especially of which are in liquid form and the solid immersed in liquid foods. However, at solid food, such as meat products, may interfere with the structural and sensory aspects of the food, demonstrating that the method needs to be improved. Thus, the purpose of this review is to present the principles and ohmic treatment applications in the food industry, evaluating its applicability in the heat treatment and the influence of process variables on the quality of food. Concludes that the ohmic heating is an important technique to extend the life of many food products, mainly targeting the concept of sanitation in bulk solids and liquid mixtures.

Keywords: thermal conductivity, innovative technology, food.

*Autor para correspondência

Recebido em 08/10/2014 e aceito em 14/12/2014

¹Nutricionista, Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). E-mail:

kamila.nascimento@yahoo.com.br

²Discente do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). E-mail: isabelaengalimentos@gmail.com

³Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Câmpus Inconfidentes - Inconfidentes/MG.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de aquecimento ôhmico (AO) tem sido estudada desde 1800 e, foi utilizada regularmente na primeira metade do século XIX. Entretanto, foi abandonada devido aos altos preços da eletricidade e aos efeitos de eletrólise. Já na década de 1980, foi reintroduzida por seu efeito de esterilização contínua. Desde 1990, o número de instalações comerciais tem crescido e, com o desenvolvimento consolidado dessa tecnologia, tornou-se possível a sua utilização (BANSAL et. al., 2006).

Atualmente, os equipamentos de aquecimento ôhmico em escala comercial são operados visando o processamento térmico de inúmeros alimentos, podendo ser utilizado num modo de fluxo contínuo para cozinhá-los e esterilizá-los. É possível iniciar e/ou parar o processamento térmico quase que instantaneamente. Diversos trabalhos de pesquisa já foram desenvolvidos, a fim de contribuir para a validação desta tecnologia para uso em diversas aplicações industriais em alimentos, incluindo alimentos infantis, pasteurização de suco de laranja e do leite, bem como o processamento asséptico de produtos, tais como brócolis ao molho de queijo, camarão, morangos, frango, ensopados, ou em massa de tomate, couve-flor ao molho e damascos em calda (PATARO et. al., 2014).

Apesar de estudada há bastante tempo, o aquecimento ôhmico (AO) é considerado uma tecnologia inovadora no processamento dos alimentos. Esta tecnologia emergente utiliza corrente elétrica alternada que passa diretamente através do alimento e a resistência imposta pelo alimento conduz à geração de calor no interior do produto. Quando um campo elétrico é aplicado a uma amostra, cada molécula no campo sofre uma ligeira distorção da distribuição de elétrons, chamada polarização eletrônica. Esta tecnologia é uma alternativa para o processamento térmico que permite o processamento a alta temperatura/curto tempo (ITO et. al.; MERCALI et. al., 2014).

Muitos fatores afetam a taxa de aquecimento de alimentos submetidos a aquecimento ôhmico, tais como: condutividades elétricas do fluido e partículas, calor específico, tamanho de partícula, forma e concentração, bem como a orientação de partículas no campo elétrico (ZAREIFARD et al., 2003).

Esse processo térmico produz melhores produtos, com uma qualidade superior do que aqueles tratados por meio de aquecimento convencional (ALLALI et. al., 2010). Suas vantagens em relação ao aquecimento convencional incluem uniformidade e aquecimento mais rápido, mais limpo e sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente, além de possibilitar maior rendimento e maior retenção dos nutrientes dos alimentos. Isto está relacionado, principalmente, à sua capacidade para aquecer materiais rapidamente e uniformemente levando a um tratamento térmico menos agressivo (DARVISHI et. al., 2013).

O aquecimento ôhmico contribui com 82-97% de economia de energia, reduzindo os tempos de aquecimento de 90-95% em relação ao aquecimento convencional (DE HALLEUX et. al., 2005). Estes mesmos autores sugeriram que pode ser possível obter uma eficiência superior a 90% num processo industrial se estas perdas foram controladas pelo isolamento das paredes. Além disso, é comparativamente

mais fácil de limpar um aquecedor ôhmico que trocadores de calor tradicionais, devido à baixa incrustação de produtos na superfície do aquecedor.

Sendo assim, o objetivo dessa revisão de literatura foi apresentar os princípios e aplicações do tratamento ôhmico na indústria de alimentos, avaliando sua aplicabilidade como tratamento térmico e a influência das variáveis de processo sobre a qualidade dos mesmos.

METODOLOGIA

Este trabalho abordou o tema aplicação do processo de aquecimento ôhmico em produtos alimentícios. A metodologia empregada foi o estudo exploratório-descritivo qualitativo através de pesquisa bibliográfica e da utilização de dados oriundos de publicações e resultados de pesquisas específicas sobre o assunto. Foram utilizadas diversas fontes como artigos científicos de 1991 a 2014.

REVISÃO DE LITERATURA

Aquecimento ôhmico

A tecnologia de aquecimento ôhmico não é nova e foi usada por mais de 100 anos. Durante o século XX, o uso do aquecimento ôhmico era utilizado de forma constante. Mas seu uso foi abandonado devido efeito de corrosão dos eletrodos. Ao fim do século passado essa tecnologia foi redescoberta e desde então tem se tornado o assunto de muitas pesquisas. Essa tecnologia possui uma gama de aplicações, inclusive no processo térmico de alimentos sólidos, alimentos líquidos, misturas de alimentos sólido-líquidos, carnes e legumes (STANCIL e ZITNY, 2010).

Também chamado de “aquecimento por resistência” ou “eletro-aquecimento”, (termo mais recente), é um processo no qual uma corrente elétrica alternada passa através de um alimento, por meio de eletrodos e a resistência elétrica do alimento causa a potência a ser traduzida diretamente em calor. À medida que o alimento é um componente elétrico do aquecedor, é essencial que as propriedades elétricas (sua resistência) sejam ajustadas à capacidade de aquecimento. O processo pode ser utilizado para esterilização “ultra-high temperature” de alimentos, especialmente daqueles que contém partículas grandes (até 2,5 cm), difíceis de esterilizar por outros métodos (FELLOWS, 2006).

Nesse processo, a condutividade elétrica é usada para o controle do processo, ao contrário dos processos convencionais onde a condutividade do alimento é o parâmetro de controle. A condutividade elétrica também pode ser usada como uma boa ferramenta na caracterização de produtos alimentícios, sendo que o tratamento ôhmico pode ser utilizado para pasteurização de sucos de frutas, como o de acerola (DINIZ et. al., 2003).

O princípio do AO baseia-se na passagem de uma corrente elétrica alternada através do alimento que funciona como resistência elétrica, gerando calor interno. Para tanto, é aplicada uma tensão de eletrodos, localizados nas extremidades da célula ôhmica. A geração de energia é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico local e à condutividade elétrica. Assumindo um material puramente resistivo, sendo o princípio básico que governa a

geração de calor é dada pela equação: $Q = I^2.R$; Onde Q é a quantidade de calor ou energia gerada ($J s^{-1}$); I é a intensidade da corrente elétrica que passa através da amostra (A); e R é a resistência elétrica da amostra (Ω) (MERCALI, 2013).

Segundo Ghnimi et. al. (2008) o AO é um modo muito efetivo para conversão de energia em calor na carga de trabalho. A eficiência de conversão está acima de 95%. Uma grande quantidade de energia é dissipada prontamente (>300 kW) em sistemas de fluxo contínuos.

Porém, o tratamento de calor não uniforme dos alimentos pode favorecer a recontaminação por patógenos, como também inadequada destruição microbiana, causando sérios problemas de saúde pública. Torna-se importantíssima a uniformidade e distribuição da temperatura no alimento durante o processo térmico, em particular, quando as partículas dos alimentos são esterilizadas ou asépticamente processadas. Para o aquecimento ôhmico, as condutividades elétricas idênticas do fluido e partículas sólidas serão requeridas por aquecer uniformemente, embora outras propriedades térmicas também sejam importantes (SHIM et. al., 2010).

Quando o material contém água suficiente e eletrólitos, permite a passagem da corrente elétrica, sendo que o aquecimento ôhmico pode ser usado para gerar calor dentro do próprio produto. Torna-se possível utilizar Alta Temperatura e Curto Tempo (HTST) e Ultra Alta Temperatura (UHT), aumentando a qualidade do produto final e adicionando valor aos produtos processados (KNIRSCH et. al., 2010).

Equipamento

Nas décadas recentes, a busca por um processo asséptico usado na indústria de alimentos para a pasteurização ou esterilização de produtos líquidos como leite e sucos de frutas esteve sempre em evidência. Porém, o uso desta técnica

de sanitização para alimentos líquidos com partículas sólidas, com um tamanho de partícula maior que 15 μm e concentração de 30-40 g/100 g respectivamente, eram limitadas, devido à baixa taxa de transferência de calor necessária para alcançar a esterilização, através da condução ao centro das partículas (PARARO et. al., 2011).

Devido a essas desvantagens relativas ao uso de aquecimento direto, o aquecimento ôhmico ganhou uma maior atenção por parte da indústria de alimentos, em função da possibilidade de aplicação do processo asséptico contínuo aos alimentos. No aquecimento ôhmico, o produto entra diretamente em contato com os eletrodos, agindo assim, como parte do circuito elétrico pelo qual a corrente elétrica passa através do alimento. Como consequência, o calor gerado passa pelo produto, resultado de sua resistência elétrica inerente. Assim, em misturas de alimentos líquidos, se a condutividade elétrica das duas fases é da mesma ordem de magnitude, o calor é gerado em ambas as fases à mesma ou comparável taxa. Assim, a qualidade dos produtos que passaram pelo aquecimento ôhmico é melhor em comparação ao método tradicional (PARARO et. al., 2011).

Em geral, as frequências no aquecimento ôhmico tendem a ser aquelas fornecidas pela fonte de alimentação (50 ou 60 Hz, dependendo da localização). No entanto, uma grande variedade de potenciais frequências pode ser usada (excluindo os intervalos associados com frequências de rádio ou de microondas), dependendo da natureza da aplicação e sua economia (SARKIS et al., 2013).

Jun, Sastry e Samaranayake (2007) verificaram que íons de metal como cromo, ferro, níquel e manganês minimizaram a corrosão dos eletrodos quando utilizaram uma frequência alta pelo tratamento ôhmico. Estes mesmos autores observaram também que as concentrações de todos os íons de metal migraram para as amostras alimentícias depois do aquecimento ôhmico. Assim, seriam necessários mais estudos para verificar o uso de íons metálicos e seu efeito nos alimentos.

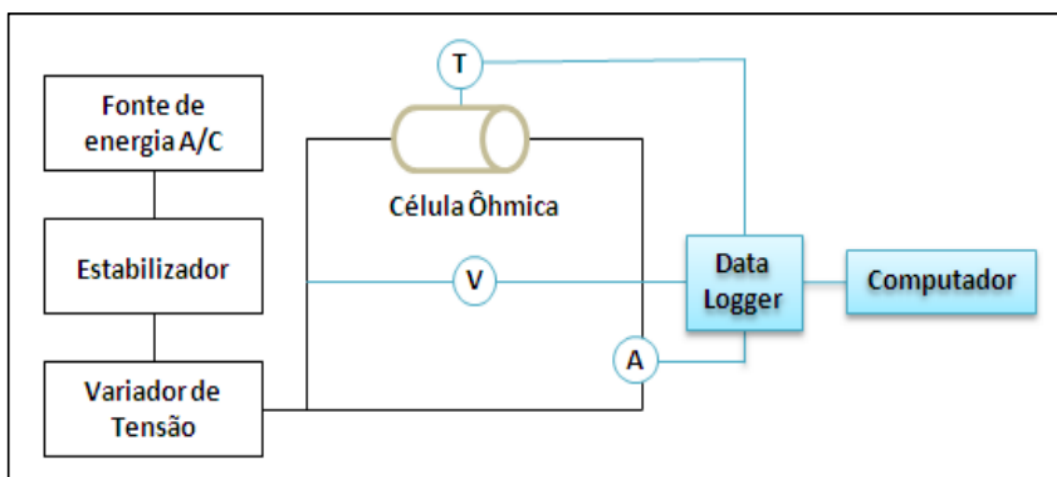


Figura 1. Esquema de aquecedor ôhmico.

Fonte: Sarkis, (2011).

Vantagens do uso do aquecimento ôhmico

As vantagens desta tecnologia incluem aquecimento uniforme e melhorias na qualidade com mínimas mudanças nutricionais, sensoriais e estruturais. Wang e Sastry (1997) estudaram os efeitos do aquecimento ôhmico e verificaram

que não ocorreu nenhuma mudança no conteúdo de umidade dos produtos processados, característica desejável para a manutenção dos aspectos sensoriais de vários produtos alimentícios que perdem umidade facilmente.

Segundo Shim, Lee e Jun (2010) a energia é dissipada quase que completamente dentro do material

aquecido, sendo que o aquecimento ôhmico possui aproximadamente 100% de eficiência de transferência de energia.

O aquecimento ôhmico apresenta, especificamente, as seguintes propriedades (FELLOWS, 2006):

- O alimento é aquecido rapidamente (1°C/s) na mesma taxa em todo alimento, e a ausência de gradientes de temperatura resulta no aquecimento uniforme de sólidos e líquidos se suas resistências forem às mesmas;
- Os coeficientes de transferência de calor não limitam a taxa de aquecimento;
- Podem ser obtidas temperaturas suficientes para o processamento UHT;
- Não existem superfícies quentes para a transferência do calor, como no aquecimento convencional; portanto, não existe risco de incrustações ou de queima do produto, resultando em uma frequência menor de limpeza;
- É adequado para líquidos viscosos porque o aquecimento é uniforme e não apresenta os problemas associados com a convecção deficiente desses materiais.

APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO ÔHMICO EM ALIMENTOS

Pesquisas utilizando o aquecimento ôhmico

O efeito da temperatura, do teor de sólidos, voltagem aplicada e tamanho das partículas sobre a condutividade elétrica de suco de laranja, tomate e cenoura, foram mostrados em trabalhos desenvolvidos por Palaniappan e Sastry (1991). Esses autores observaram que a condutividade elétrica dos sucos aumenta com a temperatura e diminuem com o teor de sólidos durante o aquecimento ôhmico (convencional), verificando que há uma relação linear entre a temperatura e a condutividade.

Elioti-Godereaux et al. (2001) estudaram a viabilidade de processar couve-flor através do aquecimento ôhmico. Esses autores verificaram ótimas condições de tratamento associadas a uma baixa temperatura de pré-cozimento da couve-flor, num fluxo alto, taxa e uma condutividade elétrica suficiente. Estes resultados realçam o interesse desta tecnologia elétrica para processar produtos prontos frágeis como a couve-flor. Um estudo semelhante com batata em cubos verificou que os produtos tratados com o aquecimento ôhmico preveniram a perda da firmeza quando comparado com o tratamento convencional.

Castro et al. (2004) compararam a inativação de diferentes enzimas com aquecimento ôhmico e com tratamento convencional. Esses autores demonstraram que a inativação pelo tratamento AO foi mais rápida que o feito pelo tratamento convencional.

Leizson e Shimoni (2005) verificaram que aquecimento ôhmico reduziu a atividade da pectinametilesterase em 98% em suco de laranja fresco. Segundo Figueiredo et al. (2001) a referida enzima é responsável por grande perda de qualidade do suco de laranja, causando redução de viscosidade, perda de turbidez e separação de fases no produto.

Segundo Burnette (2006) essa redução é importante para preservar a cor de produtos alimentícios de origem vegetal, visto que a atividade da peroxidase relaciona-se ao escurecimento do tecido.

Jakób et. al. (2010) verificaram que o aquecimento ôhmico foi útil como um método alternativo para esterilização ou pasteurização de alimentos. Também observaram que o AO pode aumentar a taxa de inativação de enzimas presentes nos alimentos, embora tenham verificado uma diminuição na estabilidade da enzima metilesterase em sucos de fruta e da fosfatase alcalina em leite.

Foi analisada a degradação de ácido ascórbico em um pH 5,7 durante o tratamento convencional e aquecimento ôhmico. A relação de Arrhenius para o aquecimento ôhmico mostrou valores negativos pelo coeficiente de temperatura (ALHUSSEIN et al., 2006).

Estudo realizado por Icier et. al. (2010) verificaram os efeitos do aquecimento ôhmico na estrutura de cortes de carne bovina descongelada. As amostras de carne foram descongeladas pelo tratamento ôhmico, verificando-se que os cortes apresentaram-se mais duros e elásticos que os descongelados pelo tratamento convencional. O gradiente de voltagem aplicado durante o descongelamento por AO foi estatisticamente significativo para textura de cortes de carne bovina nos parâmetros de dureza e elasticidade ($p < 0.05$).

Icier, Yildiz e Baysal (2010) verificaram que o aumento da temperatura pelo aquecimento ôhmico inativou a enzima polifenoloxidase (POP) durante o mesmo tempo de propriedade. O efeito de temperatura, tempo e a interação na atividade de PPO foi significativa ($p < 0.05$).

Foi estudada a eficácia do tratamento ôhmico em alguns atributos de qualidade de almôndegas semicozidas, observando-se que, além de cozinhar, o aquecimento ôhmico também reduziu significativamente o número total de bactérias aeróbias mesófilas, bolores, leveduras, *Staphylococcus aureus* e eliminou completamente *Salmonella spp* ($p < 0.05$). Entretanto, o AO não foi totalmente eficaz para inativar todas as células de *Listeria monocytogenes*. Observa-se que em relação à análise sensorial, a aceitação geral das amostras de almôndegas semicozidas foram consideradas boas (SEGUN et. al., 2014).

Guida et al. (2014) verificaram os efeitos do branqueamento convencional e do aquecimento ôhmico sobre os valores nutricionais, compostos bioativos e parâmetros de qualidade da alcachofra. Esses autores verificaram que o AO inativou ambas as enzimas em tempos de processamento mais baixos do que o branqueamento, com tempo total de inativação de 360s e 480s, respectivamente. A cor do produto foi bem preservada após o aquecimento ôhmico, enquanto, que no branqueamento notou-se uma significativa alteração de verde para marrom. Além disso, verificou-se que ambos os tratamentos influenciaram na textura do produto. Os autores observaram também que o aquecimento ôhmico afetou menos os compostos nutricionais e bioativos nas alcachofras que o branqueamento.

Já a aplicação do aquecimento ôhmico em alimentos foi utilizada na pasteurização do leite em 1919 (MACHADO et. al., 2006). No tratamento térmico do leite por aquecimento ôhmico, o aquecimento do alimento é extremamente rápido (em geral em alguns segundos para alguns minutos). Os microrganismos aeróbios presentes viáveis no leite, como *S. thermophilus* são inativados. O tratamento ôhmico causa

elevada morte microbiana, em relação ao processo convencional. O valor D para morte letal do microrganismo é significativamente menor que a dose letal do tratamento convencional (KNIRSCH et. al. 2010).

Sendo que em 1928, Fetterman desenvolveu um processo de pasteurização do leite por aquecimento ôhmico, visando eliminar os microrganismos e enzimas presentes neste tipo de alimento. No período de 1928 a 1938, mais de 200 milhões de litros de leite foram pasteurizados nos EUA utilizando este tipo de processo, sendo o tratamento ôhmico considerado uma tecnologia promissora na pasteurização do leite e derivados, pois permite aquecer uniformemente e rapidamente, podendo ser considerado um processo HTST (*High Temperature Short Time*) (BENDICHO, BARBOSA-CÁNOVAS e MARTÍNS, 2002).

Stancl e Zitny (2010) verificaram que o aquecimento em excesso pelo tratamento ôhmico, inicia a desnaturação do soro das proteínas do leite e a formação de agregados que se aderem aos eletrodos.

O processo de esterilização do leite pelo tratamento ôhmico possui algumas vantagens em relação ao tratamento convencional, tais como: a velocidade, aquecimento uniforme, e a facilidade de controle do processo. Porém, o aquecimento ôhmico direto possui a desvantagem de causar corrosão dos eletrodos, problema que pode ser facilmente contornado com o uso de metais nobres como ouro ou platina, ou simplesmente dobrando-se a frequência usual de 50 Hz (STANCIL e ZITNY; 2010).

CONCLUSÃO

O aquecimento ôhmico é uma técnica ainda pouco utilizada pelas indústrias alimentícias, apesar de constituir-se em um importante método para estender a vida útil principalmente para misturas líquidas e facilitar o processamento de alimentos em razão da distribuição uniforme de temperatura e cozimento mais rápido do alimento. É um processo simples e vantajoso. Entretanto, em alimentos sólidos, como carnes e derivados, interfere nas propriedades estruturais e sensoriais do alimento, demonstrado que o método ainda precisa ser melhorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIRY, A.M., SASTRY, S.K.; SAMARANAYAKE, C.P. Influence of temperature, electrical conductivity, power and pH on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating using stainless steel electrodes. **Bioelectrochemistry**, v.68, n.1, p.7-13, Jan., 2006.
- ALLALI, H.; MARCHAL, L.; VOROBIEV, E. Blanching of strawberries by ohmic heating: effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration. **Food and Bioprocess Technology**, v.3, p.406-414, 2010.
- BANSAL, B.; CHEN, X.D. Effect of temperature and power frequency on milk fouling in an ohmic heater. **Food and Bioproducts Processing**, v.84, n.4, p.286-291, Dec., 2006.
- BENDICHO, S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; MARTÍNS, O. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. **Food Science & Technology**, v.13, p.195-204, 2002.
- BURNETTE, F. S. Peroxidase and its relationship to food flavor and quality: a review. **Journal of Food Science**, 2006, v.42, n.1, p.1-6.
- CASTRO, I.; MACEDO, B.; TEIXEIRA, J.A. The effect of electric field on important food-processing enzymes: Comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. **Journal of Food Science**, v.69, n.9, p.696-701, 2004.
- DARVISHI, H.; KHOSTAGHAZA, M.H.; NAJAFI, G. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.12, n.2, p.101-108, June, 2013.
- DE HALLEUX, D.; PIETTE, G.; BUTEAU, M. L. et al. Ohmic cooking of processed meats: energy evaluation and food safety considerations. **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, p. 341-347, 2005.
- DINIZ, E.; FIGUEIREDO, R.; QUEIROZ, A.D.M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, n.1, p.9-17, 2003.
- ELIOT-GODEREAUX, S. C., GOULLIEUX, A., PAIN, J. P. Processing of cauliflower by ohmic heating influence of precooking on firmness. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, 1406 e1412, 1999.
- ELIOT-GODEREAUX, S.C.; ZUBER, F.; GOULLIEUX, A. Processing and stabilisation of cauliflower by ohmic heating technology. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.2, p.279-287, 2001.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.
- FIGUEIREDO, R. W.; LAJOLO, F. M.; ALVES, R. E. et al. Alterações de firmeza, pectinas e enzimas pectinolíticas durante o desenvolvimento e maturação de pedúnculos de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L. Var. nanum) CCP-76. **Frutales**, v.43, p.82-86, out., 2001.
- GHNIMI, S.; FLACH-MALASPINA, N.; DRESCH, M. et al. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. **Chemical Engineering Research and Design**, v.86, p.626-632, 2008.
- GUIDA, V.; FERRARI, G.; PATARO, G. et al. The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads. **LWT - Food Science and Technology**, v.53, n.2, p.569-579, Oct., 2013.

- ICIER, F.; YILDIZ, H.; BAYSAL, T. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. **Journal of Food Engineering**, v.85, n.3, p. 410-417, 2008.
- ICIER, F.; IZZETOGLU, G. T.; BOZKURT, H. et al. Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. **Journal of Food Engineering**, v.99, p.360-365, 2010.
- ITO, R.; FUKUOKA, M.; NAOKO HAMADA-SATO, N. Innovative food processing technology using ohmic heating and aseptic packaging for meat. **Meat Science**, v.96, n.2, Part A, p.675-681, Febr., 2014.
- JAKÓB, A.; BRYJAK, J.; WÓJTOWICZ, H. et al. Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. **Food Chemistry**, v.123, p.369-376, 2010.
- JUN, S.; SASTRY, S.; SAMARANAYAKE, C. Migration of electrode components during ohmic heating of foods in retort pouches. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.8, p.237-243, 2007.
- KNIRSCH, M. C.; SANTOS, C.A.; VICENTE, A.A. M.O.S. et al. Ohmic heating – a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.21, n.9, p.436-441, Sept., 2010.
- LEIZERSON, S., SHIMONI, E. Effect of ultrahigh temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.3519-3524, 2005.
- MACHADO, L.F.; PEREIRA, R.N.; MARTINS, R. C. et al. Moderate electric fields can inactivate *Escherichia coli* at room temperature. **Journal of Food Engineering**, v.96, p.520-527, 2010.
- MERCALI, G.D. **Tratamento térmico de polpa de acerola via aquecimento ôhmico**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. 2013. 252p.
- MERCALI, G.D.; SCHWARTZ, S.; MARCZAK, L.D.F. et al. Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: Effect of electric field frequency. **Journal of Food Engineering**, v.123, p.1-7, Feb., 2014.
- PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected solid foods during ohmic heating. **Journal Food Processing Engineering**, v.14, p. 2321-2360, 1991.
- PATARO, G.; DONSI, G.; FERRARI, G. Aseptic processing of apricots in syrup by means of a continuous pilot scale ohmic unit. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, n. 6, p.1546-1554, July, 2011.
- PATARO, G.; BARCA, G.M.; PEREIRA, R.N. et al. Quantification of metal release from stainless steel electrodes during conventional and pulsed ohmic heating. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.21, p.66-73. Jan., 2014.
- SARKIS, J.R.; MERCALI, G.D.; TESSARO, I.C. et al. Evaluation of key parameters during construction and operation of an ohmic heating apparatus. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.18, p.145-154, 2013.
- SARKIS, J.R. **Construção de um sistema de aquecimento ôhmico e sua aplicação no tratamento térmico de polpa de mirtilo**. Dissertação, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011, 138p.
- SENGUN, I.Y.; YILDIZ TURP, G.; ICIER, F. et al. Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. **LWT - Food Science and Technology**, v.55, n.1, p.232-239, Jan., 2014.
- SHIM, J.; LEE, S.H.; JUN, S. Modeling of ohmic heating patterns of multiphase food products using computational fluid dynamics codes. **Journal of Food Engineering**, v.99, p.136-141, 2010.
- STANCL, J.; ZITNY, R. Milk fouling at direct ohmic heating. **Journal of Food Engineering**, v.99, n.4, p.437-444, 2010.
- WANG, W.C.; SASTRY, S.K. Changes in electrical conductivity of selected vegetables during multiple thermal treatments. **Journal of Food Process Engineering**, v.20, 499-516, 1997.