



## O forno de micro-ondas como aporte didático para as aulas de Física

<sup>a</sup>Shalimar Calegari Zanatta, <sup>a</sup>Lucila Akiko Nagashima, <sup>a</sup>Marilene Mieko Yamamoto Pires,  
<sup>a</sup>Márcia Regina Royer, <sup>b</sup>Franciele Zanardo Bohm

<sup>a</sup>Professoras da pós graduação *stritu senso* em formação interdisciplinar de professor da UNESPAR,  
Paranavaí. Endereço: Av. Gabriel Esperidião, s/n, CEP 87.708-000. Paraná, Brasil.

<sup>b</sup>Professora Adjunto A da UNESPAR – Paranavaí – Endereço: Av. Gabriel Esperidião, s/n, CEP 87.708-000. Paraná, Brasil.

### ARTICLE INFO

**Received:** 11 November 2013

**Accepted:** 25 June 2014

**Keywords:**

Forno de micro-ondas.  
Interdisciplinaridade.  
Ensino de Física.

**E-mail addresses:**

shalica@yaho.com.br  
lucilanagashima@uol.com.br  
mmpires@hotmail.com  
marciaroyer@yahoo.com.br  
fzanardobohm@gmail.com

ISSN 2007-9842

© 2014 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

The first microwave oven appeared in the stores in 1952, but it did not hit with the housewives. They believed that this equipment brought damage to health by being 'radioactive'. In Brazil, between the mid 80s and early 90s is much talked and questioned about the dangers of microwave oven. However, gradually he was being used and becoming part of the Brazilian family so that currently, there is no kind of questioning on the part of our youth. It is emphasized here that the current lack of questioning does not involve the acquisition of knowledge about its functioning. When these issues are addressed by the teacher in the classroom is observed that curiosity is piqued and earlier fears return to populate the minds of our students. This implies that these fears are part of alternative conceptions, dictated by common sense. These facts, combined with the related concepts, make this object a device with rich potential for school physics because it can raise as much as epistemological conceptual discussions. In this sense, this paper presents the possible contents that can be addressed in physics classes, using the microwave oven as teaching material, such as electromagnetic waves, Lorentz force, forms of energy, power, energy cost, forms of propagation of heat, the structure of matter and the quantum energy levels of the molecules, resonance. The level of the topics covered can be tailored to the age group of students. It was observed that when the student's curiosity is piqued, and motivational factors, such as cooking Brigadier (Brazilian sweet) is conducted in the classroom, the content covered more assimilated and Physics classes become pleasant, breaking the prevailing paradigm.

O primeiro forno de micro-ondas surgiu nas lojas em 1952, porém, não fez sucesso entre as donas de casa. Elas acreditavam que este equipamento trazia danos à saúde por ser 'radioativo'. No Brasil, entre meados da década de 80 e início da década de 90 muito se falava e questionava sobre os perigos do forno de micro-ondas. No entanto, aos poucos ele foi sendo utilizado e cada vez mais faz parte da família brasileira de tal forma que atualmente, não há nenhum tipo de questionamento por parte dos nossos jovens. Ressalta-se aqui que a atual falta de questionamento não implica na aquisição do conhecimento sobre seu funcionamento. Quando as mesmas questões são abordadas pelo professor em sala de aula observa-se que a curiosidade é aguçada e os receios anteriores retornam a povoar a mente dos nossos alunos. Isto implica que estes temores fazem parte das concepções alternativas, ditadas pelo senso comum. Estes fatos, aliados aos conceitos relacionados, tornam este objeto um equipamento com rico potencial para as aulas de Física porque pode levantar discussões tanto epistemológicas quanto conceituais. Neste sentido, este trabalho apresenta os possíveis conteúdos que podem ser abordados nas aulas de Física, utilizando o forno de micro-ondas como material didático, tais como: ondas eletromagnéticas, força de Lorentz, formas de energia, potência, custo energético, formas de propagação do calor, estrutura da matéria e os níveis quânticos de energia das moléculas, ressonância. O nível dos tópicos abordados pode ser adaptado para a faixa etária dos estudantes. Observou-se que quando a curiosidade do aluno é aguçada, e fatores motivacionais, como o cozimento do brigadeiro (doce brasileiro) é realizado em sala de aula, os conteúdos abordados tornam-se mais assimiláveis e as aulas de Física se tornam agradáveis, quebrando o paradigma vigente.

## I. INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 80 a 90, a população brasileira pôde observar ampla divulgação dos princípios de funcionamento do forno de micro-ondas, em revistas científicas populares. Isto porque a população, em geral resistia a aquisição deste eletrodoméstico em função do desconhecimento que permeava seu funcionamento. Dúvidas sobre os possíveis danos a saúde, produção de alimentos radioativos, produção de alimentos com radicais livres, efeitos ionizantes, eram abordadas de forma exaustiva e sensacionalista. De fato, este modo de cozinhar causou impressões negativas desde a primeira unidade produzida. Veja a reportagem abaixo.

Em 1939, ingleses e americanos fabricaram os primeiros radares de longo alcance graças ao aparecimento do magnetron. Esse dispositivo eletrônico, capaz de gerar micro-ondas, começou a ser estudado pelas indústrias de guerra e talvez se restringisse a esse campo se o engenheiro eletrônico americano Percy Lebaron Spencer (1894-1970) não adorasse chocolate. Fabricante de equipamento bélicos, Spencer passou uma manhã de 1946 trabalhando em uma sala onde havia um magnetron. Deixou seus bombons ao lado do equipamento e, quando bateu a fome, viu que o chocolate estava derretido, apesar de a temperatura ambiente ser fria. Intrigado, no dia seguinte Spencer trouxe milho. Minutos depois, havia pipocas por todo o laboratório o engenheiro fez várias experiências culinárias até criar os fornos de micro-ondas em 1952. Mas o lançamento encalhou nas lojas. As donas de casa não acreditavam que algo usado na guerra fosse inofensivo na cozinha. (Superinteressante, setembro de 1996).

Tomando o texto acima como referência para uma época que marcou os diversos questionamentos sobre o funcionamento do forno de micro-ondas, hoje, após 18 anos da publicação citada acima, o que a população, ou melhor, nossos alunos pensam sobre este assunto? Uma rápida pesquisa entre os acadêmicos do último ano do curso de Ciências –licenciatura plena, futuros professores do Ensino Fundamental, mostrou que, aproximadamente 78% tem forno de micro-ondas e entre estes, 100% o utilizam para aquecer ou descongelar alimentos sem se preocupar com possíveis efeitos colaterais, antes levantados. Os 22% que não o possuem disseram que não sentem necessidade de aquisição. Entre os usuários, apenas 11% deles declararam ter lido o manual do equipamento, mas ninguém soube apontar a frequência utilizada pelo forno (informação presente nos manuais no item “especificações técnicas”). Por outro lado, 100% entre os usuários acham que a utilização do forno de micro-onda é vantajosa em relação ao fogão a gás em função do custo e da economia de tempo. Quanto às definições do que seriam as micro-ondas e as justificativas para a utilização de uma determinada frequência, (2.450 MHz) para o processo de cozimento, todos mostraram conhecimento inadequado, revelando grande confusão entre os conceitos de onda eletromagnética, calor, frequência, energia, potência, interação com a matéria. Entre as inúmeras concepções alternativas, a mais comum, foi identificar as micro-ondas como ondas eletromagnéticas de calor! Apesar destes dados, referirem apenas a uma turma de acadêmicos, acreditamos que estes resultados estão bem representativos. Concluímos que atualmente o forno de micro-ondas é utilizado pela maioria da população sem nenhum tipo de questionamento, isto porque já construiu suas concepções alternativas que cederam lugar a curiosidade.

Cabe ao professor, resgatar a curiosidade, fazendo com que os alunos apresentem uma postura de questionamento frente ao desenvolvimento tecnológico, buscando conhecimento mais profundo através do incentivo pela busca constante de respostas. Essa postura interdisciplinar promoverá o amadurecimento cognitivo que se espera dos cidadãos do amanhã (Fazenda I., 2012). Questões como esta passa por aspectos complexos que abrangem até a auto estima pessoal do aluno (Abrante *et al.*, 2010).

## II. OS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO FORNO DE MICRO-ONDAS

O forno de micro-ondas, é constituído basicamente por uma caixa ressonante e uma válvula, denominada de magnetron, que é responsável pela produção da onda eletromagnética na frequência escolhida para operação do forno-2.450 MHz ou 2.45 GHz (Panasonic, 2005). Um diagrama esquemático do funcionamento da válvula pode ser observado na Figura 1.

Na Figura 1(a), na ausência do imã, os elétrons saem do filamento descrevendo trajetórias retilíneas na direção das aletas (Nussenzveig, 1997). Quando essa peça metálica e oca é posicionada entre dois imãs (Figura 1b), o fluxo do campo magnético é perpendicular à direção do vetor velocidade dos elétrons, fazendo com que os elétrons descrevam uma trajetória circular, circulando numa frequência de 2.450 MHz devido a força de Lorentz (Figura 1c).

Onde:  $\mathbf{F} = e\mathbf{V} \times \mathbf{B}$

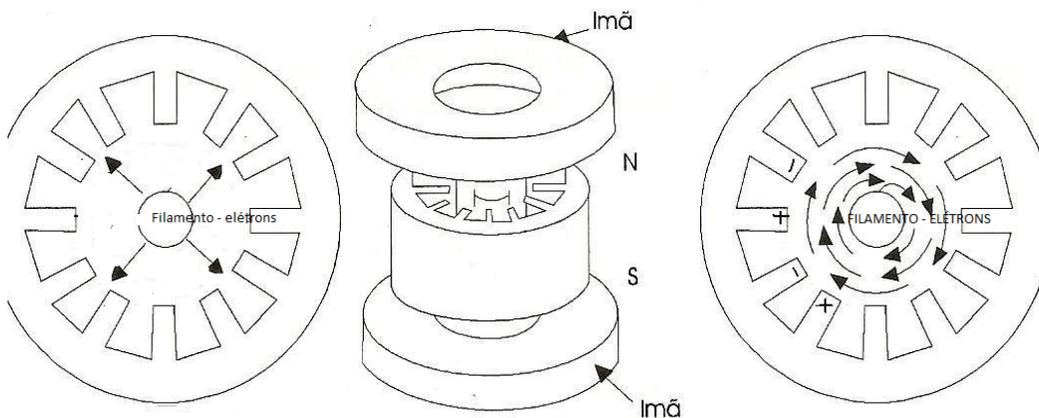
F= Força de Lorentz

e = carga elétrica fundamental;

V = velocidade da carga;

B = fluxo de campo magnético devido à presença dos imãs.

A alta frequência de rotação dos elétrons no interior da válvula promove o aquecimento da mesma, por isso ela apresenta um sistema de dissipação de calor, conforme pode ser visto na Figura 2.



**FIGURA 1.** Diagramas esquemáticos do interior da válvula magnetron. (a) desenho esquemático do interior da válvula na ausência dos imãs (ausência do fluxo de campo magnético), (b) desenho esquemático da posição da válvula entre dois imãs, (c) desenho esquemático do movimento de elétrons, no interior da válvula, devido ao fluxo de campo magnético. (Figura adaptada do Livro Técnico Panasonic – Divisão C.S. Dept. Apoio Técnico - cortesia).

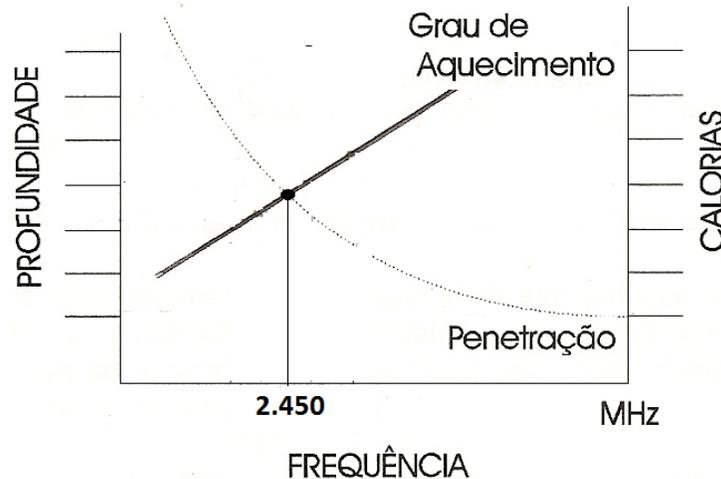


**FIGURA 2.** Visão externa da válvula magnetron. Foto obtida pelos autores.

A cavidade do forno é metálica com tamanhos múltiplos do comprimento da onda eletromagnética utilizada para o cozimento (aproximadamente 12cm). Se  $c = \lambda.f$  então  $3 \times 10^8 = \lambda. 2450 \times 10^6$ . O que implica  $\lambda = 0,12$  m. Um experimento com papel fax pode mostrar os pontos de máximo da onda ressonante resultante. Prepare uma placa de isopor do tamanho do forno, cubra-o com papel toalha umedecido, e a seguir com papel termossensível, utilizado para fax. Coloque o conjunto no forno sem girar, por 10 a 30 segundos. Observe o padrão de regiões escuras formadas sobre o papel de fax, que é termossensível. As regiões escuras estão espaçadas entre si por aproximadamente 12 cm (Carvalho, 2005).

### III. INTERAÇÃO ONDA - MATÉRIA

A onda eletromagnética, responsável por cozinhar, tem uma frequência de 2.450 MHz, conforme já anunciado. A escolha para esta frequência específica pode ser compreendida pelo gráfico da Figura 3.



**FIGURA 3.** Comportamento do grau de aquecimento (reta) e penetração (curva) das ondas eletromagnéticas num alimento padrão em função da frequência. (Figura adaptada do Livro Técnico Panasonic – Divisão C.S. Dept. Apoio Técnico - cortesia).

Observe (Figura 3) que o ponto de intersecção entre a curva da profundidade de penetração da onda e a reta de aquecimento produzido no alimento ocorre na frequência de 2.450 MHz ou 2,45 GHz. Os engenheiros interpretaram este resultado como uma indicação da melhor eficiência do forno. Como mostra a Figura 3, para valores mais altos de frequência haveria menor penetração das ondas eletromagnéticas no alimento e maior aquecimento da sua superfície, favorecendo a queima da superfície do alimento sem que seu interior fique cozido.

### IV. A ESTRUTURA DA MATÉRIA: ÁTOMOS E MOLÉCULAS

O processo de cozimento em forno de micro-ondas implica na interação entre a radiação eletromagnética e o alimento (matéria). Sendo assim, é importante entendermos um pouco da constituição da matéria, sua estrutura atômica e eletrônica e, seu comportamento frente a incidência da radiação.

Em 1.900, as observações da radiação emitida por corpos aquecidos (radiação do corpo negro) levaram Max Planck anunciar que a emissão e absorção de energia seriam feitas na forma de pequenos “pacotes” que ele chamou de “quantum” cuja relação com a frequência é dada por:  $E = hf$  (Nussenzveig, 1997).

Onde:

$h$  = é a constante de Planck e vale  $6,626 \times 10^{-34}$  J.s.

$f$  = frequência da onda eletromagnética.

Em 1.912 Niels Bohr, anunciou que:

1.- O elétron pode mover-se em algumas orbitas circulares permitidas em torno do núcleo atômico central sem emitir radiações, isto é, sem perder energia e cair no núcleo.

2.- Para o elétron passar de uma orbita para outra mais energética ele deve absorver energia e quando retornar à orbita original emitirá esta energia de volta como onda eletromagnética cujo comprimento de onda ( $\lambda$ ) e frequência ( $f$ ) dependerá das camadas envolvidas no salto, ou seja, dependerá da diferença de energia entre elas. Os saltos são quantizados.

As radiações eletromagnéticas podem ser emitidas ou absorvidas pela matéria através de transições eletrônicas (mudanças no nível de energia dos elétrons), transições nos níveis rotacionais (modo como as moléculas giram), vibracionais (modo como as moléculas vibram).

Cada modo de vibração tem uma energia específica e diferem entre si. Se conhecermos a energia que incide em uma molécula, conheceremos quais serão seus possíveis modos de vibração.

No caso específico do cozimento por micro-ondas, é fácil calcular a energia das ondas eletromagnéticas. Veja que se  $E = hf$  então  $E = 1,6 \times 10^{-24}$  J ou  $0,16 \times 10^{-23}$  J. Por outro lado, a energia de rotação das moléculas pequenas se encontra na faixa de, aproximadamente  $10^{-23}$  J (Okuno, M., Vilela, M.A.C, 2005). Ou seja, as moléculas de água giram em torno de seus eixos de rotação ao absorver a energia das micro-ondas transformando energia eletromagnética em energia de rotação. Por outro lado, a energia necessária para observarmos uma transição eletrônica entre as camadas de elétrons é de aproximadamente  $10^{-8}$  J. Ou seja, é bem maior que a energia da micro-onda utilizada no forno, o que implica que as micro-ondas não promovem este tipo de transição.

Além da transformação da energia eletromagnética em energia de rotação, através da absorção da onda pela matéria, a molécula de água também se comporta como um dipolo elétrico. Na presença das micro-ondas estes dipolos ‘seguem’ o campo elétrico que é alternado numa frequência de 2,450 GHz. Este movimento da molécula de água no interior do alimento dissipa energia térmica entre as moléculas vizinhas.

## V. CUSTO ENERGÉTICO

Tomando como referência um forno de micro-ondas Panasonic NE-7669B (41L) a potência para consumo é de 1.420 W com 700 W de potência útil, conforme manual que acompanha o equipamento. Sabendo que o custo do kWh, no Brasil, é de R\$ 0,39 ou US\$ 0,17, para manter 1 hora de funcionamento, teremos:

$1,420 \text{ kW} \times \text{R\$ } 0,39 = \text{R\$ } 0,55$  por hora de funcionamento. Ou seja, para obtermos uma potência útil de 700 W, gastaremos R\$ 0,55 por hora ou US\$ 0,24.

De acordo com o sítio da Liquegás-Petrobrás o gás de cozinha (GLP) tem poder calorífico de 10.800 kcal/kg com 90% de eficiência.

Ou seja, 1 cal equivale a 4,18J, então  $10.800 \times 10^3$ , equivale a  $4,5144 \times 10^7$  J. Como a eficiência é de 90%, teremos  $4,063 \times 10^7$  J/kg.

Isto corresponde a  $5,28 \times 10^8$  J de energia útil para cada botijão residencial (13 Kg) do gás GLP teremos. O consumo médio, para uma boca do fogão (em fogo alto) é de 1.750 kcal/h, ou seja,  $7,315 \times 10^6$  J/h. Isto implica que um botijão residencial apresenta potência média de 2.032 W por boca por, aproximadamente 72 horas. Considerando que o botijão custa R\$ 50,00 ou aproximadamente US\$ 21,00, isto implica que o custo do gás para uma hora de funcionamento do fogão é de R\$ 0,69 ou US\$ 0,29.

Uma análise dos resultados revela que o fogão a gás produz uma potência quase três vezes maior do que o forno de micro-ondas, enquanto o custo é aproximadamente 1,7 vezes maior. Ou seja, o fogão a gás é mais econômico que o forno de micro-ondas. No entanto, se o fogão produz uma potência maior, por que o forno de micro-ondas seria mais rápido? Uma possível explicação seria as diferenças nos tamanhos das porções de alimento. Conforme relatado pelos entrevistados, o forno de micro-ondas é utilizado para esquentar o alimento que geralmente é colocado em porções individuais.

No entanto, novos experimentos devem ser conduzidos, como por exemplo, medidas experimentais do aquecimento da água em ambos os processos (micro-ondas e gás).

## VI. RECEITA DO BRIGADEIRO

1 lata de leite condensado

1 colher de chocolate em pó

1 colher de margarina

Misture os ingredientes num recipiente próprio para forno de micro-ondas, cujo volume interno seja pelo menos o dobro do volume dos ingredientes.

O cozimento de durar 8 minutos, porém não contínuo. Durante o aquecimento da mistura, formam-se bolhas de gás no seu interior. Ao subir para a superfície, as bolhas carregam a mistura e ficam presas nas moléculas do leite, gerando bastante espuma, que eventualmente entornará. Por isso é necessário interromper o cozimento a cada minuto e eliminar as bolhas. Após 8 etapas de cozimento/parada, a mistura terá evaporado bastante água e as moléculas do leite terão formado ligações que deixarão a mistura espessa. Deixe esfriar e enrole em bolinhas, tomando o cuidado de untar as mãos com margarina para evitar que a massa se cole na pele. Passe chocolate granulado nas bolinhas e está pronto (Carvalho, 2005).

## VII. CONCLUSÕES

Sabemos que os desafios da educação brasileira são imensos e, que a melhoria da qualidade de vida da população está diretamente relacionada com a qualidade do processo educacional. No entanto, pequenas atitudes no sentido de aproximar a educação com a realidade do aluno podem fazer diferença. O aluno deve sentir que ‘pertence à escola’.

Portanto esta deve criar condições de vínculos. As discussões em torno de equipamentos que estão disponíveis em suas casas podem auxiliar neste processo de construção do saber. As concepções alternativas devem ser exploradas pelo professor antes de apresentar os conceitos envolvidos para que o aluno compare suas crenças com as teorias estabelecidas pela comunidade científica. Acreditamos que este texto possa auxiliar o professor a construir uma aula diferenciada, mais interativa e promovendo vínculos, facilitando uma aprendizagem significativa.

## AGRADECIMENTOS

À UNESPAR e a FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA pelo apoio financeiro.

## REFERENCIAS

Abrante C. S. A. & Azevedo C, S. N. (2010). O Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura e a institucionalização da ciência no Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum. Belém*, 5(2), 469-489.

Carvalho, R. P. (2005). *Temas atuais de Física. Micro-ondas*. Livraria da Física-Sociedade Brasileira De Física.

Nussenzveig H. M. (1997). *Curso de Física básica. Vols. 3 e 4*. São Paulo: Editora Edgard Blucher.

Fazenda I. (2012). *Interdisciplinaridade: História, teoria e pesquisa*. Editora Papirus. 18<sup>a</sup> ed.

Panasonic. (2005). *Manual de instruções, Forno de 41L*. Fundamentos do forno de micro-ondas, Livro Técnico Vol. 3. Dept. Apoio Técnico.

Okuno, M. & Vilela, M.A.C. (2005). *Radiação ultravioleta: características e efeitos*. São Paulo: Editora livraria da Física. Sociedade Brasileira de Física.