



MAPEAMENTO EXPERIMENTAL DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO INTERIOR DE UMA CAVIDADE MICRO-ONDAS MULTIMODO

ANDRÉ S. FELIPE ¹, IRINEU PETRI JÚNIOR ^{1*}

¹Universidade Federal de Lavras, Setor de Engenharia Química, Departamento de Engenharia.
*e-mail: irineupetri@gmail.com

RESUMO – O forno micro-ondas é utilizado, em escala industrial, em processos de aquecimento, secagem, esterilização, extração de compostos, pasteurização, etc. O aquecimento de determinada amostra acontece pela interação entre as ondas eletromagnéticas geradas pelo magnetron e pelo dipolo elétrico das moléculas da amostra. Os pontos de maior intensidade de aquecimento dentro da cavidade do equipamento são caracterizados como *hotspots*, que são pontos de maior intensidade do campo eletromagnético. A cavidade do micro-ondas pode ser mono-modo ou multimodo, sendo que a cavidade multimodo é maior e mais comumente utilizada para fins científicos e industriais. Esse tipo de cavidade tem a particularidade de possuir múltiplos *hotspots* devido a presença de vários modos, que são pontos de distribuição das micro-ondas, assim como flutuações locais no campo eletromagnético, dando origem a um superaquecimento localizado. Sendo assim, este trabalho tem como objetivos mapear experimentalmente os *hotspots* de um forno micro-ondas com cavidade multimodo por meio de uma técnica inovadora que utiliza uma placa resistiva e papel termo sensível. Com essa finalidade, foram utilizadas duas placas resistivas, sendo uma com carvão ativado/cola de acetato de polivinila e outro com óxido de ferro (III)/cola de acetato de polivinila, para avaliar a influência dos materiais no surgimento dos pontos de aquecimento. O tempo de aquecimento que garantia o surgimento dos principais *hotspots* variou de 40 a 60 segundos devido à particularidade de cada placa resistiva. Os resultados encontrados para as duas placas resistivas foram satisfatórios para todos os planos estudados, pois os pontos de aquecimento foram distintos e foi possível identificar locais de aquecimento rápido e homogêneo.

INTRODUÇÃO

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com frequência entre 300 e 300000 MHz e foram utilizadas na Segunda Guerra Mundial em radares, atraindo muita atenção e recursos para o estudo deste tipo de tecnologia (Mujumdar, 2007). A utilização das micro-ondas na indústria alimentícia foi aprofundada na década de 1940, pelo Engenheiro Percy Spencer, que criou o primeiro forno micro ondas para aquecer alimentos. Em escala industrial, os fornos micro-ondas são largamente aplicados em sínteses, secagem de amostras, mineralização

de compostos orgânicos e inorgânicos, etc. (Leolenni *et al.*, 2013).

Em comparação ao aquecimento convencional, as micro-ondas possuem vantagens como transferência de energia ao invés de transferência de calor, aquecimento sem necessidade de contato, menor tempo de início e fim da operação de aquecimento, o que faz com que essa tecnologia seja largamente utilizada em processos industriais, aquecimento seletivo de certos materiais e alto nível de segurança e automação (Guénin, 2016).

As ondas eletromagnéticas são geradas dentro do equipamento por um magnetron, dispositivo que possui a função de geração das micro-ondas por meio da interação de um fluxo

de elétrons. As micro-ondas geradas sofrem reflexões dentro do equipamento podendo ocorrer ou não a sobreposição das mesmas (Guénin, 2016). Ocorre, assim, a conversão de energia cinética em energia potencial elástica, devido ao fato das paredes do equipamento serem dimensionadas de forma que as reflexões sejam dadas nos nós das ondas. (Leolenni *et al.*, 2013). Essa reflexão gera pontos de maior intensidade de campo eletromagnéticos, denominados de *hotspots*. A identificação desses pontos é de extrema importância para obter um melhor aproveitamento do aquecimento micro-ondas.

A cavidade de um forno micro-ondas pode ser classificada como monomodo ou multimodo. As cavidades monomodo possuem uma distribuição previsível e homogênea das micro-ondas, proporcionando uma boa reprodutibilidade para aquecimentos que utilizam pequenas quantidades de amostras, pois as micro-ondas são direcionadas diretamente para a amostra, proporcionando uma eficiência três vezes maior do que uma cavidade multimodo. Esse tipo de cavidade não é muito utilizado por possuir limitações relacionadas ao seu tamanho, o que impossibilita operações em escalas maiores (Petri, 2014).

As cavidades multimodo caracterizam-se por uma distribuição não-homogênea das micro-ondas, devido às reflexões das mesmas nas paredes do equipamento. Esse tipo de cavidade fornece uma boa reprodutibilidade, uma síntese em maior escala e permite longos períodos de utilização, porém com um aquecimento não uniforme, fazendo com que determinados pontos dentro da cavidade aqueçam mais do que outros. Os fornos micro-ondas domésticos e industriais possuem esse tipo de cavidade e conseguem operar com maior capacidade de processamento devido ao seu tamanho (Petri, 2014).

A heterogeneidade da distribuição das ondas eletromagnéticas dentro de uma cavidade multimodo faz com que o aquecimento seja heterogêneo, podendo sub ou superaquecer o material. Sendo assim, é de extrema importância conhecer a distribuição das ondas eletromagnéticas no interior do forno micro-ondas. A partir daí, é possível realizar um aumento de escala ou a criação de uma nova

geometria de cavidade ressonante. Alguns trabalhos a literatura estudaram métodos para a realização desse mapeamento dos *hotspots*, porém, a visualização dos pontos de aquecimento não foi precisa ou prática o suficiente para sua aplicação.

Portanto, devido à falta de homogeneidade na distribuição das micro-ondas dentro da cavidade de um equipamento multimodo, este trabalho tem como objetivos mapear tridimensionalmente um forno micro-ondas com cavidade multimodo, testar um método de mapeamento por placa resistiva e papel térmico para obter pontos de maior intensidade de campos eletromagnéticos (*hotspots*). Avaliou-se também a influência do material utilizado na confecção das placas resistivas, afim de verificar a influência dos mesmos na qualidade do mapeamento dos pontos de aquecimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Unidade experimental

O forno micro-ondas em que foi realizado o mapeamento tridimensional dos pontos de aquecimento está ilustrado através da Figura 1.



Figura 1: Unidade experimental em que foi realizada o mapeamento.

O forno da marca Electrolux possui uma potência total de 1500 Watts (W), sendo que a potência do magnetron é de 1000 W. Suas dimensões externas são de 52 centímetros (cm) de comprimento, 42,2 cm de largura, 32,5 cm de altura e um volume de 31 litros (L). Esse equipamento é utilizado em pesquisas científicas no Laboratório de Sistemas

Térmicos (LOST) da Universidade Federal de Lavras.

O equipamento possui uma cavidade multimodo com as dimensões de 33 cm de comprimento, 33 cm de largura e 19 cm de altura. Essa cavidade pode ser observada na Figura 2. O prato rotativo foi retirado de dentro da cavidade para realização dos experimentos.



Figura 2: Cavidade multimodo do forno microondas.

Materiais utilizados

Os materiais utilizados na confecção das placas resistivas foram: carvão ativado, óxido de ferro (III) e acetato de polivinila.

O carvão ativado e o óxido de ferro (III) utilizados estão ilustrados nas Figura 3 e 4, sendo eles reagentes P.A.. O acetato de polivinila da marca Maxi-Cola foi adquirida no comércio local.



Figura 3: Amostra de carvão ativado utilizada no trabalho.



Figura 4: Amostra de óxido de ferro (III) utilizada no trabalho.

Confecção das placas resistivas

Foram confeccionadas duas placas resistivas, cada uma com os mesmos teores de materiais, com o objetivo de avaliar a influência do carvão ativado e do óxido de ferro (III) na qualidade das imagens dos *hotspots*.

Primeiramente, foi realizada a mistura de 648 gramas (g) de cola branca e 72 g de particulado, totalizando uma massa de 720 g para cada placa resistiva, com a proporção de 90 por cento (%) de cola e 10 % de particulado. Essa mistura foi colocada em uma placa de vidro com 6 milímetros (mm) de espessura e com dimensões próximas às dimensões da cavidade, e colocou-se papelão em volta para servir como molde e para que a mistura não vazasse. A solução depositada na placa pode ser observada na Figura 5.



Figura 5: Solução de carvão ativado e cola branca depositada na placa.

Em seguida, o conjunto ficou na estufa à temperatura ambiente por 48 horas, que foi o tempo de cura da cola, que endureceu por reticulação, ou seja, formação de ligações cruzadas das cadeias poliméricas do polímero, no caso, do acetato de polivinila. Após esse período, o conjunto foi retirado da estufa, os moldes de papelão foram retirados e foi realizado o lixamento das placas com auxílio de uma lixadeira elétrica. Após realização desse procedimento, as placas resistivas estavam prontas para utilização.

As Figuras 6 e 7 mostram as placas resistivas de carvão ativado e óxido de ferro após todo o procedimento de preparação.



Figura 6: Placa resistiva de carvão ativado.



Figura 7: Placa resistiva de óxido de ferro (III).

Técnica de mapeamento dos pontos de aquecimento

A técnica de mapeamento dos pontos de aquecimento na cavidade desenvolvida nesse trabalho se baseia na utilização de uma placa resistiva, para absorção das micro-ondas e conversão das mesmas em calor, e de um papel termo sensível que muda sua tonalidade ao atingir uma temperatura próxima a 92 °C (Mehdizadeh, 2010). Esse conjunto é prensado por duas placas de vidro de 6 mm de espessura para garantir um bom contato entre o papel termo sensível e a placa resistiva, assim como mostrado no esquema da Figura 8. A Figura 9 mostra a placa resistiva que foi utilizada nos experimentos.

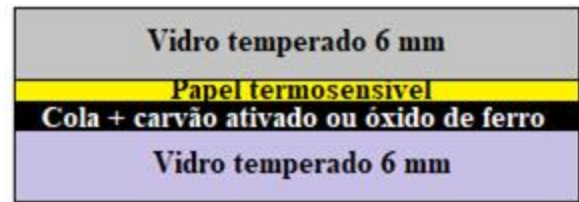


Figura 8: Esquema das camadas de materiais formando a placa resistiva.



Figura 9: Placa resistiva utilizada nos experimentos.

Para realização do mapeamento tridimensional da cavidade, foi definida a orientação dos planos conforme a Figura 10. A base da cavidade do forno micro-ondas está situada no plano xy , o fundo situa-se no plano yz e, conseqüentemente, as laterais da cavidade estão perpendiculares ao eixo xz .

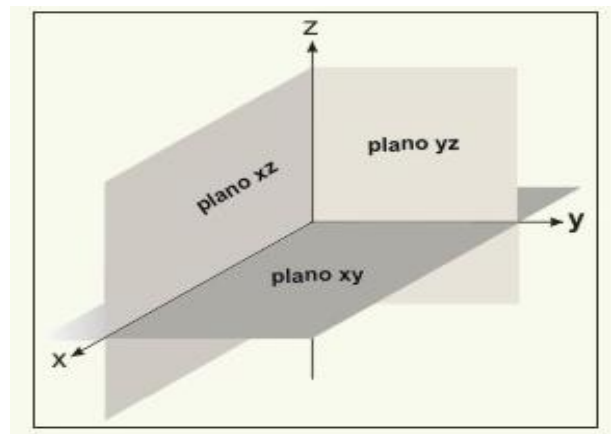


Figura 10: Planos de coordenadas xyz .

Durante os ensaios, para realização do mapeamento tridimensional dos pontos de aquecimento, foi realizada a variação do posicionamento da placa com relação à altura (plano xy) e da posição lateral (planos xz e yz), com o auxílio de béqueres de vidro e cadinhos de porcelana. Por serem materiais transparentes às micro-ondas, a presença dos béqueres e dos

cadinhos não interferiram no aquecimento e na distribuição das ondas eletromagnéticas dentro da cavidade.

Para o mapeamento dos pontos de aquecimento no plano xy, considerando que a altura interna da cavidade do equipamento é de 19 cm, foram avaliadas 6 alturas, sendo elas: 0 cm (base da cavidade), 6,2 cm, 9,5 cm, 12,2 cm, 15,2 cm e 18,4 cm. Essas alturas foram estipuladas de acordo com os béqueres disponíveis para variação das posições.

Para o mapeamento dos *hotspots* para o plano xz, foram avaliadas 6 posições. Foi definida a parte esquerda da cavidade como ponto inicial para o mapeamento e, a partir dela, foram mapeadas as demais posições em sequência. As posições mapeadas foram: 0 cm (parte esquerda da cavidade), 5,5 cm, 11 cm, 16,5 cm, 22 cm e 27,5 cm.

O tempo de aquecimento para a placa resistiva de carvão ativado foi estabelecido em 40 s, tempo suficiente para identificação dos principais pontos de aquecimento. Já para a placa composta por óxido de ferro o tempo foi de 60 s. A diferença de tempo de uma placa resistiva para a outra foi devido ao fato de a placa composta por óxido de ferro precisar de um maior tempo para que os pontos de aquecimento fossem identificados.

Após o aquecimento, o papel termo sensível era retirado da placa resistiva. A Figura 11 mostra como o papel termo sensível permanecia após o aquecimento micro-ondas.

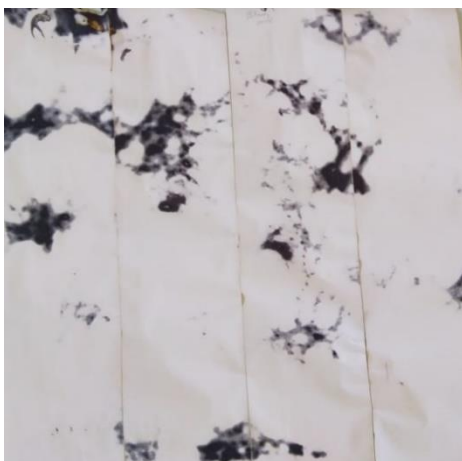


Figura 11: Papel termo sensível após o aquecimento.

Observou-se que para uma melhor qualidade de análise dos pontos de aquecimento, era necessário que o papel termo

sensível fosse digitalizado e fosse realizado um tratamento das imagens para destacar o local dos pontos de aquecimento, processo que foi feito utilizando o *software ImageJ*, que realiza uma diferenciação entre tons claros e escuros. Dessa forma, as imagens dos pontos de aquecimento ficaram com maior qualidade para realização da análise, o que pode ser observado na Figura 12.

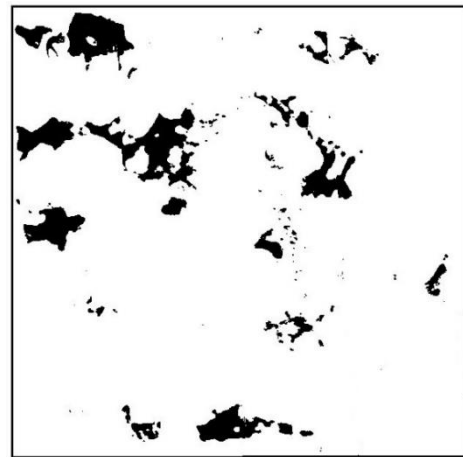


Figura 12: Papel termo sensível após tratamento pelo *software ImageJ*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapeamento da placa de carvão ativado

Foi realizado o mapeamento tridimensional da cavidade do forno micro-ondas, realizando o mapeamento do plano xy através de uma variação de altura e dos planos xz e yz através de uma variação de posição lateral.

Plano xy: Analisando os pontos de aquecimento de forma individual, percebe-se um padrão na posição dos mesmos à medida em que se aumenta a altura da placa resistiva. Para a altura de 0 cm (Figura 13) há uma maior quantidade de pontos de aquecimento nas bordas e quase inexistência de pontos de aquecimento no centro da placa resistiva. Caso seja desejado um aquecimento rápido de determinada amostra no centro, essa altura não é indicada. Para as alturas intermediárias 9,5 e 12,2 cm (Figura 14 e 15), os *hotspots* estão situados no centro da placa resistiva, o que é desejável para o aquecimento de qualquer material, pois, geralmente amostras submetidas ao aquecimento via forno micro-ondas são posicionadas no centro da cavidade do equipamento.

Para a altura maior de 18,4 cm (Figura 16), os pontos de aquecimento foram mais uniformes, podendo ser observados tanto nas bordas quanto no centro da placa resistiva, porém com menor presença na parte central.

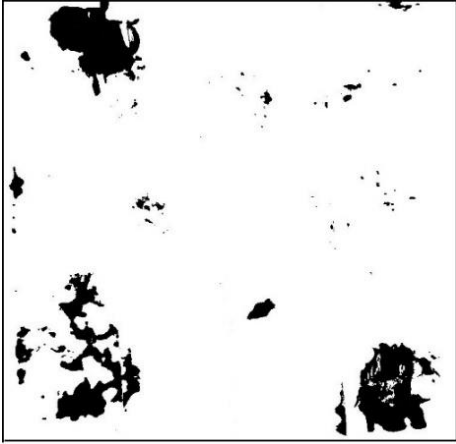


Figura 13: Mapeamento plano xy para a posição de 0 cm na placa de carvão ativado.

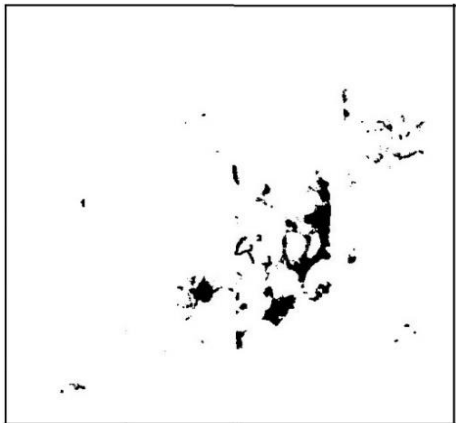


Figura 14: Mapeamento plano xy para a posição de 9,5 cm na placa de carvão ativado.

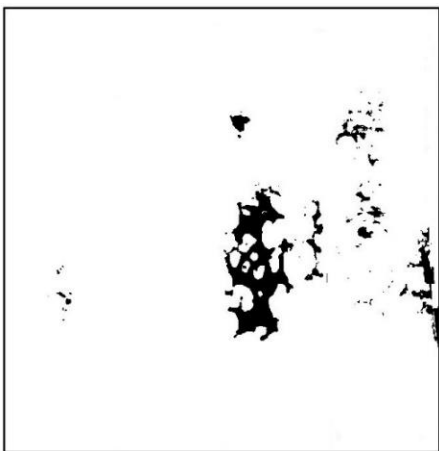


Figura 15: Mapeamento plano xy para a posição de 12,2 cm na placa de carvão ativado.

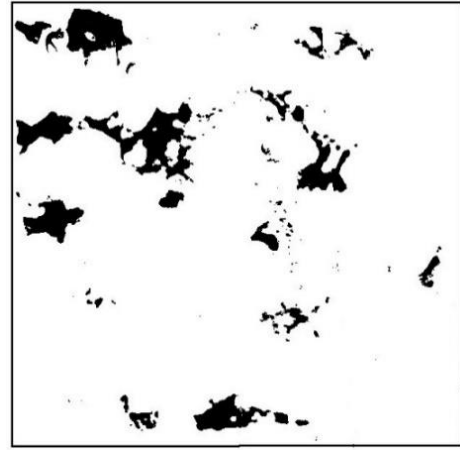


Figura 16: Mapeamento plano xy para a posição de 18,4 cm na placa de carvão ativado.

Plano xz: Ao observar os pontos de aquecimento nesse plano, percebe-se certa semelhança com o que ocorre no plano xy.

Para a posição de 0 cm (Figura 17), nota-se uma maior quantidade de pontos de aquecimento nas extremidades, com pouca presença dos mesmos no centro da placa resistiva. Sendo assim, essa posição não é adequada para um aquecimento rápido.

Para a posição intermediária de 11 cm, observa-se através das Figuras 18, uma maior quantidade de pontos de aquecimento no centro da placa resistiva, o que é desejável para o aquecimento de qualquer amostra.

Já nas posições de 22 e 27,5 cm (Figura 19 e 20), observa-se grande presença de pontos de aquecimento na região central da placa resistiva. Isso pode ser justificado pelo fato de que, nessas últimas duas posições, a placa resistiva estava situada próxima ao magnetron do equipamento, onde são geradas as ondas eletromagnéticas que entram na cavidade.



Figura 17: Mapeamento plano xz para a posição de 0 cm na placa de carvão ativado.



Figura 18: Mapeamento plano xz para a posição de 11 cm na placa de carvão ativado.



Figura 19: Mapeamento plano xz para a posição de 22 cm na placa de carvão ativado.



Figura 20: Mapeamento plano xz para a posição de 27,5 cm na placa de carvão ativado.

Plano yz: Ao contrário dos demais planos, o plano yz não apresentou resultados similares em relação à presença dos pontos de aquecimento.

Percebe-se através das Figuras 21, 22, e 23, certa semelhança para as posições de 0, 11 e 22 cm, que se caracterizam por apresentarem pontos de aquecimento na região central e nas extremidades da placa resistiva, sendo a região central ideal para amostras que necessitam de um rápido tempo de aquecimento. A posição de 27,5 cm (Figura 24) apresentou, predominantemente, pontos de aquecimento nas extremidades, com poucos pontos na região central da placa resistiva, sendo assim, não é ideal para um aquecimento

que necessite de um rápido tempo de aquecimento.

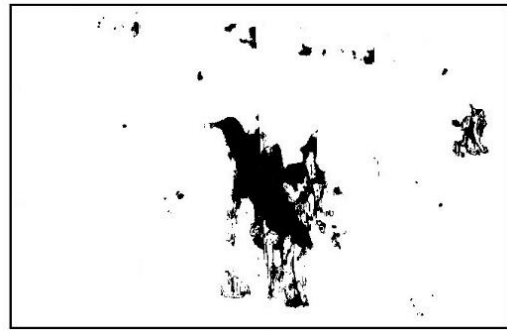


Figura 21: Mapeamento plano yz para a posição de 0 cm na placa de carvão ativado.



Figura 22: Mapeamento plano yz para a posição de 11 cm na placa de carvão ativado.



Figura 23: Mapeamento plano yz para a posição de 22 cm na placa de carvão ativado.

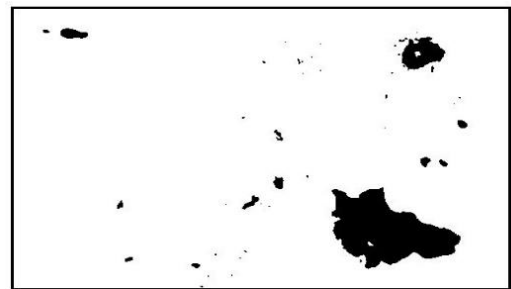


Figura 24: Mapeamento plano yz para a posição de 27,5 cm na placa de carvão ativado.

Com o mapeamento tridimensional realizado, foi possível perceber que,

dependendo da localização da amostra dentro do equipamento, não se obtém um aquecimento homogêneo, pois, para o tempo estabelecido, os pontos de aquecimento são diferentes em todos os planos estudados. Então, dependendo da posição em que a amostra esteja situada dentro da cavidade, o equipamento pode não aquecer a amostra de forma homogênea, necessitando de um gasto de energia extra devido ao tempo superior que deverá ser aplicado para atingir a temperatura desejada.

Para todos os planos mapeados, os pontos de aquecimento foram distintos e de fácil identificação, diferentemente dos resultados obtidos por Sebben *et al.* (2014) e Rocha (2017), pois, nesses estudos, não foi possível observar com qualidade os pontos de aquecimento que foram gerados.

Percebe-se também que, com apenas 40 s, houve a demarcação dos principais pontos de aquecimento, mostrando que o carvão ativado um material absorvente de micro-ondas. Já a cola branca, sendo um polímero, é considerada um material transparente às micro-ondas, ou seja, possui baixa absorção da energia eletromagnética. Sendo assim, esse material possui baixa ou nenhuma interferência no surgimento dos pontos de aquecimento.

Mapeamento da placa de óxido de ferro (III)

Assim como foi feito no mapeamento da placa de carvão ativado, foi realizado o mapeamento tridimensional da cavidade do forno micro-ondas com a placa de óxido de ferro (III). Portanto realizou-se o mapeamento do plano xy variando-se a altura e dos planos xz e yz variando-se a posição lateral.

Plano xy: Analisando os pontos de aquecimento de forma individual, percebe-se através das Figuras 25, 27 e 28, que as alturas de 0, 12,2 e 18,4 cm apresentaram uma tendência de formação de pontos de aquecimento na região central e nas bordas da placa resistiva, caracterizando um aquecimento homogêneo. Portanto, essas alturas são indicadas para um aquecimento rápido e de qualidade. Para a altura de 9,5 cm (Figura 26), observou-se pontos de aquecimento situados na região central e nas extremidades da placa resistiva, porém em menor quantidade.



Figura 25: Mapeamento plano xy para a posição de 0 cm na placa de óxido de ferro.

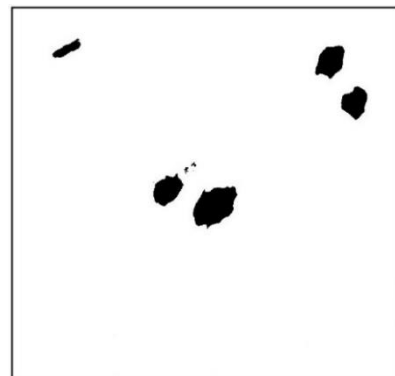


Figura 26: Mapeamento plano xy para a posição de 9,5 cm na placa de óxido de ferro.



Figura 27: Mapeamento plano xy para a posição de 12,2 cm na placa de óxido de ferro.

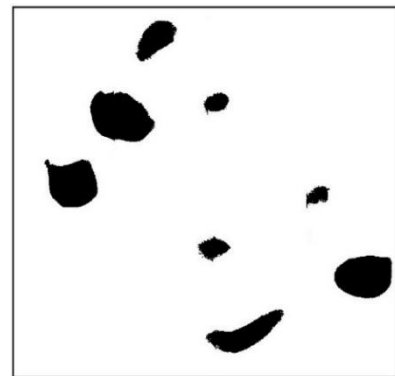


Figura 28: Mapeamento plano xy para a posição de 18,4 cm na placa de óxido de ferro.

Os pontos de aquecimento gerados pela placa resistiva de óxido de ferro (III) para o plano xy foram similares aos gerados pela placa resistiva de carvão ativado, porém um pouco mais suavizados, ou seja, de menor tamanho, considerando que o óxido de ferro (III) pode estar absorvendo menos as micro-ondas comparado ao carvão ativado. Sendo assim, há uma subestimação desses pontos que, como visto na placa resistiva composta por carvão ativado, são maiores e bastante difusos.

Plano xz: Observando os pontos de aquecimento neste plano, a posição de 11 cm (Figura 30) apresentou pontos de aquecimento situados próximos a extremidade direita da placa resistiva, com ausência ou pequena presença de pontos de aquecimento situados próximos a região central. Portanto, essas posições não são adequadas para realização de aquecimento rápido. No tempo estabelecido, as demais posições de 0, 22 e 27,5 cm (Figuras 29, 31 e 32) apresentaram um padrão de pontos de aquecimento situados próximos à região central e às bordas da placa resistiva, caracterizando um aquecimento homogêneo e, conseqüentemente, ideal. As posições de 22 e 27,5 cm apresentaram grandes pontos de aquecimento no tempo estipulado, por estarem situadas próximo à fonte de radiação eletromagnética do equipamento, o magnetron.



Figura 29: Mapeamento plano xz para a posição de 0 cm na placa de óxido de ferro.

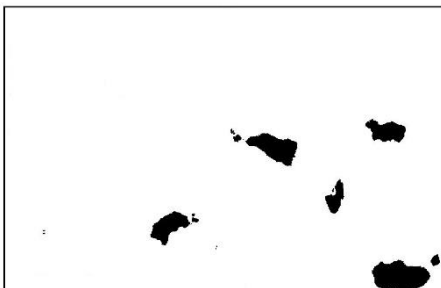


Figura 30: Mapeamento plano xz para a posição de 11 cm na placa de óxido de ferro.

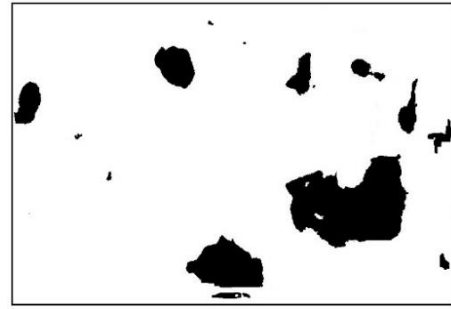


Figura 31: Mapeamento plano xz para a posição de 22 cm na placa de óxido de ferro.

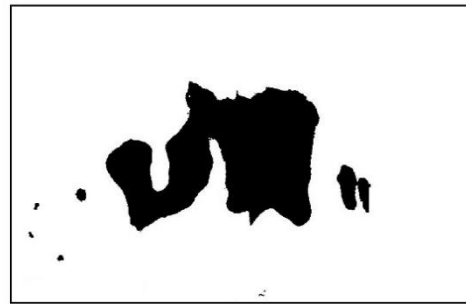


Figura 32: Mapeamento plano xz para a posição de 27,5 cm na placa de óxido de ferro.

Os pontos de aquecimento gerados pela placa resistiva de óxido de ferro (III)/cola branca para o plano xz ficaram similares aos pontos de aquecimento gerados pela placa resistiva de carvão ativado/cola branca nesse mesmo plano, porém, com os pontos de aquecimento mais suavizados.

Plano yz: Assim como ocorreu com a placa resistiva de carvão ativado/cola branca, os pontos de aquecimento para o plano yz não apresentaram similaridade com os pontos de aquecimento dos demais planos. Para as posições de 0 e 27,5 cm (Figuras 33 e 36), os pontos de aquecimento gerados apresentaram maior frequência nas bordas. Essas posições não são adequadas para se colocar a amostra e submetê-la ao processo de aquecimento, pois o mesmo não será homogêneo.

Porém, para as posições de 11 e 22 cm, observa-se através das Figuras 34 e 35, que os pontos de aquecimento surgiram tanto nas bordas quanto na região central, o que indica um aquecimento homogêneo da placa resistiva no tempo determinado. Portanto, essas três posições são adequadas para realização de aquecimento considerado rápido e de qualidade.



Figura 33: Mapeamento plano yz para a posição de 0 cm na placa de óxido de ferro.

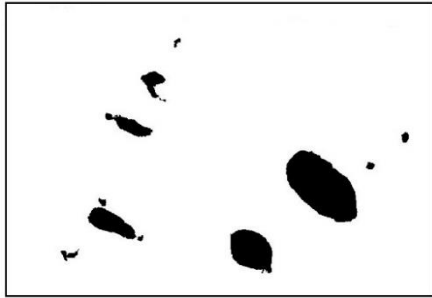


Figura 34: Mapeamento plano yz para a posição de 11 cm na placa de óxido de ferro.



Figura 35: Mapeamento plano yz para a posição de 22 cm na placa de óxido de ferro.



Figura 36: Mapeamento plano yz para a posição de 27,5 cm na placa de óxido de ferro.

Os pontos de aquecimento gerados pela placa resistiva de óxido de ferro (III) para o plano yz ficaram similares e mais suavizados comparados aos pontos de aquecimento gerados pela placa resistiva de carvão ativado.

Para a placa resistiva de óxido ferro (III), foi possível perceber que, dependendo da

localização da amostra dentro do equipamento, não se obtém um aquecimento homogêneo, pois, para o tempo estabelecido, os pontos de aquecimento são diferentes em todos os planos estudados.

Assim como ocorreu para a placa resistiva de carvão ativado, para a placa resistiva de óxido de ferro (III), os resultados dos pontos de aquecimento para todos os planos foram distintos e de fácil identificação.

Os principais pontos de aquecimento surgiram com 60 s, propiciando um bom aquecimento da placa resistiva, caracterizando o óxido de ferro como um material absorvente de micro-ondas, que posteriormente se converte em energia térmica. Como já citado, a cola branca é considerada um material transparente e, por isso, possui baixa ou nenhuma interferência no surgimento dos pontos de aquecimento.

CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a possibilidade de realização de um mapeamento tridimensional dos pontos de aquecimento de uma cavidade multimodo de um forno micro-ondas. O mapeamento foi realizado de forma satisfatória para as duas placas resistivas que foram confeccionadas, visto que os resultados gerados para os pontos de aquecimento foram distintos e de fácil identificação.

Comparando-se os pontos de aquecimento que surgiram para todos os planos estudados nas duas placas resistivas que foram confeccionadas, percebe-se que os pontos da placa resistiva de óxido de ferro (III)/cola branca foram menores em comparação com a placa resistiva de carvão ativado/cola branca. Isso se dá porque o óxido de ferro (III) absorve menos as ondas eletromagnéticas, o que explica a necessidade de maior tempo de exposição às micro-ondas comparado ao tempo de exposição da placa resistiva composta por carvão ativado.

Apesar da diferença de tempo de exposição às ondas eletromagnéticas de cada placa resistiva, os pontos de aquecimento obtidos para os planos foram de certa forma similares. Em geral, no plano xy foi possível observar que, para as duas placas resistivas, as alturas que apresentaram pontos de aquecimento situados na região central e

extremidades foram 12,2 e 18,4 cm. Logo, essas posições são ideais para um aquecimento rápido e homogêneo da amostra. Para o plano xz, obteve-se uma melhor concentração de *hotspots* na região central e extremidades da placa nas posições de 22 e 27,5 cm, devido ao fato de que, nessas posições, a placa resistiva estava situada próximo ao magnetron. E, para o plano yz, as posições que apresentaram condições ideais para um bom aquecimento foram nas posições de 11 e 22 cm. O método utilizado neste trabalho para o mapeamento dos pontos de aquecimento é um método inovador e os resultados obtidos foram comparados com outros métodos de diferentes estudos realizados na área. Os resultados encontrados se mostraram promissores, pois, diferentemente dos demais estudos encontrados na literatura, os pontos de aquecimento gerados neste trabalho foram de fácil visualização e interpretação. Portanto, este método pode contribuir para a realização de um mapeamento dos principais pontos de aquecimento de fornos micro-ondas com o intuito de otimizar sua eficiência para fins científicos ou industriais.

REFERÊNCIAS

- GUÉNIN, E. Microwave Engineering of Nanomaterials. New York: Jenny Stanford Publishing, 2016. 452 p.
- LEONELLI, C.; VERONESI, P.; CRAVOTTO, G.. Microwave-Assisted Extraction: an introduction to dielectric heating. Food Engineering Series, [S.L.], p. 1-14, 2012. Springer US.
- MEHDIZADEH, M. MICROWAVE / RF APPLICATORS AND PROBES FOR MATERIAL HEATING, SENSING AND PLASMA GENERATION A DESIGN GUIDE. Oxford: Elsevier, 2010.
- MUJUMDAR, A.S. Handbook of Industrial Drying. Taylor & Francis Group. 2007.
- PETRI, I.J. Secagem por micro-ondas na descontaminação de cascalho de perfuração. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2014.
- ROCHA, K.R.; JÚNIOR, A.J.B.. Otimização da síntese do óleo de bétula usando micro-ondas geradas por um magnetron mapeado. Perspectivas da Ciência e Tecnologia, v.9, p.54-61, 01 nov. 2017.
- SEBBEN, J.; RAYMUNDO, L.; TRIERWEILER, J. Desenvolvimento de uma Ferramenta para Mapear o Padrão de Aquecimento em Micro-ondas. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.