

# MÁQUINA DE TRATAMENTO TÉRMICO POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

*Ravell Alves Rodrigues<sup>1</sup>*

*Edson Roberto da Silva<sup>2</sup>*

## RESUMO

Após a descoberta da indução eletromagnética por Michael Faraday, abriu-se um campo muito grande no setor industrial para a utilização deste fenômeno. Este trabalho visa a construção de um protótipo de uma máquina de tratamento térmico por indução eletromagnética para demonstração do seu funcionamento, mostrando como ocorre o aquecimento de materiais ferrosos quando expostos a um campo magnético. Para tal utilizou-se alguns componentes eletrônicos, fixados a um circuito e alimentado por uma fonte específica. Quando se liga o circuito, o mesmo gera um campo eletromagnético que produz correntes induzidas no interior do indutor aquecendo assim o corpo de prova nele inserido. Dentre vários resultados obtidos faz-se importante à relação entre a massa do corpo de prova e a corrente, quanto maior a massa, maior a corrente necessária para aquecer o corpo de prova. E o diâmetro do indutor é proporcional à concentração de campo magnético, quanto menor o diâmetro, maior a concentração do campo magnético no indutor. Com base nos resultados concluiu-se que é possível realizar o aquecimento de um corpo de prova ferroso, até atingir a coloração avermelhada, a partir de um sistema de aquecimento por indução eletromagnética.

Palavras-chave: Aquecimento por Indução Eletromagnética. Têmpera. Campo Magnético. Corrente Induzida.

---

<sup>1</sup>Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

<sup>2</sup> Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica.

# 1 INTRODUÇÃO

O aquecimento por indução ocorre no corpo de prova a aquecer sem nenhum contato. Usa alta frequência para aquecer materiais que são bons condutores elétricos. Uma vez que não ocorre o contato, o processo de aquecimento não deixa contaminantes no material a ser aquecido. Também é muito eficiente, devido ao calor realmente a ser gerado dentro da peça e/ou corpo de prova. Isso o distingue de outros métodos de aquecimento em que o calor é gerado numa chama ou elemento de aquecimento aplicado à peça. Por essas razões o aquecimento por indução necessita de algumas aplicações exclusivas na indústria.

## 1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem por objetivo geral descrever o processo de construção e funcionamento de uma máquina de tratamento térmico por indução eletromagnética, fabricada pelo próprio autor do trabalho. Como objetivo específico, este trabalho visa à construção de um protótipo de uma máquina por indução eletromagnética para fazer têmpera superficial. A construção deste protótipo será de grande importância para trabalhos e pesquisas futuras na Faculdade de Engenharia Mecânica.

## 1.2 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O professor Hans Christian Oesterd, físico de nacionalidade dinamarquesa, descobriu em seus estudos e experimentos, em 1820, que cargas elétricas se movimentando originavam um campo magnético. A comprovação teórica desses estudos levou vários cientistas a acreditar que a forma contrária também deveria ocorrer, ou seja, a variação de campo magnético deveria gerar uma corrente elétrica (ROSA, 2012).

A comprovação dessa teoria se deu em 1831, pelo professor Michael Faraday, físico e químico de nacionalidade inglesa. Em agosto de 1831, Faraday iniciou suas pesquisas que posteriormente culminariam na Lei de Faraday. Com dois experimentos iniciais envolvendo fios de cobre em pedaços de madeira com um galvanômetro inserido no circuito, ele constatou durante o primeiro experimento que, ao aplicar uma fonte de energia (bateria) de forma estacionária, a passagem da corrente não interferia no ponteiro do galvanômetro. Já no segundo, verificou que, de forma geral, a ocorrência de uma deflexão no ponteiro do galvanômetro aparecia somente quando se ligava ou desligava o circuito, ou seja, a corrente

somente era induzida com a variação do campo magnético devido à presença do segundo circuito. Ele comunicou o resultado à *Royal Society* em 24 de novembro 1831. Apesar de Joseph Henry e Michel Faraday descobrirem quase de forma simultânea a indução magnética, Faraday foi o primeiro a publicar seus resultados com grande riqueza de detalhes e organização (SEARS e ZEMANSKY, 2012).

Em uma experiência realizada posteriormente àquela descrita acima, Faraday aproximou um ímã permanente com formato cilíndrico de um solenóide ligado a um galvanômetro. No momento que a barra imantada era inserida no interior do solenóide o galvanômetro acusava a passagem de uma corrente elétrica. Quando removida, produzia-se uma corrente em sentido contrário à produzida durante a inserção da barra. Faraday constatou de imediato que um efeito análogo se produzia quando o solenóide era aproximado ou afastado do ímã, ficando este de forma estacionária. Verificou-se que a indução de corrente dependia apenas do movimento relativo entre o ímã e a bobina, o qual produzia a variação do campo magnético que a atravessava. Esse fenômeno passou a ser chamado nas literaturas como indução eletromagnética e foi descrito teoricamente e matematicamente pela Lei de Faraday de acordo com a Equação 1 (DIAS e MARTINS, 2004).

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Sendo:

$\varepsilon$  – Força eletromotriz induzida;

$d\Phi$  – Variação de fluxo magnético;

$dt$  – Intervalo de tempo.

O sinal de menos na Lei de Faraday resulta do sentido da força eletromotriz induzida. Isto é obtido aplicando uma lei da Física conhecida como Lei de Lenz que tem como definição a força eletromotriz induzida tem tal sentido que se opõe, ou tende a se opor, à variação que a produz. Ou seja, quando um fluxo magnético através de uma superfície varia, surge uma corrente induzida que origina um campo magnético que produz um fluxo próprio contrário à variação inicial, se o fluxo magnético diminui a corrente induzida irá criar um campo magnético com o mesmo sentido do fluxo, se o fluxo magnético aumenta a corrente induzida irá criar um campo magnético com o sentido oposto ao sentido do fluxo, isso ocorre

a fim de manter sempre o equilíbrio durante a variação do fluxo magnético (NARDELLI, 2012).

### 1.3 TÊMPERA SUPERFICIAL POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Segundo Foucault entende-se por têmpera como o processo de tratamento térmico de aços para aumentar a dureza e a resistência mecânica dos mesmos. A têmpera tem duas etapas: aquecimento e esfriamento rápido. O objetivo do aquecimento é a organização da estrutura cristalina do metal numa fase chamada austenita. O resfriamento brusco visa obter uma microestrutura chamada martensita que é o endurecimento do metal após o processo de têmpera, levando em consideração a temperatura e o tempo de resfriamento.

Na têmpera por indução, o calor é gerado na própria peça por indução eletromagnética sem contato com meios físicos. Para isso, utilizam-se bobinas de indução através das quais flui uma corrente elétrica induzida (Foucault).

Nesse processo obtêm-se altas temperaturas de forma rápida, além de apresentar ainda a vantagem de se construir bobinas de diversos formatos e poder adaptar as diversas formas de peças a serem tratadas. Algumas formas de se controlar a profundidade de aquecimento são: pela forma da bobina, espaço entre a bobina de indução e a peça, taxa de alimentação da força elétrica, frequência e tempo de aquecimento. Após a têmpera superficial, os aços são revenidos na maioria das vezes com temperaturas baixas, com o objetivo principal de aliviar as tensões originadas na peça (CHIAVERINI, 1986).

Os ferros fundidos cinzentos, comuns ou ligados também podem ser temperados superficialmente, por chama ou indução, de modo a produzir uma camada superficial martensítica dura e resistente ao desgaste (CHIAVERINI, 1986).

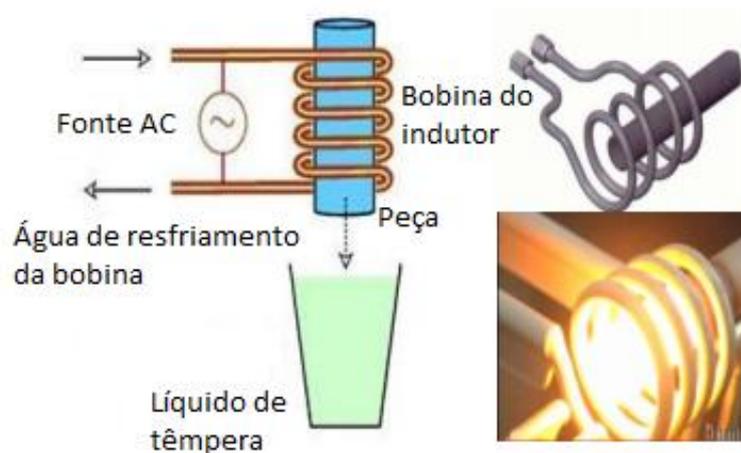
O tratamento térmico por indução eletromagnética de materiais é utilizado em diversos campos da engenharia, com uma variedade de aplicação, incluindo têmpera total, têmpera superficial, revenimento, alívio de tensões, recozimento, normalização e sinterização de metais pulverizados, entre outros. Principalmente quando se deseja alterar as propriedades superficiais de peças metálicas e equipamentos. O tratamento térmico por indução eletromagnética é sem dúvida um dos mais satisfatórios processos de tratamento térmico (FERREIRA, 2004).

Em muitas aplicações, o tratamento térmico por indução é usado somente em partes selecionadas da peça. O processo é realizado em um curto espaço de tempo e com alta eficiência, porque a energia é aplicada somente na região onde se requer o tratamento térmico.

Isto resulta em alta produtividade, ou seja, poucas distorções nas formas geométricas da peça, permitindo utilizar pequenos espaços físicos para instalação dos equipamentos e gerar grandes benefícios ambientais (OLIVEIRA, 2002).

Na têmpera por indução, todo potencial energético necessário a este processo é fornecido de forma elétrica como pode ser observado na Figura 1. Um conversor fornece uma corrente de forma alternada e alta frequência para uma bobina de trabalho (indutor) que induz uma corrente parasita (Foucault) na superfície da peça aquecendo-a rapidamente. A temperatura depende da potência disponível e do tempo de aquecimento. A profundidade de penetração do calor fornecido a peça e ou corpo de prova é basicamente determinada pela frequência utilizada. Fatores importantes também são o tempo de austenitização e a densidade de potência em kW/cm<sup>2</sup> bem como a temperabilidade do metal (TENÓRIOA et. al, 2015).

**FIGURA 1-** Esquema ilustrativo do processo de têmpera por indução eletromagnética



Fonte: Rudnev et al, 2003.

Quando uma corrente elétrica alternada circula através de um condutor produz sempre um campo magnético à volta deste condutor. Se a corrente circula em um condutor em forma de bobina, este gerará um campo magnético no interior da bobina. Quando um corpo de prova metálico é introduzido no interior da bobina, este campo cria no metal uma força eletromotriz induzida que produz uma corrente elétrica (correntes parasitas ou de Foucault), em sentido tal que produzam, por sua vez, um campo magnético induzido que se opõe à variação do fluxo magnético da bobina ocasionando o aquecimento do corpo de prova por efeito joule (LOVELESS, et. al, 2005).

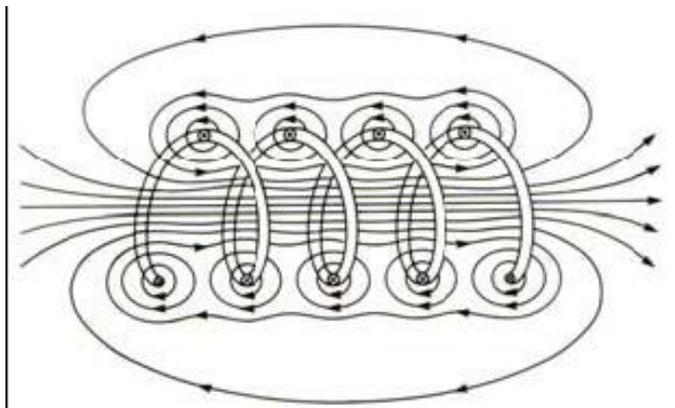
## 1.4 MÁQUINA DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O sistema básico de aquecimento por indução consiste em uma fonte de corrente alternada (AC), uma bobina de indução e um corpo de prova condutor a ser aquecido quando exposto ao campo magnético. O conceito básico pode ser compreendido tendo em conta: a relação entre a bobina e a peça, a fonte de potência (corrente e tensão), a frequência e a forma geométrica da bobina. Através destes elementos é possível estimar quais os efeitos elétricos e térmicos que são induzidos no corpo de prova através da bobina de indução (SEMIATIN, 1988).

O aquecimento por indução coloca em evidência três princípios: transferência de energia da bobina através do campo magnético aos corpos a aquecer (Lei de Lenz); transformação da energia elétrica transferida por efeito calor nos corpos de prova; e calor transmitido nos corpos de prova por condução térmica.

Neste sistema a bobina de indução e o corpo de prova funcionam como o primário e o secundário de um transformador elétrico, ou seja, durante a variação de um campo eletromagnético o indutor funciona como o primário gerando o campo magnético e o corpo de prova como o secundário gerando uma corrente induzida. Quando uma fonte de potência gera uma corrente alternada (AC), a mesma gera um campo magnético que fica ao redor de cada espira e em toda a bobina como mostra a Figura 2.

**FIGURA 2** - Ilustração esquemática do campo magnético induzido associado a uma bobina onde circula uma corrente alternada



Fonte: Semiatin (1988).

De acordo com as propriedades físicas do corpo de prova, que no caso é um metal, como sendo a resistência elétrica, a corrente induzida ou corrente de (Foucault) provoca uma

queda de tensão descrita pela lei de Ohm:  $V = RI$ , onde (V) é a tensão, (R) é a resistência elétrica e (I) é a corrente induzida pela bobina. A queda de tensão está associada a perda por efeito Joule que resultam no aquecimento do metal segundo a expressão:  $\text{Perdas} = I^2R$ , onde (I) é a corrente e (R) a resistência elétrica do metal (SVOBODA, 2012).

A área compreendida entre o diâmetro interno da bobina e o diâmetro externo do material é o local de maior concentração do campo magnético induzido. Na superfície do metal as correntes induzidas são mais fortes e decrescem em direção ao centro. Quando este fenômeno acontece na superfície do material, chamam-no de efeito de pele, como pode ser observado na Figura 3. O efeito de pele está diretamente relacionado com a frequência do campo elétrico, com a resistividade elétrica e com a permeabilidade magnética da peça metálica, e é traduzido pela seguinte Equação 2 (ALAIN, 2004).

$$p = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot F \cdot \mu_o \cdot \mu_m}} \quad (2)$$

Sendo:

p - Profundidade de penetração do efeito de pele;

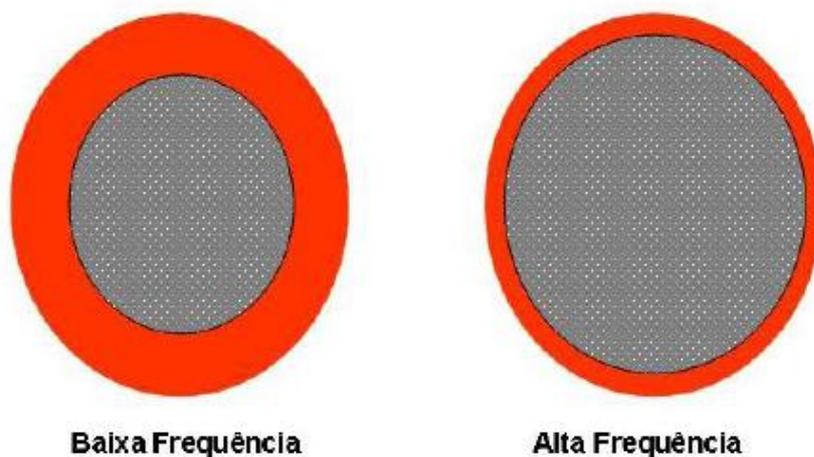
$\rho$  - Resistividade do material (resistência elétrica);

$\mu_o$  - Constante de permeabilidade magnética;

$\mu_m$  - Permeabilidade magnética do material;

F- Frequência.

**FIGURA 3** – Efeito de pele ou Profundidade de Penetração como é conhecido



## 1.5 APLICAÇÃO DAS MÁQUINAS DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Os setores automotivos com grande volume de fabricação de componentes, como (aços carbono ou ligas intermediárias) e os de biomateriais (aços inoxidáveis e ligas especiais), estão investindo cada vez mais no seguimento de engenharias de superfície, buscando frequentemente com pesquisas formas mais eficientes deste processo, despertando interesse de pesquisadores no mundo inteiro. Nesses segmentos industriais, destacam-se os processos de endurecimento superficial, dos quais emergem os tratamentos térmicos que visam modificar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais ferrosos, sendo os aços, aqueles que melhor respondem a tais processos. Assim, dependendo do tratamento, esses materiais sofrem transformações estruturais importantes e significativas, agregando certas propriedades após ser exposto ao tratamento térmico por indução.

Outro mercado que utiliza bastante este processo é o da cutelaria, que utiliza de forma eficiente o tratamento superficial por indução eletromagnética, bem como nas indústrias de tubos, eixos e engrenagens (RUDNEV, 2004).

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

Apresenta-se no Quadro 1 a relação de materiais e equipamentos utilizados para a construção do protótipo.

**QUADRO 1** – Materiais e equipamentos utilizados para a construção do protótipo

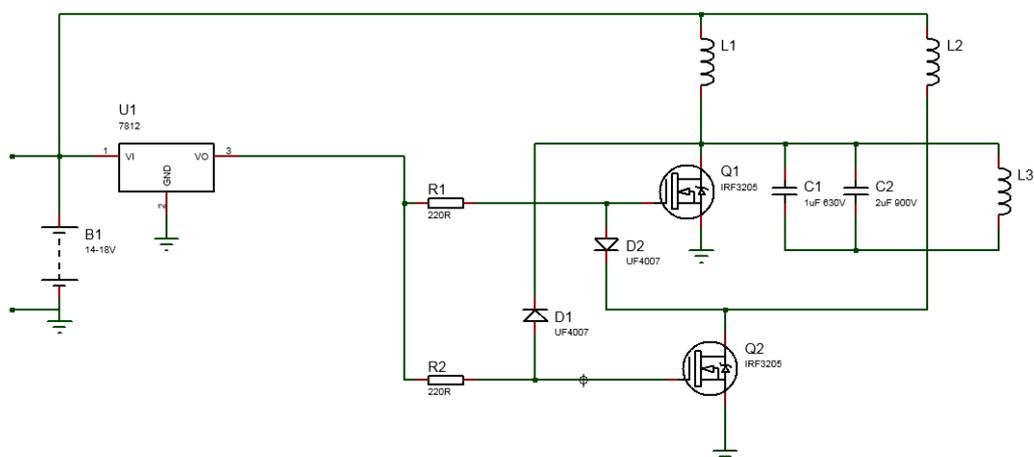
<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>
1	Diagrama esquemático
1	Desenho do circuito
1	Furadeira Bosch GSB 13 RE
1	Broca de aço rápido 1,2 mm
1	Placa de fenolite
1	Caneta para retroprojektor
300 ml	Solução de percloro de ferro
1	Álcool isopropanol 99,8%
1	Placa fenolite com circuito impresso

2	Recipiente de plástico
2	Mosfet's canal N IRF3205
2	Diodo UF4007
2	Resistor 220R x 1 W
1	LM7812
1	Capacitor de poliéster 630 V x 1 $\mu$ F
1	Capacitor de poliéster 900 V x 2 $\mu$ F
1	Choque de radio frequência (RF) 12 espiras
1	Choque de radio frequência (RF) 17 espiras
1	Indutor 15 espiras $\phi$ 14 AWG
2	Dissipador de calor
1	Solda estanho
1	Fonte chaveada 12 V x 30 <sup>a</sup>
1	Alicate amperímetro Fluke 376
1	Termovisor Flir E50
Und	Cabos de alimentação
1	Chave seletora
1	Prensa cabo
1	Caixa para armazenamento 180 mm x 130 mm

Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

A Figura 4 ilustra o diagrama esquemático do circuito, antes de transferir para a placa.

**Figura 4** – Diagrama esquemático do circuito



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017

Para a fabricação da placa eletrônica inicialmente fez-se necessário plotar o circuito eletrônico em uma placa de fenolite. Faz-se o circuito em papel milimetrado, posteriormente transfere-se o desenho e os furos necessários para fixar os componentes para a placa utilizando uma caneta de tinta permanente e uma furadeira pequena. Na sequência mergulha-se a placa em uma solução de percloroeto de ferro até que a parte cobreada seja corroída pelo processo químico. Posteriormente mergulha-se a placa em água, retirando assim todo o percloroeto. A tinta permanente pode ser removida com álcool isopropanol 99,8%.

No final destas etapas é possível visualizar o circuito plotado na placa, no local onde antes havia a caneta permanente, a caneta tem a função de impedir o processo de corrosão nos locais selecionados, formando as trilhas cobreadas do circuito.

A Figura 5 ilustra as etapas do processo.

**FIGURA 5** – Etapas do processo de plotagem do circuito na placa de fenolite

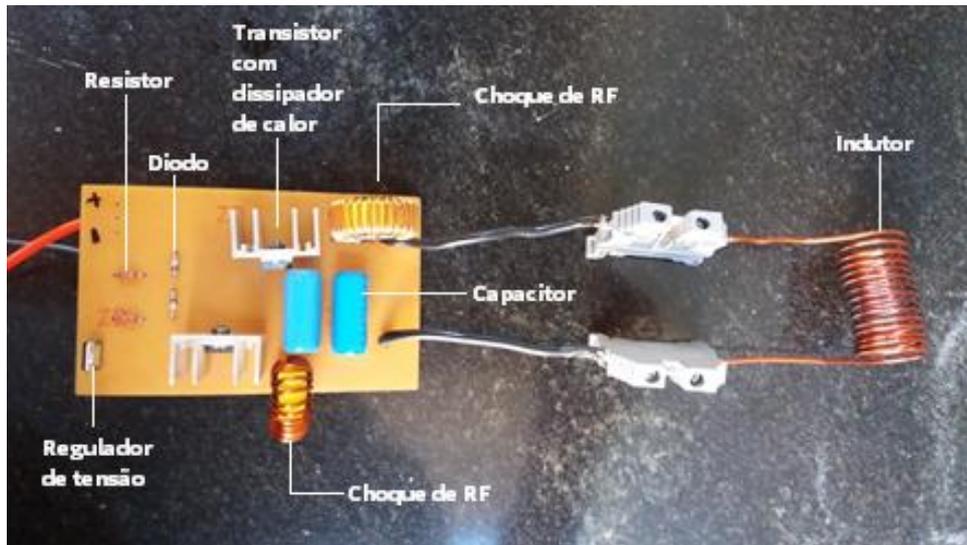


Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

Depois de confeccionada a placa, fixa-se os mosfet's, os capacitores, os diodos, os resistores, os dissipadores de calor, o regulador de tensão, os choques de RF e o indutor, cada componente em seu devido lugar, soldando-os na parte posterior da placa com solda estanho. Um detalhe é que os capacitores devem possuir alta tensão aliado a uma boa isolamento dielétrica, visto que os mesmos tendem a superaquecer durante o processo.

A Figura 6 ilustra o protótipo concluído.

**FIGURA 6** – Protótipo do aquecedor por indução eletromagnética



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

Faz-se a alimentação da placa através da fonte chaveada e ajusta-se a tensão em 14 V VDC, caso seja necessário extrair mais potência do sistema, recomenda-se elevar a tensão para no máximo 18 V, obedecendo à capacidade dos componentes. A Figura 7 ilustra o sistema de aquecimento sem carga ferrosa no seu indutor, o alicate amperímetro apresenta o valor da corrente de 3,8 ampères.

Após a construção do protótipo, realizou-se o aquecimento de dois corpos de prova sólidos, obtendo-se alguns resultados.

**FIGURA 7** – Sistema de aquecimento por indução eletromagnética em funcionamento sem carga



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O circuito apresentou uma corrente inicial de 3,8 ampères, após o início do aquecimento do corpo de prova, observou-se o aumento da corrente. Para o corpo de prova de aço de 1/4 pol. x 14,9 cm, pesando 36,7 gramas, obteve-se corrente máxima do sistema com o corpo de prova inserido igual a 15,5 ampères, corrente do sistema após estabilizar a temperatura igual a 10 ampères e tempo para estabilizar de 1 minuto.

A Figura 8 ilustra a máxima corrente obtida no sistema com o corpo de prova de aço de 1/4 pol.. A Figura 9 ilustra a corrente do sistema após estabilizar, utilizando o mesmo corpo de prova.

**FIGURA 8** – Máxima corrente obtida com o corpo de prova de aço de 1/4 pol. inserido no indutor



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

**FIGURA 9** – Corrente do sistema após estabilizar a temperatura com o corpo de prova de aço de 1/4pol



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

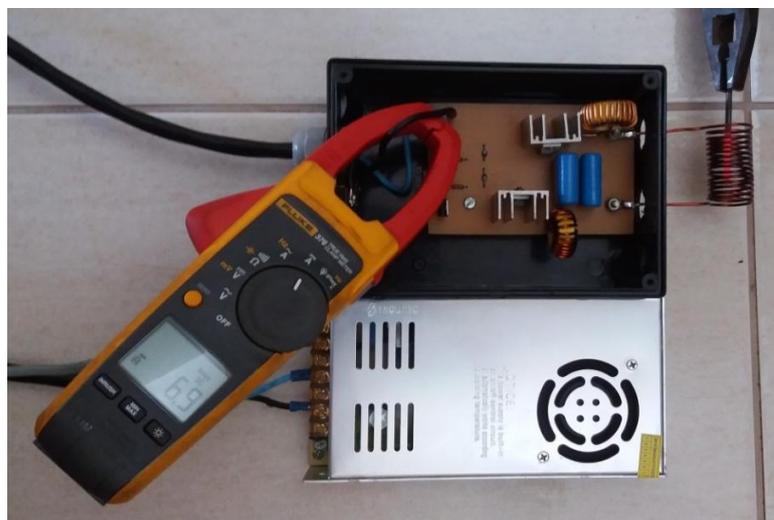
Para o corpo de prova de aço 9/64 pol.x 7,2 cm, com 5,6 gramas, obteve-se a corrente máxima do sistema com o corpo de prova inserido igual a 10,7 ampères, corrente do sistema após estabilizar a temperatura igual a 6,9 ampères e tempo para estabilizar de 40 segundos. . A Figura 10 ilustra a máxima corrente obtida no sistema com o corpo de prova de aço de 9/64 pol.. A Figura 11 ilustra a corrente do sistema após estabilizar, utilizando o mesmo corpo de prova.

**FIGURA 10** – Máxima corrente obtida com o corpo de prova de aço 9/64 pol. inserido no indutor



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

**FIGURA 11** – Corrente do sistema após estabilizar a temperatura com o corpo de prova de aço de 9/64 pol.



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

O tempo para aquecimento do corpo de prova é proporcional à área do corpo de prova e à potência, sendo assim, menor área, menor tempo para aquecimento. O mesmo pode ser observado em relação à temperatura atingida no corpo de prova, quanto maior o diâmetro maior a concentração de temperatura no mesmo. A Figura 12 ilustra a temperatura obtida no corpo de prova de maior diâmetro, a mesma é superior ao limite do equipamento, devido à taxa de variação de segurança. A Figura 13 ilustra a temperatura obtida no corpo de prova de menor diâmetro. Utilizou-se um termovisor para coletar as temperaturas, o mesmo possui um limite de medição entre 0 a 600 °C.

**FIGURA 12** – Temperatura obtida no corpo de prova de 1/4 pol.



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

**FIGURA 13** – Temperatura obtida no corpo de prova de 9/64 pol.



Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

A Tabela 1 apresenta, para efeito comparativo, todos os resultados obtidos em ambos os testes.

**Tabela 1** – Resultados obtidos nos testes

Descrição	Máxima corrente obtida (A)	Corrente estabilizada (A)	Tempo para estabilizar (seg.)	Temperatura (°C)
Corpo de prova de 1/4 pol.	15,5	10	60	632
Corpo de prova de 9/64 pol.	10,7	6,9	10	569

Fonte: Ravell Alves Rodrigues, 2017.

Por questões de preservação do sistema de aquecimento, faz-se a recomendação de primeiramente ligar o circuito e posteriormente inserir o corpo de prova no mesmo, isso devido à solicitação de altas correntes para aquecer o corpo de prova.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente artigo visou compreender o processo de aquecimento por indução eletromagnética, com base em uma pesquisa bibliográfica seguido de um projeto experimental.

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que é possível aquecer um material a alta temperatura, onde o mesmo chega a apresentar uma coloração avermelhada, a partir de um sistema de aquecimento por indução eletromagnética.

O sistema de aquecimento por indução eletromagnética exibe um alto nível de interação entre capacitor e indutor, conhecido como circuito LC. Esta conexão gera um campo magnético que, por sua vez, cria uma corrente induzida oposta ao campo quando o corpo de prova resiste a corrente, o mesmo tende a aquecer.

Como sugestão para melhoria deste sistema e possível expansão do mesmo, recomenda-se algumas alterações:

- Alteração dos componentes atuais por componentes mais robustos;
- Substituição da fonte por outra com maior corrente e tensão de saída variável;
- Elaborar uma nova fisiologia para o circuito impresso;

- Acrescentar um circuito de proteção para o sistema;
- Acrescentar componentes de ajustes e medições;
- Desenvolver um novo indutor refrigerado a água.

*MACHINE OF THERMAL TREATMENT FOR ELECTROMAGNETIC  
INDUCTION*

**ABSTRACT**

After the discovery of the electromagnetic induction for Michael Faraday, he/she opened up a very big field in the industrial section for the use of this phenomenon. This work seeks to the construction of a prototype of a machine of thermal treatment for electromagnetic induction for demonstration of his/her operation, showing how it happens the heating of ferrous materials when exposed to a magnetic field. For such it was used some electronic components, fastened to a circuit and fed by a source specifies. When he/she calls the circuit, the same generates an electromagnetic field that it produces currents induced inside the inductor heating up like this the proof body in him inserted. Among several obtained results it is done important to the relationship between the mass of the proof body and the current, as larger the mass, larger the necessary current to heat up the proof body. And the diameter of the inductor is proportional to the concentration of field magnetic, as smaller the diameter, larger the concentration of the magnetic field in the inductor. With base in the results was ended that is possible to accomplish the heating of a ferrous proof body, until reaching the red coloration, starting from a heating system for electromagnetic induction.

Word-key: Heating for Electromagnetic Induction. Tempering. Magnetic field. Induced current.

## REFERÊNCIAS

ALAIN. "*Generateurs OTMP et GCTM - circuit oscillant parallele*", CELES, 2004.

CHIAVERINI, V. *Materiais de Construção Mecânica* 2. Ed. São Paulo: editora McCraw – Hill, 1986. Vol. III.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: *o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética*. Ciência & Educação (Bauru). Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, campus de Bauru., v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/26460>>.

FERREIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G. S.; OLIVEIRA, C. P.; COTA, A. B. C. *Tratamento térmico por indução eletromagnética em tubos de aço SAE 1045 para produção de hastes de sondagem geológica*. *Metalurgia&Materiais* v. 57(1), p. 23-26, 2004.

INDUCTOHEAT, *Basics of induction Heating*. Inductoheat, 2003.

LOVELESS, D. L.; COOK, R. L.; RUDNEV, V. t *Considering Nature and Parameters of Power Supplies for Efficient Induction Heat Treating*. *Industrial Heating*. June 2005.

NARDELLI, W. *Estudo experimental da indução magnética*. 2012. 41 f. trabalho de conclusão de curso (licenciatura – física) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120145>>.

OLIVEIRA, C. P., ARAUJO, F. G. S. *Relatório Técnico Final; Projeto Tecnologia de Tratamento Térmico por Indução Eletromagnética de Ferramental para Aplicação em Mineração – TIEFAM*; Ministério da Ciência e Tecnologia, PADCT – III, outubro de 2002.

ROSA, C. A. P. *História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX / Carlos Augusto de Proença*. – 2. ed. – Brasília : FUNAG, 2012.

RUDNEV, V. *Induction Heat Treating: The Basics & Beyond*. In: *II Conferência Brasileira de Temas de Tratamento Térmico*, 2004, Atibaia, São Paulo, 22 a 25 de novembro de 2004.

RUDNEV, V. L.; LOVELESS, D. L.; COOK, R. L. e BLACK. M. R. *Handbook of induction Heating. New York: Editora Mareei Dekker.2003 . p 11 - 136. (A)*  
SEARS; ZEMANSKY. Física III: *Eletromagnetismo. Editora Pearson, 12ª ed., 2012.*

SEMIATIN, *Elements of induction heating. Ohio, ASM Internationl, 1988.*

SVOBODA, J. M. *Principles of induction melting, American Foundrymen's society cast metals institute 2012.*

TENÓRIOA, J. G.; VASCONCELOS , A. J.; MAGNO , I. B.; SOARES, E. F.; ROCHA,O. L. *Têmperaporindução eletromagnética aplicada emvirabrequim de motocicleta 2015.*