

Microondas



Trabalho realizado por:

Diana Almeida 20803002
João Rocha 20803026
Sara Lages 20803029
Hugo Coimbra 20900028

Introdução

O objectivo do processo térmico na indústria alimentar é aumentar a vida útil dos alimentos sem comprometer a sua segurança. Pode ainda originar outras mudanças desejáveis, tais como, coagulação proteica, amaciamento de textura e formação de componentes aromáticos.

Este processo tem, no entanto, algumas limitações, nomeadamente a perda de nutrientes. Para reduzir estes entraves, estão a ser investigados novos processos tecnológicos: microondas, processamento por alta pressão, irradiação, entre outros.

Neste trabalho, vamos desenvolver o aquecimento por microondas. Trata-se de um processo muito atractivo devido à sua origem volumétrica, rápido aumento da temperatura, deposição de calor controlável e facilidade de limpeza. Tem sido utilizado na pasteurização comercial e na esterilização, de forma a melhorar a destruição microbiana e promover uma melhor qualidade do produto.

Princípios do Aquecimento por Microondas

As microondas são impulsos rádio, electromagnéticos que estão situados na banda dos 300 MHz aos 300 GHz.

O aquecimento alimentar com microondas dá-se devido à junção da energia eléctrica de um campo electromagnético à cavidade do microondas com o alimento e a subsequente dissipação no produto alimentar.

Os principais mecanismos envolvidos no aquecimento por microondas são a rotação dipolar e a polarização iónica. A água dos alimentos é o primeiro componente dipolar responsável pelo aquecimento dieléctrico.

O calor gera-se rapidamente como resultado da fricção interna das moléculas. O segundo grande mecanismo do aquecimento por microondas deve-se à polarização dos iões como resultado do movimento para trás e para a frente das moléculas iónicas que se tentam alinhar no campo eléctrico em mudança. O aquecimento por microondas também é afectado pelo estado dos constituintes, sejam eles ligados ou livres, por exemplo, iões ligados têm absorvidades mais baixas.

Vantagens do Aquecimento por Microondas

As microondas são utilizadas para aquecer, esterilizar e secar alimentos. Estes equipamentos oferecem as seguintes vantagens:

- ✓ As microondas penetram no alimento e, por isso, o alimento é aquecido no seu todo, uniformemente, logo há menos desperdício de tempo e energia;
- ✓ Como o aquecimento é rápido, as vitaminas, nutrientes, sabor e a cor do produto alimentar são preservados;
- ✓ A pasteurização e esterilização muito rápidas diminuem a perda de nutrientes, sabor e cor do alimento;
- ✓ Tem cerca de 80% (ou mais) de eficiência de aquecimento.
- ✓ Geometria perfeita para limpeza do local do sistema;
- ✓ Adequado para fluidos termo - sensíveis com alta viscosidade;
- ✓ Manutenção de baixo custo;
- ✓ Aquecimento silencioso e sem acumulação de gases;

- ✓ Temperatura radial baixa para grande parte dos alimentos;
- ✓ Pode ser combinado com outros tipos de tecnologias como alternadores de calor regenerativos e aquecimento por infra-vermelhos para um melhor desempenho do processo.

Factores que Afectam o Aquecimento por Microondas

A absorção da energia das microondas, assim como o comportamento do aquecimento de materiais alimentares, são determinadas através de propriedades físicas, térmicas e eléctricas.

▪ Frequência

Para aplicação alimentar apenas se usam duas frequências no aquecimento por microondas (915 e 2450 MHz). O comprimento de onda destas frequências é, respectivamente, 0.328 e 0.122 m. Este comprimento de onda é muito importante, uma vez que a maioria das interacções dão-se entre a energia e materiais, e geram calor instantâneo devido à fricção molecular.

Para além disso, a frequência e o comprimento de onda, ditam os componentes do equipamento (guia de onda, volume de aquecimento, magnetron, etc.).

▪ Propriedades Dieléctricas

As propriedades eléctricas dos materiais são conhecidas como propriedades dieléctricas, que dão uma medida de como os materiais alimentares interagem com a energia electromagnética. As propriedades dieléctricas dos materiais regem-se pelas seguintes equações:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$$

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

ε = Constante dieléctrica

ε'' = Factor de perda dieléctrica do material

j = Constante do complexo

- A constante dieléctrica (ε) é a medida da capacidade do material para armazenar energia eléctrica.
- A perda do factor dieléctrico (ε'') é a medida da capacidade de dissipar energia eléctrica sob a forma de calor.
- A constante do complexo (j) é a medida da capacidade do material para retirar energia eléctrica do magnetron (gerador de energia de micro-ondas).

As propriedades dieléctricas dos materiais geram, maioritariamente, o comportamento do aquecimento dos materiais alimentares durante o processo de aquecimento.

A energia dissipada está directamente relacionada com o factor de perda, contudo, pode ser dependente da constante dieléctrica sujeita à geometria e ao campo de configuração.

A equação $\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$, está relacionada com a susceptibilidade do material ser penetrado por um campo eléctrico e dissipar energia como calor.

Os materiais que têm uma perda elevada, absorvem a energia das micro-ondas, enquanto que os materiais altamente transparentes (vidro, p.e.) têm baixos valores de perda.

▪ **Humidade**

A humidade afecta as propriedades dieléctricas dos alimentos e, consequentemente, a profundidade da penetração das micro-ondas.

Os alimentos com muita humidade têm um aquecimento diferente porque o poder de penetração é baixo assim como alimentos com pouca humidade têm um poder de penetração alto.

Durante o aquecimento, o papel da humidade inicial e a taxa de evaporação é muito importante. O comportamento do aquecimento de água é a fase dependente (líquido versus sólido) e também é dependente da quantidade de água disponível.

A uma temperatura constante, o comportamento dieléctrico da água permanece constante em baixas frequências (região estacionária), não havendo muita absorção de energia, enquanto que em frequências mais elevadas (região óptica), há uma diminuição do comportamento dieléctrico.

Assim, a constante dieléctrica diminui exponencialmente com a frequência entre as regiões estacionária e óptica.

▪ **Massa**

A massa e a quantidade de energia absorvida pelas microondas têm uma relação directa que deve ser aplicada para se chegar ao aquecimento desejado.

Este tipo de equipamentos tem a vantagem de fornecer um aquecimento uniforme, através do movimento do produto pelo campo de microondas. Cada equipamento microondas tem uma massa crítica – cerca de 250 ml de água num equipamento de 1kW, abaixo deste limite e com cargas inferiores pode danificar o magnetron - para um funcionamento eficiente.

▪ **Temperatura**

O aquecimento do microondas é afectado pelo nível da temperatura da amostra. As propriedades dieléctricas podem variar com a temperatura, dependendo do material. Tanto a temperatura como a humidade podem mudar durante o aquecimento e, por isso, podem ter um efeito combinado na constante dieléctrica, no factor de perda dieléctrica, na perda de tangente e consequentemente no comportamento de aquecimento.

A temperatura inicial de um alimento deve ser conhecida, para que a energia de microondas possa ser ajustada de maneira a obter uma temperatura final uniforme. Por exemplo, se fizermos com que um micro-ondas aumente a temperatura do produto de 20°C para 80°C, este, vai chegar a uma temperatura de 95°C com uma temperatura inicial de 35°C.

Para compensar o efeito da temperatura inicial, a energia do microondas deve ser reduzida ou deve usar-se uma amostra maior ou deve-se aquecer o produto durante menos tempo.

- **Geometria e posicionamento dos alimentos**

A geometria de um alimento também tem um papel muito importante na distribuição do calor, afectando a capacidade de penetração de microondas, a taxa de aquecimento e uniformidade. Produtos com formas irregulares são sujeitos a um aquecimento não uniforme devido às diferentes espessuras. Quanto mais próximo a espessura estiver do comprimento de onda, mais alta será a temperatura.

Um alimento com uma forma esférica ou cilíndrica aquece mais uniformemente do que um alimento com uma forma quadrada.

A localização do alimento também tem um efeito significativo, uma vez que a distribuição da temperatura pode ser vantajosa se se aproveitar os cantos do microondas.

- **Propriedades Térmicas**

As características do aquecimento dos alimentos estão dependentes da maior ou menor extensão de algumas propriedades térmicas – condutividade, densidade e capacidade de aquecimento.

Materiais com alta condutividade térmica dissipam o calor mais rapidamente do que aqueles que têm uma condutividade mais baixa (levam menos tempo a atingir uma temperatura uniforme).

A capacidade de aquecimento dos alimentos mede a resposta da temperatura dos alimentos como resultado do fornecimento ou retirada de calor. Esta capacidade pode ser aumentada com o aumento do conteúdo sólido através de sal ou proteínas.

A combinação da capacidade de aquecimento com a condutividade térmica e a densidade é representada pela difusão térmica, definida por $\alpha = \frac{k}{\rho cp}$.

- **Fluxo Secundário numa Curva**

O ponto mais frio num processo de fluxo contínuo é a região onde os fluidos exibem velocidade máxima, que num tubo direito é a posição do centro axial.

A utilização de tubos helicoidais criam um fluxo secundário devido ao momento de transferência numa direcção radial, que assegura uma melhor homogeneização e estabiliza o fluxo laminar. O número de Dean (De) quantifica este fenómeno e assim caracteriza os parâmetros dimensionais do fluxo em tubos helicoidais.

$$De = Re \sqrt{D_{\text{tubo}}/D_{\text{coil}}}$$

$$Re = \frac{VD_{\text{tubo}}\rho}{\mu}$$

Onde Re é o número de Reynolds, ρ a densidade do fluido, μ a viscosidade do fluido, D_{tubo} o diâmetro interno do tubo e $D_{\text{tubo helicoidal}}$ o diâmetro deste. O fluxo secundário melhora a taxa de transferência de massa e de calor em adição à taxa do momento de transferência, sendo que este último resulta na diminuição da queda de pressão

Aplicações Industriais do Aquecimento por Microondas

As maiores aplicações do aquecimento por microondas são temperar carne congelada e produtos vindos de aves; pré cozinhar bacon para comida de serviço; cozinhar salsichas; secar vários tipos de comida; cozer pão, biscoitos e produtos de confeitaria; descongelação de produtos congelados; escaldar vegetais; aquecer e esterilizar fast food, refeições pré-cozinhadas e cereais; e pasteurização e esterilização de vários alimentos.

- **Aquecer peixe, carne e aves**

O maior uso do processo de microondas na indústria é aquecer carne congelada para que atinja uma temperatura que permita o corte.

As microondas penetram facilmente em todo o produto congelado, chegando assim efectivamente às regiões internas do produto, num curto espaço de tempo evitando assim perdas de nutrientes.

- **Pré-cozinhar Bacon**

Pré cozinhar Bacon é a segunda maior aplicação do aquecimento por microondas na indústria alimentar. O aquecimento por microondas é o sistema ideal para cozinhar bacon, quando comparado com o grelhar tradicional.

Como um alimento de duas componentes, o bacon perde a componente gordura e as suas características desejáveis quando é grelhado.

- **Cozinhar salsichas**

A terceira grande aplicação do processamento por microondas é a confecção de salsichas. A qualidade da salsicha pode ser melhorada assim como o seu resultado após ser processada através do processo de micro-ondas. O processo de micro-ondas na confecção de salsichas também pode ser usado para reduzir a perda de água, gordura, nutrientes e sabor.

- **Cozer**

O primeiro sucesso comercial das microondas/ rádio frequências foi na indústria panificadora.

O tempo de cozedura utilizando energia de micro-ondas é reduzido em 50% em relação à fonte de calor convencional.

- **Secagem**

O aquecimento por microondas oferece benefícios distintos na desidratação devido à sua capacidade de penetração, e o seu aquecimento uniforme resulta na vaporização da água de dentro do produto. Isto induz uma pressão interna que mantém as características do produto seco, preservando a sua cor, sabor e valor nutricional. A secagem por microondas é rápida e mais energético - eficiente quando comparado com a secagem por ar quente.

- **Escaldar Vegetais**

Escaldar, a unidade operativa na embalagem de alimentos em latas, desidratação e congelação, envolve a exposição por um curto período de tempo do produto em água a ferver, em vapor ou a microondas com o propósito primário de inactivar enzimas oxidativas, que de outra maneira causariam mudanças indesejáveis na cor, sabor e textura dos produtos durante a sua armazenagem. Nos enlatados também serve para reduzir a carga microbiana, eliminar o oxigénio dissolvido e facilitar o embalar dos produtos.

A maioria dos resultados indica que este procedimento é mais eficaz em reter vitaminas solúveis em água em vegetais quanto comparado com o mesmo método tradicional.

- **Efeito das Microondas em Enzimas**

As enzimas são provavelmente os sistemas mais simples para estudar os efeitos bioelectromagnéticos em sistemas vivos.

A inactivação de enzimas tais como a lipase do gérmen de trigo e a lipoxigenase da soja, a pectina methylesterase (PME) a várias temperaturas usando o método convencional e as microondas foram estudadas, descobrindo-se que sob condições de aquecimento por microondas a taxa de destruição de enzimas é maior. Esta diferença pensa-se que é devida a algum efeito de melhoramento térmico das micro-ondas na inactivação de enzimas.

- **Empolamento e Espuma**

O aquecimento ultra-rápido por microondas causa empolamento ou espuma quando a taxa de transferência de calor é maior que a taxa de transferência de vapor do produto. As microondas são ideais para produzir snacks tufados.

Desenvolvimentos Recentes em Alimentos para Microondas e Embalagens

Recentemente, os processadores de alimentos desenvolveram uma nova geração de alimentos para microondas com embalagens apropriadas para o efeito.

O polipropileno de alta densidade (HDPP) é uma solução de baixo custo para o processo de microondas relativamente a outros materiais que poderiam suportar a temperatura alvo.

Os produtos próprios para microondas expandem-se durante a confecção e a tampa abre-se automaticamente.

A embalagem tem um papel significativo no processo da confecção dos alimentos através de micro-ondas.

Pasteurização e Esterilização por Microondas

A pasteurização é um processo que usa um tratamento de calor médio nos alimentos para destruir os microrganismos patogénicos, e inactivar bactérias vegetativas e enzimas para que os alimentos sejam seguros para consumo.

A esterilização por microondas é um tratamento alimentar térmico mais severo que foi estudado com potenciais aplicações comerciais, no entanto, a sua comercialização enfrentou vários problemas.

Tanto a pasteurização como a esterilização baseiam-se numa combinação de processos tempo/temperatura, aplicada a produtos alimentares para atingir a mortalidade do alvo.

Cinética da Destruição microbiana

A destruição dos microrganismos e inactivação de enzimas são geralmente expressas pela seguinte reacção química:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n$$

onde dC/dt é a mudança na concentração C ou população microbiana (troca-se C por N) com o tempo t , k é a constante de reacção e n a ordem da reacção. Geralmente, a destruição dos microrganismos é descrita como a primeira ordem da reacção cinética. A resistência térmica dos microrganismos é algo convencionalmente caracterizado no processo alimentar por meio da redução de tempo decimal (valor de D , que é o tempo de aquecimento a uma certa temperatura que atinge 90% de destruição da população microbiana existente) e a constante térmica (Valor de z , taxa de temperatura entre a qual os valores de D mudam em 10).

$$D_{T_{ref}} = \frac{2.303}{k}$$
$$z = \frac{T_2 - T_1}{\log D_1/D_2}$$

O tempo necessário equivalente para tratamento térmico com resistência térmica de um microrganismo conhecido calcula-se pelo integral tempo/temperatura

$$F = \int_0^t 10^{\frac{T(t)-T_R}{z}} dt$$

▪ Correções de Perfil Come-up Time e Come Down Time

O aquecimento por microondas de corrente contínua tem vantagens sobre o processo em série, quando a temperatura não uniforme no produto tenha comprometido seriamente a sua utilização. Os sistemas líquidos de corrente contínua permitem manter estáveis o tempo e a temperatura alcançados, registar as temperaturas médias durante o aquecimento, minimizar o declive de temperatura através da mistura do líquido e arrefecer o líquido imediatamente à saída. O aquecimento por microondas envolve um

CUT não isotérmico dentro do forno ou cavidade. As fases de pegar e de arrefecimento normalmente ocorrem fora do forno microondas.

A contribuição do período come-down [descendente] ocorre fora do forno microondas e deve ser subtraída à destruição total para avaliar a destruição causada pelo aquecimento efectivo (t_c) pode ser calculado usando a equação anterior com o valor de z obtido a partir de estudos de destruição térmica. A extensão de logaritmos de destruição térmica (LTD) durante o arrefecimento pode ser obtida seguindo a relação

$$LTD = \frac{t_c}{D}$$

Sendo D o valor D da temperatura à saída obtida a partir de estudos de destruição térmica. Este valor calculado é depois subtraído à destruição da população microbiana devido ao aquecimento por microondas combinada com o arrefecimento. Os dados relativos à destruição da população microbiana de amostras de testes podem, assim, ser corrigidos para a contribuição tanto do período come-up com come-down para a letalidade.

Sistemas de Aquecimento por Microondas

▪ Aquecimento em série

No aquecimento em série, os fornos microondas baseados em magnetrons são normalmente usados para aquecer. A amostra alimentar é colocada no forno durante um período de tempo predeterminado para atingir a temperatura alvo. O nível de potência é geralmente ajustado para alcançar uma certa diferença de temperatura desejada, num período de tempo. O calor volumétrico absorvido pelo material alimentar durante o aquecimento por microondas pode ser calculado usando a seguinte relação, partindo-se do princípio que não houve perda de calor

$$Q = mC_p(T_f - T_i)$$

Sendo m a massa de comida (kg); C_p o calor específico (kJ/kg°C); T_f a temperatura final (°C) e T_i a temperatura inicial (°C). A potência de microondas absorvida pode ser calculada através do calor volumétrico dividido pelo tempo de aquecimento. P é comparado com a saída nominal de microondas para calcular a eficiência e, geralmente, mais de 90% da potência nominal pode ser encontrada numa amostra grande.

• Aquecimento por Corrente Contínua

O processo térmico usando microondas tem sido reconhecido como oferecendo benefícios potenciais para a indústria de processamento alimentar, devido ao aquecimento rápido e à capacidade das microondas penetrarem na comida e, assim, atingirem mais eficazmente o aquecimento total. Os sistemas contínuos têm vantagens sobre os em série com uma maior produtividade, facilidade na limpeza e automação.

O diagrama esquemático de um aquecimento por microondas de corrente contínua básico é demonstrado na Figura.

O líquido cru é bombeado (bomba peristáltica) através de espirais Teflon de vidro helicoidal colocadas dentro de um ou mais fornos microondas, conectados em

série para aquecerem (como alternativa, podem ser instalados vários magnetrões dentro de um forno). Fora do forno microondas, o líquido passa por uma secção suspensa, de modo a permitir um tempo de suspensão pré-definido, seguido de arrefecimento, sob a forma de um alternador de calor tubular.

Para estabelecer condições de corrente estáveis para o aquecimento por microondas, o alimento líquido é pré-circulado no sistema, seguindo-se a ligação dos fornos microondas. As médias de corrente volumétrica são determinadas para vários cenários de bombeamento. Para o processo de pasteurização, geralmente a média de corrente é determinada de modo a que a temperatura do líquido no forno microondas mantenha a temperatura pretendida na secção pausa. A temperatura do fluido na secção holding é mantida por meios externos, ou, por vezes, a temperatura de saída é elevada a um nível ligeiramente superior do que o necessário para permitir a perda de calor através de tubos suspensos. No entanto, os perfis tempo/temperatura, na maioria dos casos, são gerados pela medição em trânsito, em regiões seleccionadas.

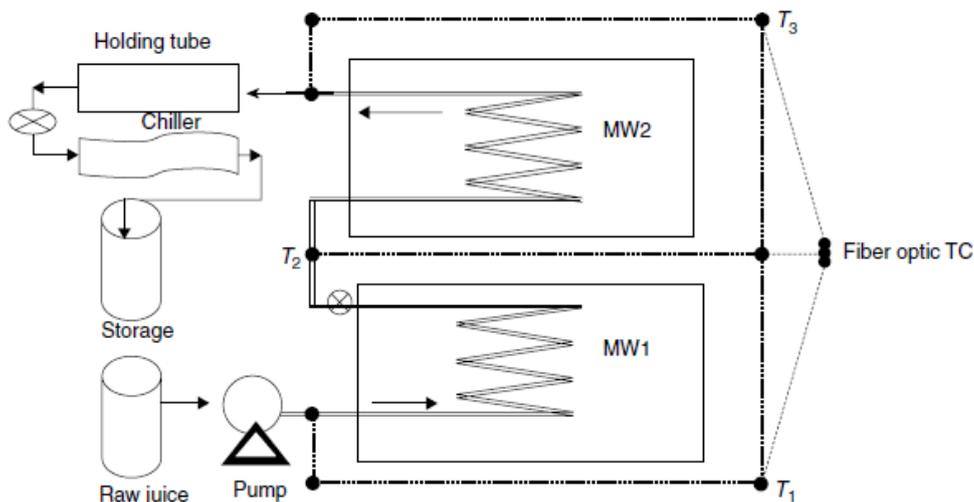


FIGURA 1- Pasteurizador de Microondas de Corrente Contínua

Aplicação a Sistemas Alimentares

▪ Leite

O sucesso do aquecimento de leite por microondas é baseado em condições estabelecidas que fornecem o desejado nível de segurança, com uma degradação mínima do produto.

Desde o primeiro estudo registado acerca do uso de um sistema de microondas para a pasteurização de leite, vários estudos sobre aquecimento de leite por micro-ondas foram levados a cabo. A maioria destes estudos têm sido usados para investigar a possibilidade de aumentar o prazo de validade do leite pasteurizado, a aplicação de energia microondas para desactivar os patogénicos do leite, avaliar a influência nos nutrientes do leite ou da distribuição não uniforme de temperatura durante o tratamento por microondas.

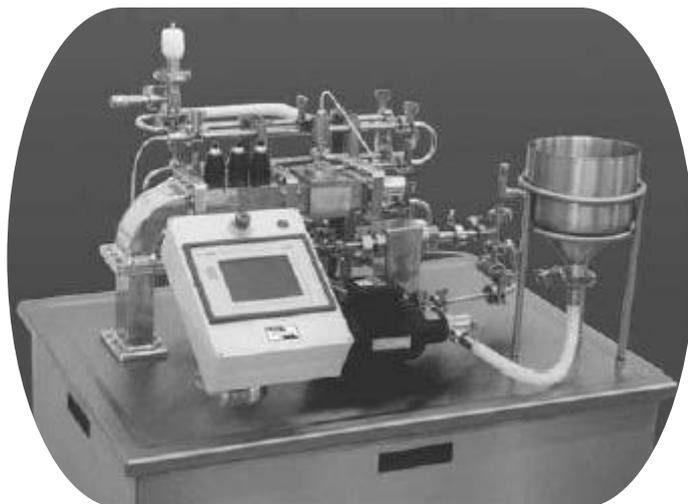


FIGURA 2- Pasteurizador de Microondas

O leite é uma fonte rica de vitaminas e os tratamentos térmicos afectam alguns dos seus nutrientes. Os efeitos do aquecimento por microondas em várias vitaminas presentes no leite de vaca foram estudados por vários investigadores. A maioria desses estudos revelam uma significativa perda de vitamina A, carotene- β , vitamina B₁ B₂ no leite pasteurizado por microondas, e uma perda de aproximadamente 17% da vitamina E e 36% de vitamina C.

Os investigadores concluíram que o processo por microondas não oferece nenhuma vantagem adicional, no que diz respeito às retenções de vitaminas, quando comparado com o processo de aquecimento convencional. O aquecimento por microondas não afecta os componentes proteína ou gordura.



▪ Sumos de Fruta

Produtos geralmente ácidos, como os sumos de fruta, não são considerados veículos de intoxicação alimentar, no entanto, relatórios recentes demonstram que 3 microrganismos patogénicos, nomeadamente *Salmonella entérica*, *E. coli* 057:H7 e *Cryptosporidium parvum* foram associados à intoxicação alimentar por sumo de frutas. A pasteurização de sumos de fruta é, tradicionalmente, realizada através do processo de aquecimento HTST, usando um alternador de calor de placa, seguido de um breve período de pausa e de arrefecimento. No entanto, a degradação é o maior problema nesse processo. A inactivação de microrganismos e enzimas nos sumos de frutas, por

exemplo, sumos de citrinos, através da pasteurização por microondas, principalmente em sistemas de corrente contínua tem vindo a suscitar interesse entre os fabricantes de máquinas de sumos, devido à sua menor exposição térmica, eliminação da degradação no tubo e retenção da qualidade do sumo.



▪ Refeições Prontas

O crescimento da indústria da comida pronta a comer tem vindo a crescer devido à procura por parte dos consumidores, procura pela facilidade de serem consumidas.

O tempo de pasteurização de refeições prontas a comer precisa de ser estabelecido de acordo com as mesmas orientações que a esterilização comercial e não pode ser estabelecido apenas de acordo com o tempo - temperatura.

A pasteurização de refeições prontas, usando o microondas, aumenta o seu prazo de validade. Hoje em dia, a pasteurização através do microondas está disponível em diversos sectores (à escala comercial e sistema piloto).

Durante todo o processo, o produto deve permanecer microbiologicamente seguro, enquanto o seu prazo de validade é aumentado.

De maneira a ultrapassar os problemas técnicos, incluindo o uso de um líquido a circular à volta das embalagens para que estas não rebentem, movimentação de guias de ondas, preenchimento com calor de componentes do produto, para produzir temperaturas uniformes no produto ou a incorporação de estruturas metálicas na cavidade, de maneira a modificar o campo de distribuição.

Uma abordagem de engenharia eficiente requer métodos capazes de prever os campos eléctricos e magnéticos e as distribuições de temperatura nos alimentos, durante o aquecimento por microondas.

O processamento a calor a 80-85° C, durante alguns minutos, é considerado o suficiente, com margem de segurança. Isto é, tem uma temperatura suficiente para tornar inactivos os microrganismos patogénicos vegetativos (*Salmonella* e *Campylobacter*), mas não esporos bacterianos. No entanto, a maioria dos esporos bacterianos não se multiplicam a baixas temperaturas (4°C).

Como exemplo deste processo, foram estudadas embalagens para revenda, para a pasteurização de refeições de esparguete à bolonhesa, de maneira a aumentar o seu prazo de validade. Com isto, verificou-se que as temperaturas médias do produto acima dos 80° C podiam ser alcançadas usando qualquer um dos sistemas, mas apenas os de túnel a 896 MHz aquecia todos os produtos de uma embalagem, acima daquela temperatura.



Sistemas de Esterilização

De maneira a aumentar o prazo de validade de pão embalado, massa e pizza, trata-se com energia de microondas e necessita ainda de um armazenamento numa atmosfera controlada.

Nos anos 70, Kenyon desenvolveu uma ração com prazo de validade de alta qualidade, utilizando um tubo de poliéster reforçado com fibra de vidro, instalado num forno microondas de 10kW.

Um dos sistemas inclui, um par de válvulas borboleta na entrada do produto que permitia a introdução de bolsas no sistema de processamento, num tapete de produção em série através de um campo de microondas. As bolsas caíam no final do tapete para dentro de um tanque com água fria, do qual podiam ser retiradas periodicamente. As perdas de radiação de calor eram minimizadas ao embrulhar as bolsas num isolamento transparente de microondas. No entanto, a diferença de temperatura da ponta até ao centro das bolsas era reduzido desde 5°C ou menos, até 30°C.

A disponibilidade de dados sobre o efeito do tempo de armazenamento à temperatura ambiente nos factores de qualidade de alimentos esterilizados por microondas é escassa.

Num outro estudo com galinha “á la king”, a aparência do produto esterilizado por microondas foi favoravelmente comparado com a referência congelada, mesmo depois de 12 meses de conservação.

Limitações e o Futuro do Aquecimento por Microondas

A maior desvantagem na esterilização por microondas é a sua falta de perfis de temperatura recentes. A medição de temperaturas em alguns locais não garante a verdadeira distribuição de temperatura do produto, durante o aquecimento por microondas, uma vez que o padrão de aquecimento pode ser irregular e difícil de prever e mudar durante o aquecimento.

A cinética da degradação, seja da qualidade, do sabor ou dos nutrientes depende de muitos factores, como a natureza dos produtos alimentares, a sua geometria, propriedades dieléctricas e o design do micro-ondas, quando comparados com o processamento térmico convencional. As alterações das propriedades dieléctricas podem afectar o aquecimento qualitativamente, enquanto que para processamentos térmicos convencionais isso não é relevante.

A novidade do processo de esterilização depende da selecção adequada do equipamento e da embalagem, que podem assegurar o seu sucesso nas indústrias de processamento alimentar. É bastante reconhecido que a esterilização por microondas pode produzir produtos alimentares de alta qualidade e com um longo prazo de validade.

Recomendações para a Pasteurização e Esterilização em Microondas

Melhor gestão no aquecimento por microondas:

- 1- A temperatura deve ser medida no maior número de sítios possíveis;
- 2- É fundamental determinar o ponto mais frio e a sua localização, em termos de microrganismos;
- 3- A colocação é importante para um aquecimento uniforme.
- 4- Para a descrição de ponto estéril por microondas, deve utilizar-se uma combinação de marcadores por formação cinética e uso do modelo termomagnético;
- 5- A não uniformidade espacial da esterilização e as suas alterações podem ser melhoradas substancialmente ao alterar as propriedades dieléctricas do material, que são uma função da sua composição;
- 6- Para aumentar a eficiência do aquecimento por microondas, pode-se introduzir radiações infra-vermelhas (IR);
- 7- Aplicar energia de microondas a uma frequência baixa, por exemplo 900 MHz revelaria grande profundidade de penetração em alimentos, como por exemplo, nos alimentos tufados.

Conclusão

A energia de microondas tem vantagens sobre o aquecimento convencional. Actualmente tem se dado maior ênfase à esterilização de alimentos sólidos através deste processo. Embora alguns investigadores afirmem que há efeitos melhorados na distribuição de microrganismos e inactivação de enzimas, este assunto ainda não é consensual. Trata-se de estudos recentes que têm de ser aprofundados, pois ainda subsistem algumas dúvidas, nomeadamente a não uniformidade do aquecimento e a incapacidade de assegurar a esterilização da embalagem inteira. O alto custo é outro entrave assim como a falta de materiais de embalagem adequados.

As investigações têm que prosseguir.

Bibliografia

JASIM, A. e HOSAHALLI, S. R., *Handbook of Food Preservation*, segunda edição;

JERMOLOVICIUS, L. A., SCHNEIDERMAN, B. e SENISE, J. T.(2006), *Alteration of Esterification Kinetics Under Microwave Irradiation*, in: *Advances in Microwave & Radio-Frequency Processing*, Springer, Germany;

SENISE, J. T. e JERMOLOVICIUS, L. A.(2004), *Microwave Chemistry - A Fertile Field For Scientific Research And Industrial Applications*. *J. Microwaves and Optoelectronics*, 97-112.