



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CASTANHAL
FACULDADE DE MATEMÁTICA
LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

GABRIEL SOUZA SILVA

INDUÇÃO MAGNÉTICA: energia evolucionária

Castanhal - Pa

2020

GABRIEL SOUZA SILVA

INDUÇÃO MAGNÉTICA: energia evolucionária

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Matemática do Campus Universitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Licenciatura em Matemática, sob a orientação do Prof^o Ms. Marcos Vinícius Orguen Gou.

Castanhal - Pa

2020

GABRIEL SOUZA SILVA

INDUÇÃO MAGNÉTICA: energia evolucionária

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Matemática do Campus Universitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Licenciatura em Matemática.

Data da Defesa e Aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____

Prof. Ms. Marcos Vinícius Orguen Gouvea/UFPA

Membro: _____

Prof. Dr. Arthur Da Costa Almeida/UFPA

Membro: _____

Prof. Dr. Edilberto Oliveira Rozal/UFPA

RESUMO

Este trabalho aborda o estudo sobre como o sistema de aquecimento por indução vem se estabelecendo dentro de um meio social, onde o uso de métodos tradicionais, que ainda prevalece, no preparo de alimentos e entre outras atividades. O uso dos fogões por indução como é descrito neste estudo, mostra parte importante da história, que ao longo dos anos teve inúmeras contribuições de diversos estudiosos possibilitando o que nós temos hoje com relação a evolução de tecnologias que nos permitem um melhor rendimento referente ao tempo e praticidade. O fogão por indução como objeto de estudo, foi feito um levantamento de informações com relevância para podermos fazer uma análise mais completa abordando assim, suas características físicas, modo de funcionamento, matrizes energéticas e também a sua comparação com o sistema de aquecimento dos fogões a gás.

Palavras Chave: fogão de indução, rendimento, matrizes energéticas.

ABSTRACT

This paper discusses the study on how the induction heating system has been established within a social environment, where the use of traditional methods, which still prevails, in food preparation and among other activities. The use of induction stoves as described in this study shows an important part of history, which over the years has had numerous contributions from several scholars enabling what we have today in relation to the evolution of technologies that allow us a better performance related to time and practicality. The induction cooker as object of study, an information was made with relevance so that we can make a more complete analysis addressing its physical characteristics, operating mode, energy matrices and also its comparison with the heating system of gas stoves.

Keyword: induction cooker, yield, energy matrices.

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

\int	Integral
$\frac{dx}{dt}$	A derivada de x em relação a t
V	Volt
W	Trabalho
\mathcal{E}	Força Eletromotriz
r	Raio
μ	Massa Específica
V	Volume
M	Massa do corpo (kg ou g)
K	Quilo
g	Gramma
c	Calor específico (J/kg.°C ou cal/g.°C)
l	Litro
atm	Atmosfera
°C	Graus Celcius
Cal	Caloria
s	Segundos
Min	Minutos
H	Hora
W	Watt
Glp	Gás liquefeito de Petróleo
Q	Quantidade de calor sensível (J ou cal)
$\Delta \theta$	Varição de temperatura (°C)
L	Calor latente (J/kg ou cal/g)
Q	Quantidade de calor (J ou cal)
L	Indutância
R	Resistência
Φ	Fluxo Elétrico ou Magnético
I	Corrente
E	Energia
P	Potência
Δt	Tempo
CC	Corrente contínua

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Campo Magnético	14
Figura 2 - Magnetismo no Alumínio	15
Figura 3 - Bismuto	16
Figura 4 – Ferro	17
Figura 5 – Aproximação dos polos norte do ímã e da espira	20
Figura 6 – O sentido da corrente em uma espira.	21
Figura 7 – Campo magnético com anel de cobre.	22
Figura 8 - Campo magnético sem anel de cobre.....	23
Figura 9 – O símbolo de um indutor.....	26
Figura 10 - Circuito RL.....	27
Figura 11 - Gráfico da corrente em função do tempo	29
Figura 12 - Fogão por indução	36
Figura 13 – Cooktop a gás.....	37
Figura 14 - Cooktop a elétrico.....	38
Figura 15 - Cooktop por Indução.....	38
Figura 16 – Fogão a gás	52
Figura 17 – Tempo Para Ponto Ebulição: 1º momento do experimento	56
Figura 18 – Tempo Para Ponto Ebulição: 2º momento do experimento	57
Figura 19 – Área dos Dois Momentos do Experimento.....	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1).....	23
Equação (2).....	23
Equação (3).....	24
Equação (4).....	24
Equação (5).....	24
Equação (6).....	25
Equação (7).....	25
Equação (8).....	26
Equação (9).....	27
Equação (10).....	27
Equação (11).....	27
Equação (12).....	28
Equação (13).....	28
Equação (14).....	28
Equação (15).....	28
Equação (16).....	28
Equação (17).....	28
Equação (18).....	28
Equação (19).....	28
Equação (20).....	28
Equação (21).....	58
Equação (22).....	59
Equação (23).....	59
Equação (24).....	59
Equação (25).....	59
Equação (26).....	59
Equação (27).....	59
Equação (28).....	59
Equação (29).....	59
Equação (30).....	59
Equação (31).....	59
Equação (32).....	60
Equação (33).....	60
Equação (34).....	60
Equação (35).....	60
Equação (36).....	60
Equação (37).....	60
Equação (38).....	61
Equação (39).....	61
Equação (40).....	61
Equação (41).....	61
Equação (42).....	61
Equação (43).....	61
Equação (44).....	61
Equação (45).....	61
Equação (46).....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Metodologia	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Propriedades magnéticas	13
2.1.1 A lei de Faraday da Indução	17
2.1.2 A fem de movimento	18
2.1.3 Lei de Lenz	19
2.1.3.1 Oposição ao Movimento do Polo ou Princípio da Conservação de Energia	19
2.1.3.2 Oposição a Variação do Fluxo	20
2.1.4 Campos Elétricos Induzidos	21
2.1.4.1 Uma reformulação da Lei de Faraday	23
2.1.4.2 Uma nova visão do potencial elétrico	25
2.1.5 Circuitos RL – RAYMOND	26
3 FOGÃO DE INDUÇÃO X FOGÃO A GÁS	29
3.1 Fogão de Indução	29
3.1.1 Histórico de Aquecimento por Indução	30
3.1.2 Aquecimento por Indução	30
3.1.2.1 Correntes De Foucault	31
3.1.3 Calorimetria	32
3.1.4 Modo de funcionamento	33
3.1.5 Características do fogão de indução	35
3.1.6 Tipos de fogão de indução	36
3.1.7 Cooktops	36
3.1.8 Material Vidro Cerâmico	39
3.1.9 Benefícios do Fogão de Indução	39
3.2 Perdas Energéticas em uma Instalação de fusão por indução	40
3.2.1 Fundição Em Forno	40
3.2.2 Perdas energéticas em processo de fundição	41
3.2.3 Perdas de energia diretas	41
3.2.3.1 Perdas diretas	42
3.2.3.2 Perdas de energia em fornos de indução	43
3.2.3.3 Balanço energético de uma instalação de fusão por indução	44
3.2.3.4 Perdas no transformador	44
3.2.3.5 Perdas nos cabos de alimentação e nas conexões	45
3.2.3.6 Perdas nos capacitores	46
3.2.3.7 Perdas na bobina indutora	46
3.2.3.8 Perdas pelas paredes do forno	49
3.2.3.9 Perdas elétricas na estrutura metálica do forno	49
3.2.3.10 Perdas de energia pela tampa do forno	49
3.3 Fogão a Gás	51
3.3.1 Perdas Energéticas do Fogão a Gás	52
3.3.2 Matriz Energética	53
3.4 Atividade Experimental	54

3.4.1 Resultados e Discussão.....	56
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias, em busca de uma melhor qualidade de vida, vários métodos e conceitos vão sendo empregados na sociedade, como, por exemplo, o cooktop ou fogão de indução. Além da praticidade, velocidade e facilidade de uso, contribuindo com uma forte quebra quanto a utilização do gás de cozinha, que atualmente é o mais utilizado nas residências. Um aumento no interesse em adquirir produtos com mais eficiência e segurança, favorecem questões ambientais, como no caso do fogão por indução. O conceito de cozinhar por indução já existe há um bom tempo, principalmente em outros países, tendo sido inicialmente difundido no começo do século passado.

Este trabalho tem como objetivo analisar a produtividade de fogões a gás e fogões de indução elétrica, concentrando-se principalmente na questão da eficiência energética, como diferencial qualitativo em busca de energia que cause menor impacto ambiental, repetível e consistente, o que leva a um leque de possibilidades para aprofundarmos dentro desse tema.

Para criar uma linha de pensamento sobre o assunto, foi feita uma investigação sobre os conceitos fundamentais das propriedades magnéticas, a fim de compreender a funcionalidade de um fogão ou forno de indução magnética. Também será abordado sobre como a energia, gerada por campos eletromagnéticos, é utilizada no fogão de indução.

Outro tópico importante para a fundamentação deste trabalho é a apresentação das características do fogão de indução e do fogão tradicional a gás, afim de influenciar a tomada de decisão em optar por energia com melhor rendimento e limpa.

Este estudo se divide em quatro capítulos onde, o primeiro visa introduzir o tema abordado e apresentar a metodologia utilizada para realização da pesquisa e do experimento.

No segundo são apresentadas as fundamentações teóricas que foram a base do trabalho, no que se refere aos estudos de que serviram como um guia dentro desse vasto assunto. Apresentando leis e propriedades que tornam o sistema de indução possível.

O terceiro capítulo trata justamente da comparação entre o fogão a gás e o fogão que utiliza do sistema de indução, analisando diversos fatores, como, por exemplo, as perdas energéticas, que é um grande ponto no que se refere a escolha entre os dois fogões. Além da realização de um experimento para podermos comparar qual o fogão é o melhor, sendo responsável por nos mostrar as conclusões tiradas do trabalho, através de dados e discussões.

O quarto capítulo foca nas considerações finais deste estudo, apresentando o que este trabalho pode nos mostrar, sobre como nossas escolhas interferem em como administramos as

nossas vidas, revelando a importância de fazer a escolha certa, mesmo que a priori esse algo também possua pontos negativos

1.1 Justificativa

Desde os primeiros indícios da humanidade se houve falar do uso do fogo. A sua descoberta foi de extrema importância para a transformação da sociedade, pois acelerou o progresso da cultura humana. Uma das funcionalidades do fogo no início de seu descobrimento foi clarear e esquentar às noites frias, espantar animais selvagens e promover o cozimento dos alimentos.

A necessidade do ser humano em cozinhar seus alimentos, busca cada vez mais das indústrias, equipamentos que sejam seguros, eficientes e que ocupem poucos espaços nas cozinhas, uma vez que, nos dias atuais tem crescido o número de pessoas que procuram lugares pequenos e práticos para morar.

Assim, como alternativa a simplicidade e eficiência apresenta-se o fogão elétrico de indução, cujo funcionamento se dá através de um campo elétrico variável produzindo uma corrente elétrica induzida. Segundo Filho (2015), a corrente induzida se refere a corrente gerada entre dois terminais, quando estes estão ligados a um aparelho capaz de apresentar eletricidade gerando uma corrente.

Os modelos cooktops de indução contam com uma tecnologia de alto desempenho, um pouco mais caros que os modelos convencionais a gás e elétrico, mas que são compensados no custo benefício, por se apresentarem como modelos mais seguros e eficientes, pois mostram economia de tempo, economia de energia e ótimo rendimento. Há uma perda mínima de energia e um menor tempo para ferver a água, visto que, a energia produzida é movimentada diretamente a panela.

Apesar de apresentar elevado consumo de energia, quando comparado ao fogão a gás e elétrico, o fogão por indução é ainda mais econômico por utilizar de forma racional e pouco desperdiçar a energia gerada ou transformada. O equipamento não é aquecido como todo, pois o calor gerado aquece diretamente a panela.

Além disso, o mundo vem enfrentando graves problemas com o efeito estufa. De acordo com Leme (2011), o crescimento da concentração de metano, que trata de um dos produtos químicos liberados na atmosfera, e a absorção térmica deste e outros gases contribuintes para a poluição, interferem diretamente no equilíbrio térmico do Planeta e Saúde

Pública. De acordo com Gioda (2018) – os combustíveis residenciais são responsáveis pelo aumento do aquecimento global e pelas mudanças climáticas.

1.2 Metodologia

A primeira etapa do trabalho, a fase de análise das fontes bibliográficas e de referências, tem como objetivo identificar importantes elementos das propriedades elétricas nas superfícies de ímãs para fins de estudos eletromagnéticos, reconhecer sua relação com várias aplicações a fim de vislumbrar o potencial e a eficiência energética de um fogão ou forno de indução magnética.

A análise desta pesquisa será fundamentada a partir da relevância do histórico sobre o tema, e pesquisa-lo na busca de respostas para montagem de um método e modelo experimental, desenvolvido para produção de corrente elétrica a partir de fogão de indução, como ainda as dificuldades que se revelam ou das estratégias que são levantadas em comparação com outros tipos de fogões, para integrar as eficiência energética, sustentabilidade e custo de forma eficaz, dentro de um contexto que expresse as propriedades eletromagnéticas, as funcionalidades dos fogões de indução e características que os envolvem, como custo e tempo.

Para isso, houve a necessidade do estudo sobre as características por trás deste objetivo, sendo assim, se fez necessário analisar características que tornaram este trabalho possível.

Foi feito uma análise sobre fogões de indução, visando o seu modo de funcionamento para podermos compreender suas características, outro fator importante explorado foram os tipos de fogões, por indução, servindo como uma forma de conhecer as peculiaridades que os envolvem.

Posteriormente, com o estudo do trabalho, observou-se como são feitos e como funcionam, as razões que fazem os fogões de indução terem tais características, que são provenientes de fenômenos físicos, como a lei de Faraday, lei de Lenz, correntes de Foucault e o uso de materiais com identidades próprias como, os ferromagnéticos.

Outro estudo relevante usado foram as características do fogão a gás, esse ponto específico foram coletadas informações sobre como eles se comportam e os matérias usados que permitam o seu funcionamento, tanto o gás de natural, quanto o GLP.

Tendo assim, todo um aparato estrutural e histórico sobre os objetos deste trabalho, no caso, os fogões de indução e os fogões a gás, foi elaborado um experimento para analisar qual

dos fogões citados possuía um maior benefício em relação as suas principais funções em quanto produtos domésticos.

Com isso, após o experimento foi feito uma comparação com relação a capacidade de aquecimento entre os fogões, usando como base o tempo em que cada um demora para fazer com que a água atinja os 100°C (temperatura de ebulição da água levando em consideração o nível do mar), levando em consideração os gastos energéticos que possuem, para poder assim, ter obter uma resposta mais concreta para a possível para esta pergunta: qual dos dois fogões é mais viável para ser adquirido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Propriedades magnéticas

Na natureza, existem alguns materiais, que na presença de um campo magnético, tornam-se ímãs. Esses materiais são classificados em ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

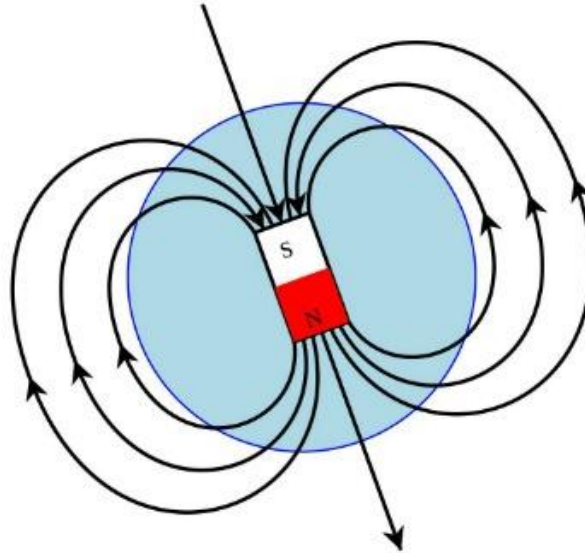
Para entender de forma mais simplificada a classificação desses materiais é importante saber o que é um campo magnético.

O campo magnético é uma região do espaço onde as cargas elétricas, uma propriedade das partículas elementares que compõem o átomo, são capazes de alterar as suas trajetórias. O campo magnético é resultado da movimentação de cargas elétricas, como nas oscilações das partículas subatômicas, como os elétrons.

De acordo como o SI (sistema internacional de unidades) a unidade de medida de campo magnético é o tesla (**T**), em homenagem a Nikola Tesla (1856-1943) um dos grandes estudiosos dos fenômenos magnéticos. O campo magnético é vetorial, assim como o campo elétrico ou o campo gravitacional, por isso, modulo, direção e sentido.

Esse tipo de campo pode ser produzido por ímãs naturais e artificiais, como mostra a figura 1, feitos com espirais condutoras e bobinas.

Figura 1 – Campo Magnético



Fonte: Google, 2020.

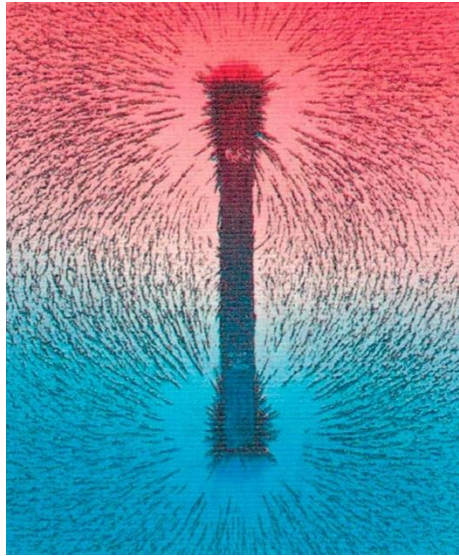
Conforme dito por Graça (2012), a terra também dispõe de um campo magnético, campo esse, semelhante ao de um ímã, Graça reforça:

Também observou, Gilbert, que os polos dos ímãs são inseparáveis e que as forças entre polos podem ser atrativas entre polos diferentes (N - S) e repulsivas entre polos iguais (N-N e S-S). A designação dos polos, por norte e sul pode levar a uma pequena confusão no uso da bússola pois os polos geográficos norte e sul são na realidade polo sul e norte magnéticos, respectivamente. (p 136)

- **Paramagnéticos**

São materiais que possuem elétrons desemparelhados e que na presença de um campo magnético, alinham-se, como na figura 2, fazendo surgir um ímã que possui capacidade de provocar um aumento na intensidade do valor do campo magnético em um ponto qualquer. Esses materiais são fracamente atraídos pelos ímãs. Exemplos de materiais paramagnéticos são o alumínio, magnésio, sulfato de cobre e dentre outros.

Figura 2 - Magnetismo no Alumínio



Fonte: Resnick *et al.*, 2005.

- Diamagnéticos

São materiais que, se colocados na presença de um campo magnético, têm seus ímãs elementares orientados no sentido contrário ao sentido do campo magnético aplicado. Com isso, se estabelece um campo magnético na substância que possui um sentido contrário ao campo aplicado. São substâncias diamagnéticas: como o cobre, o bismuto (figura 3), prata, chumbo e entre outros.

Figura 3 - Bismuto



Fonte: Google, 2020.

- Ferromagnéticos

As substâncias que compõe esse grupo apresentam características diferenciadas dos demais materiais paramagnéticos e diamagnéticos. Esses materiais imantam-se (atraem materiais ferromagnéticos) fortemente se posicionados na presença de um campo magnético. A presença de um material ferromagnético altera fortemente o valor da intensidade do campo magnético. As substâncias ferromagnéticas são apenas o ferro, o cobalto, o níquel e as ligas, em conformidade com a figura 4, que são formadas por essas mesmas substâncias. Esses materiais são usados quando se precisa obter campos magnéticos de altas intensidades.

Figura 4 – Ferro



Fonte: Google, 2020.

De acordo dito por Graça (2012) Os minerais ao se solidificarem, guardam uma memória as quais lidam essas características magnéticas, alguns mais que outros, variando a partir da sua estrutura cristalina. O processo de formação da crosta terrestre é responsável pela criação dos óxidos magnéticos, ímãs naturais e as ferritas, Graça reforça:

Uma desses casos é o da magnetita, um mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III (FeO , Fe_2O_3) [...], conhecida como um dos ímãs naturais mais fortes e já utilizado por Arquimedes na antiga Grécia, (~200 AC). (p 135)

2.1.1 A lei de Faraday da Indução

Uma das principais características do modelo por indução é exatamente o fato de que o que esquenta é apenas a panela ferromagnética e, isso tem bastante semelhança com a lei de Faraday.

A lei de Faraday ou lei da indução magnética, fala que quando houver uma variação do fluxo magnético através de um circuito, surgirá nele uma força eletromotriz induzida. Tal lei foi estabelecida em 1831, a partir da descoberta do fenômeno da indução eletromagnética.

Sendo uma lei fundamental do eletromagnetismo, foi o ponto de início para a construção dos dínamos, que são aparelhos que geram uma corrente contínua, que transforma energia mecânica em elétrica, através de indução eletromagnéticas, e suas aplicações na produção de energia elétrica em larga escala.

No fogão por indução a bobina (dispositivo elétrico passivo que tem como utilidade armazenar energia em forma de um campo magnético) eletrizada gera polos sul e norte, virando um eletroímã e criando um campo magnético, assim sendo que a panela está do outro lado do vidro interage com o campo magnético e nessa interação ocorre a passagem de elétrons para a panela, como o ferro não é um bom condutor ele segura a carga, o que faz ele se esquentar.

Nesse processo, todo o ferro esquenta não só a parte de baixo, como no fogão a gás, isso ocorre por causa da doação direta de elétrons por toda a panela, fazendo com que ela reaja como um todo.

O projeto inicial para a criação dos fornos de indução ocorreu quando Michael Faraday, enunciou o princípio da indução magnética. Porém, só no final de 1870 que o engenheiro britânico Sebastian de Ferranti começou a fazer experimentos com a aplicação da lei de Faraday para aquecer metais. Já nos anos de 1890, Edward Allen Colby patenteou o primeiro forno de indução para derreter metais. (GANDHEWAR, 2011).

2.1.2 A fem de movimento

Conforme Resnick *et al.* (2005), quando existe movimentação de carga em espaço qualquer, tal como eletricidade percorrendo em um circuito, o termo para esta é denotado como corrente elétrica, ou apenas corrente, na qual corresponde pelo fluxo de carga neste mesmo espaço. A partir das investigações relacionadas à eletricidade, as aplicações práticas são comumente direcionadas aos circuitos elétricos. Em um circuito elétrico há fluxo de carga produzida a partir de uma fonte de energia externa qualquer, na qual pode ser expressada por uma corrente que parte de uma bateria e atravessa o resistor. O circuito deve dispor de um dispositivo que mantenha o trabalho que a força eletrostática desempenha por unidade de carga conduzida entre dois pontos do próprio circuito. Segundo Resnick *et al.* (2005), a realização de tais tarefas partindo de qualquer dispositivo é denominada de fonte ou sede de Força Eletromotriz, na qual pode ser simbolizada por \mathcal{E} ; abreviada e pronunciada como “fem”.

Pode-se considerar uma fonte de fem como um meio que cria uma elevação do potencial e a movimentação da mesma, partindo de onde a carga emana até o restante do circuito.

Em quaisquer fontes de fem, a energia encontrada no resistor conectado ao gerador não é total, pois há uma dispersão energética decorrente da resistência intrínseca do material. Em uma fonte usual de fem, como a bateria comum, a indicação da perda energética dar-se pelo

aquecimento da bateria, significando que a totalidade de energia química contida naquela bateria não foi transformada inteiramente em energia elétrica. Outra é um gerador elétrico presentes em usinas hidrelétricas, no qual sua energia cedida é diferente da obtida à custa da potência dissipada, como no caso das células combustíveis utilizadas nos foguetes espaciais. Como afirma Serway & Jewett (2004), outra menos comum são as pilhas termelétricas, ou as células combustíveis que são utilizadas para criação de potência para um ônibus espacial e também as pilhas termelétricas.

2.1.3 Lei de Lenz

Pouco depois de Faraday desenvolver a lei de indução, Heinrich Friedrich Lenz mostrou uma regra, conhecida atualmente como Lei de Lenz, usada para determinar o sentido da corrente em uma espira.

A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente. (HALLIDAY et al., 2003, Pg 251)

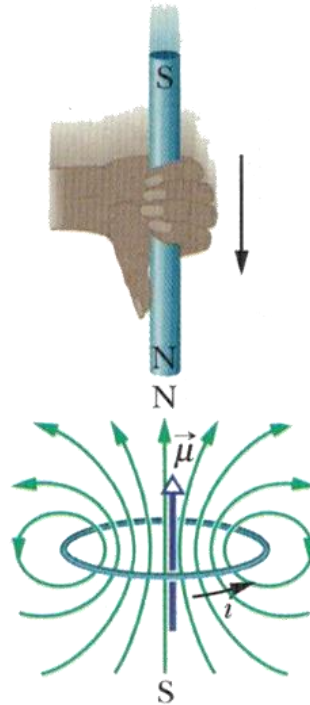
A lei de Lenz é aplicável apenas em circuitos condutores fechados, pois trata-se de correntes induzidas. Se o circuito for aberto pode-se pensar que sobre o que ocorreria caso este fosse fechado, e dessa maneira, é possível determinar o sentido da corrente.

Para se ter uma melhor ideia de como a Lei de Lenz funciona, será mostrado a seguir duas situações diferentes, porém equivalentes, em que a Lei de Lenz atua.

2.1.3.1 Oposição ao Movimento do Polo ou Princípio da Conservação de Energia

O aumento do fluxo magnético na espira devido sua proximidade com o polo magnético do ímã induz uma corrente na espira. De acordo com Resnick *et al.* (2005), após isso a espira passa a se comportar como um dipolo magnético com polos norte e sul, o momento magnético μ associado a esse dipolo aponta do polo sul para o polo norte. Para que ocorra uma oposição ao aumento de fluxo, é necessário que os polos nortes da espira e do ímã, respectivamente, estejam voltados um para o outro (figura 5), de modo que estes irão se repelir.

Figura 5 – Aproximação dos polos norte do ímã e da espira



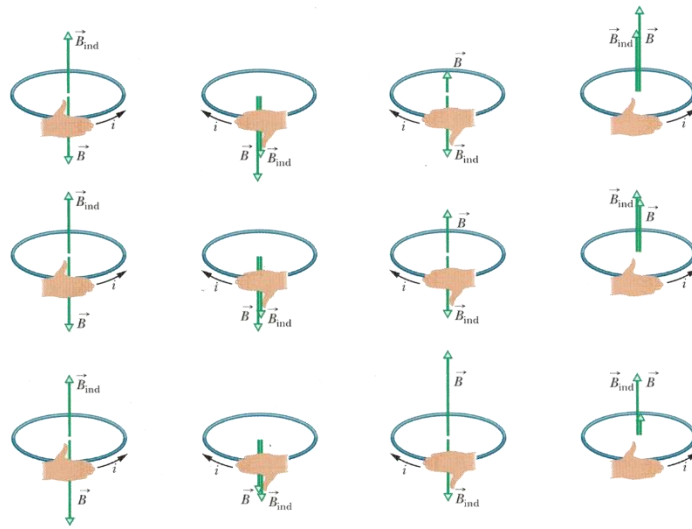
Fonte: HALLIDAY *et al.* (2003, p. 252)

Uma nova corrente é induzida na espira quando esta se afasta do ímã. Contudo, o polo sul da espira deve ser apontado para o polo norte do ímã para que ocorra uma atração entre eles, para que a corrente induzida na espira tenha o sentido horário se observada do lado do ímã.

2.1.3.2 Oposição a Variação do Fluxo

Quando o ímã está distante da espira, o fluxo magnético é zero. Mas quando o polo norte do ímã se aproxima da espira com o campo magnético B apontado pra baixo, o fluxo através da espira aumenta. Para que ocorra uma oposição a esse fluxo a corrente induzida i deve criar um campo B_{ind} apontado para cima, nesses casos os fluxos se opõem o que acaba causando o aumento de B . Seguindo a regra da mão direita (figura 6), o sentido i deve ser anti-horário.

Figura 6– O sentido da corrente em uma espira.

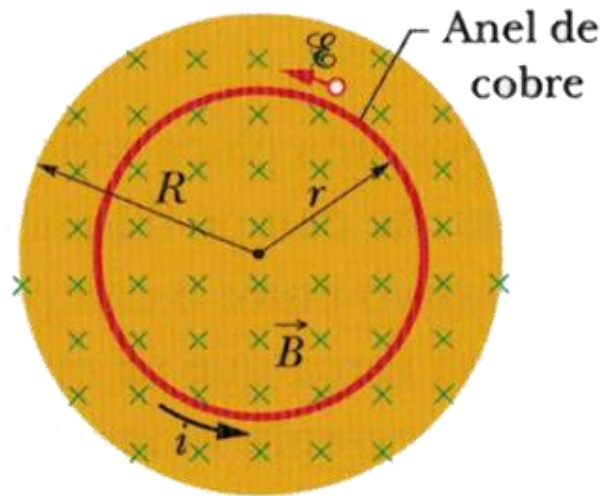


Fonte: HALLIDAY *et al.* (2003, p. 253)

2.1.4 Campos Elétricos Induzidos

Supondo que um anel de cobre de raio r está sendo submetido a um determinado campo magnético externo uniforme. Desprezando o efeito de borda o campo magnético ocupará um volume cilíndrico de raio R . Se aumentar de forma apropriada e a uma taxa constante a intensidade do campo, talvez também será aumentada a corrente do eletroímã que produz o campo. Assim de acordo com a Lei de Faraday, O fluxo magnético também aumentará através do anel a uma taxa constante (figura 7), e também aparecerá no anel uma força eletromotriz induzida além de uma corrente induzida. Porém, segundo a Lei de Lenz, a corrente induzida deverá ter o sentido anti-horário.

Figura 7 – Campo magnético com anel de cobre.



Fonte: HALLIDAY *et al.* (2003, p. 258)

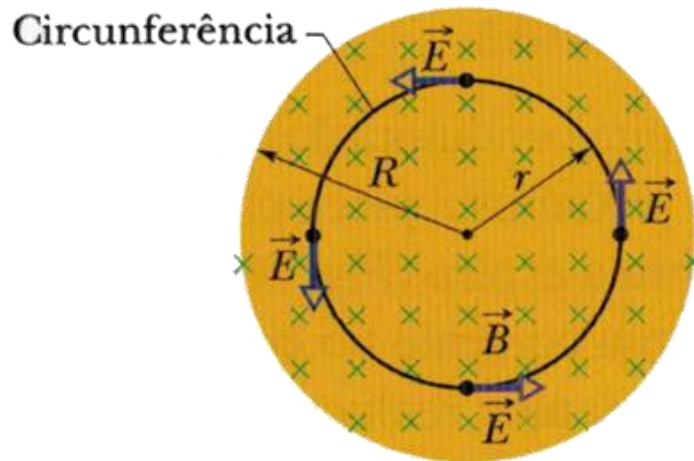
É necessário a existência de um campo elétrico para que os elétrons de condução se movimentem caso tenha uma corrente elétrica no anel de cobre. A variação do fluxo magnético acaba produzindo o campo elétrico induzido, tal campo é tão real quanto o campo elétrico produzido por cargas estáticas, e ambos os campos exercem uma força q_0E em uma partícula de carga q_0 .

Por conta desse raciocínio acaba-se caindo no enunciado, mas geral da Lei de Faraday:

Um campo magnético variável produz campo elétrico. (HALLIDAY *et al.*, 2003, Pg 259)

O fato de que o campo elétrico induzido continue existindo mesmo sem o anel de cobre (figura 8), é algo que chama a atenção nesse enunciado. Dessa forma, mesmo que o campo magnético esteja no vácuo haveria campo elétrico.

Figura 8- Campo magnético sem anel de cobre.



Fonte: HALLIDAY *et al.* (2003, p. 258)

2.1.4.1 Uma reformulação da Lei de Faraday

Considerando uma partícula de carga q_0 que se move por uma circunferência imaginária. O trabalho W realizado sobre a partícula pelo campo elétrico induzido durante a revolução completa é $W = \mathcal{E} q_0$, onde \mathcal{E} é a força eletromotriz induzida. Em definição, o trabalho pode ser expresso como:

$$W = \int F \cdot ds = (q_0 E)(2\pi r) \quad (1)$$

Onde $q_0 E$ é o módulo da força que age sobre a partícula e $2\pi r$ é a distância da circunferência que a força atua. Ao igualar as duas expressões para calcular o trabalho a carga q_0 é anulada e sobra a seguinte relação:

$$\mathcal{E} = 2\pi r E. \quad (2)$$

Escrevendo a primeira equação de outra maneira para que seja possível ver uma expressão mais geral sobre o trabalho realizado por uma partícula de carga q_0 que se move em trajetória fechada

$$W = \oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = q_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}. \quad (3)$$

(Os círculos nas integrais indicam que a integral deve ser calculada para curva fechada.) Substituindo o trabalho W por $\mathcal{E} q_0$, tem-se:

$$\mathcal{E} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (4)$$

Essa integral acaba sendo reduzida a equação 2 quando calculada em casos especiais como correntes sem o anel de cobre.

Esta última equação permite ver um significado geral da força eletromotriz induzida. A força eletromotriz induzida só foi vista como um trabalho de unidade de carga necessário para manter a corrente que a variação de fluxo magnético produz ou pelo trabalho sobre uma partícula carregada que descreve uma curva fechada em uma região que existe fluxo magnético variável. Porém em casos como circule sem o anel de cobre, pode ter uma força eletromotriz induzida, mesmo que não haja uma partícula: a fem induzida é a soma (por integração) do produto escalar $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ por uma curva fechada, em que \mathbf{E} é o campo elétrico induzido pela variação de fluxo e $d\mathbf{s}$ é o elemento de comprimento ao longo da curva.

Com isto, é possível obter uma nova expressão para a lei de Faraday:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (5)$$

Segundo Resnick *et al.* (2005), esta equação um campo magnético variável induz um campo elétrico. O campo magnético está do lado direito da equação enquanto o campo elétrico está do lado esquerdo.

Na forma que se encontra está última equação a Lei de Faraday pode ser utilizada em qualquer curva fechada que seja traçada onde tem campo magnético variável.

2.1.4.2 Uma nova visão do potencial elétrico

Os fluxos magnéticos produzem os campos elétricos induzidos, ao invés de serem produzidos por cargas elétricas estáticas. Embora ambos os campos elétricos exercem forças sobre partículas carregadas, tem diferenças essenciais. A principal diferença é que as linhas de campo dos campos elétricos induzidos formam curvas fechadas, já que sempre começam na carga positiva e acaba na carga negativa.

Formalizando a diferença entre os campos elétricos criados por indução e os campos criados por cargas estáticas como:

O potencial elétrico tem significado apenas para os campos elétricos produzidos por cargas estáticas; o conceito não se aplica aos campos elétricos produzidos por indução. (HALLIDAY et al., 2003, Pg 260)

Para que se possa entender melhor essa informação, observa-se que quando uma partícula carregada se move por uma trajetória circular (Figura 8) sob o efeito do campo elétrico induzido, a partícula começa sua trajetória no ponto p_i e ao voltar para esse ponto, ela experimenta uma força eletromotriz \mathcal{E} de 5v, por exemplo. Porém, isso é impossível, pois a partícula voltou para o ponto p_i e um mesmo ponto não pode ter dois valores de potencial. Portanto, o conceito de potencial não pode ser aplicado aos campos elétricos produzidos por campos magnéticos variáveis.

Para um ponto de vista mais formal, a diferença de potencial entre dois pontos i e f na presença de campo elétrico E é definida por:

$$v_f - v_i = - \int_i^f E \cdot ds \quad (6)$$

Se i e f correspondem ao mesmo ponto, a trajetória entre eles é uma curva fechada, logo, v_i e v_f são iguais e a equação é reduzida para

$$\oint E \cdot Ds = 0 \quad (7)$$

Mas, se estiver na presença de um fluxo magnético o valor da integral passa a ser $-d\phi/dt$. Dessa forma, atribuir um potencial elétrico a um campo elétrico induzido leva a uma

contradição. O conceito de potencial elétrico não é aplicado aos campos elétricos produzidos por indução.

2.1.5 Circuitos RL – RAYMOND

Conforme Serway & Jewett (2004), circuitos que contém bobina e solenoide, possuem uma autoindutância que os impedem de variar sua corrente de maneira instantânea. O indutor (figura 9) é para um circuito, um elemento no qual sua função primordial é fornecer indutância.

Figura 9 – O símbolo de um indutor



Fonte: SERWAY & JEWETT (2004, p. 882)

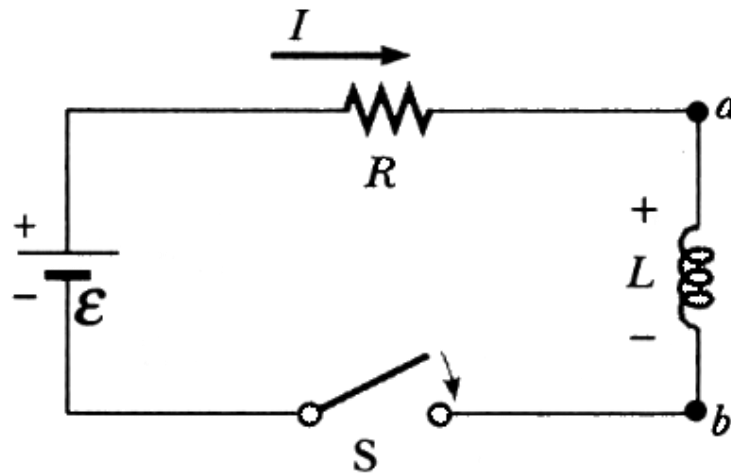
Para simplificar, a autoindutância do circuito é insignificante se comparada a autoindutância do indutor.

No circuito RL em série (figura 10), é desprezável a resistência interna da bateria. Supondo que a chave S é fechada em $t=0$, a corrente irá aumentar, e conforme à corrente crescente o indutor produzira uma fem (força contra-eletromotriz). Essa força é dada por:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt} \quad (8)$$

dI/dt é positivo pois a corrente aumenta; por conta disso \mathcal{E}_L é negativo. Isso ocorre por conta de uma queda de potencial do ponto a que tem um potencial mais elevado que o ponto b .

Figura 10- Circuito RL



Fonte: SERWAY & JEWETT (2004, p. 883)

Com isto, é possível aplicar a regra de malhas de Kirchhoff nesse circuito. Se o deslocamento ocorrer no sentido horário começando pela bateria, terá:

$$\varepsilon - IR - L \frac{dI}{dt} = 0 \quad (9)$$

IR é a voltagem no resistor. Por conta da fem está no sentido contrário a bateria, a diferença de potencial no indutor é negativa. Agora se faz necessário achar uma solução para essa equação diferencial, que é a representação matemática de um circuito RL.

Para solucionar a equação, será mudado as variáveis, dessa forma $x = (\varepsilon/R) - I$, assim $dx = -dI$. Agora a equação é escrita da seguinte maneira:

$$\frac{\varepsilon}{R} - I - \frac{L}{R} \frac{dI}{dt} = x + \frac{L}{R} \frac{dx}{dt} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{R}{L} dt \quad (11)$$

Quando esta última expressão é integrada a partir de um momento inicial até um tempo posterior t obtém-se:

$$\int_{x_i}^x \frac{dx}{dt} = -\frac{R}{L} \int_0^t dt \rightarrow \ln \frac{x}{x_i} = -\frac{R}{L} t \quad (12)$$

dessa maneira, o valor de x no $t = 0$ é $x_i = \mathcal{E}/R$, pois $I = 0$ no $t = 0$. Com o antilog desse resultado se obtém:

$$x = x_i e^{-Rt/L} \quad (13)$$

Assim, essa expressão é equivalente a

$$\frac{\mathcal{E}}{R} - I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-Rt/L} \quad (14)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-Rt/L}) \quad (15)$$

Essa expressão representa a solução da equação 9, a equação da corrente em função do tempo. Ela pode ser escrita também:

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-t/T}) \quad (16)$$

Quando $t = T$, temos:

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-1}) \quad (17)$$

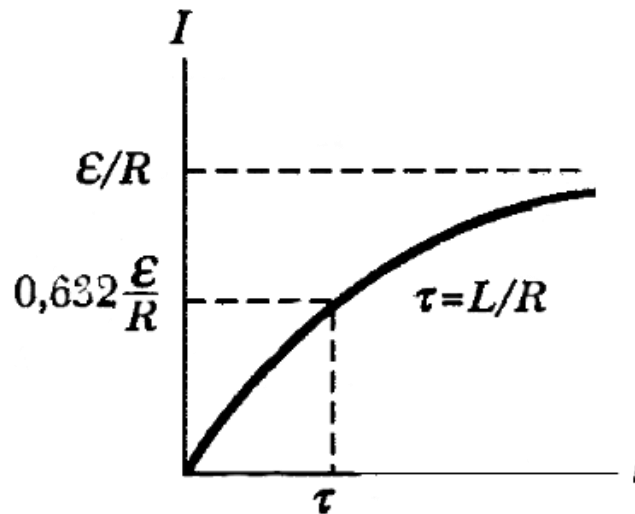
$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - 0,367) \quad (18)$$

$$I(t) = 0,632 \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (19)$$

Onde T (figura 11) é a constante de tempo do circuito RL:

$$T = L/R \quad (20)$$

Figura 11 - Gráfico da corrente em função do tempo



Fonte: SERWAY & JEWETT (2004, p. 884)

3 FOGÃO DE INDUÇÃO X FOGÃO A GÁS

3.1 Fogão de Indução

Nos equipamentos por indução, não ocorre perda de temperatura, pois todo o calor que é gerado vai para o alimento e não se dissipa para o ambiente. Com o seu funcionamento sendo a base de eletricidade influenciando, na diminuição da despesa com o gás, entretanto com consequência ocorrerá um aumento substancial na conta de luz. Mas, a situação do consumo elétrico não é de todo mal por causa não somente pela economia com gás, mas pelo tempo reduzido no cozimento dos alimentos. Se estima que os aparelhos por indução utilizam cerca de 90% da energia transformada em calor, enquanto que os fogões a gás têm um aproveitamento de apenas 55%.

Com essa comparação, apesar do consumo de energia ser alta, o fogão por indução é considerado mais econômico, pois usa a energia gerada de forma racional e sem desperdício. Podemos observar pela própria definição, que as placas elétricas de indução geram calor apenas onde é preciso, ou seja, diretamente na panela não aquecendo o resto do equipamento.

Em questão de decisão de compra apenas o custo do equipamento, os de indução saem atrás por causa de seus valores, que em média custam o dobro dos demais produtos, no caso o elétrico e o a gás, o que se deve ao fato da tecnologia que é utilizada e o design oferecido pelo cooktop, aos que procuram colocar equipamentos de última geração em sua residência.

3.1.1 Histórico de Aquecimento por Indução

O eletromagnetismo é uma manifestação do campo elétrico, tal manifestação atua sobre todos os materiais, ou seja, todos os materiais oferecem uma oposição ao fluxo de cargas elétricas, alguns mais que outros, que possibilitam a conversão de energia em seu estado elétrico para energia em térmica, fazendo com que o material condutor sofra um aumento de temperatura. Quando existe alguma circulação de corrente elétrica entre os terminais, a resistência aquece, esse fenômeno de transferência de energia é descrito pela lei de Joule, onde explica a forma de aquecimento de um forno elétrico indutivo. Portanto, há de se observar, que o aquecimento por indução magnética, trata-se da aplicação da Lei de Faraday-Maxwell.

A transformação de energia pelo método indutivo que gera eletricidade através do calor produzido pelo aquecimento metálico utilizando indução magnética, no passado, por muito tempo, foi considerado um método não viável de produção energética devido à sua complexidade. No entanto, a partir do estudo das correntes parasitas induzidas por campos magnéticos variáveis no tempo e a utilização das correntes alternadas em altas frequências, que se trata das Correntes de Foucault, esta visão em relação a produção energética indutiva muda. A técnica de aquecimento através das correntes indutivas de materiais que circulam no material condutor, condutor elétrico no qual deseja aquecer, também é firmada pelo princípio descrito por Joule.

3.1.2 Aquecimento por Indução

Em alguns locais utilizados para de fundição de metais, que mesmo sem vestígio de fogo próximo, há materiais metálicos extremamente quentes. De acordo com Bauer (2013), apesar de que as indústrias não exponham completamente seus métodos e técnicas de aquecimento, parte das atividades relativas a aquecimento metálico é realizado através de aquecimento por indução magnética. Este recurso é utilizado para aquecimento de materiais condutores, as moléculas dos materiais paramagnéticos são modificadas com mais facilidade pelo magnetismo, sendo possível a flexibilização dos materiais, a modelagem e, em seguida, o enrijecimento da substância.

O aquecimento por indução é um processo térmico, que consiste no aquecimento de materiais condutores elétricos, em geral algum material metálico, ou seja, isto expressa que a

substância sujeita ao campo eletromagnético são, obrigatoriamente, substâncias que conduza eletricidade. O aquecimento metálico por indução baseia-se na indução eletromagnética, em que ocorre a produção de uma força eletromotriz gerada a partir de um fluxo magnético variável submetido, inicialmente, a um condutor elétrico.

O sistema é composto pela conversão de energia da rede em uma corrente alternada, conversão esta em que é gerada por uma fonte de alimentação externa que, com a passagem da corrente elétrica em direção a bobina de indução, cria-se um campo magnético.

O circuito presume duas bobinas, onde ambas estão interligadas, mas cada uma possui sua própria função, uma age como descarga de radiofrequência, que melhora a eficiência do circuito e impede a volta da radiofrequência para a fonte, e outra como bobina sincronizada, em que deve possuir uma dobradiça, esta dobradiça é a derivação central da bobina, em que seu centro serve como separação dos espirais, para que uma espira não encoste em outra.

No centro do eletroímã, que é utilizado como bobina, é posto o componente de trabalho. Uma corrente elétrica é induzida pelo campo magnético, onde as correntes de Foucault são formadas dentro do componente de trabalho, que como consequência, produz calor.

3.1.2.1 Correntes De Foucault

O termo corrente de Foucault é derivado de correntes análogas observadas na água ao remar usando um remo.

Tratando da definição as correntes de Foucault são laços fechados de corrente induzida que circulam em planos perpendiculares ao fluxo magnético. Eles comumente viajam paralelamente ao enrolamento da bobina e o fluxo é limitado à área do campo magnético. Concentrando-se perto da superfície adjacente a uma bobina de excitação e a sua resistência diminui com a distância da bobina, ou seja, a densidade da corrente diminui exponencialmente com a profundidade.

Basicamente, quando é aproximado um ímã a uma espira, o fluxo magnético no interior aumenta, nesse momento é criada uma corrente elétrica induzida dentro de um material condutor, quando sujeito a um campo magnético variável devido à lei de indução de Faraday, lei que prevê como um campo magnético interage com um circuito elétrico para produzir uma força eletromotriz. Tais correntes de Foucault são em homenagem ao físico e astrônomo francês Jean Bernard Léon Foucault. O surgimento das correntes parasitas é uma

consequência direta do efeito da indução eletromagnética descrito por Faraday (YOUNG; FREEDMAN, 2009)

Quando o ímã se afasta da espira ocorre uma variação negativa do fluxo magnético, que diminui, e também gera uma corrente elétrica induzida. A velocidade do ímã influencia na corrente que pode ser dada pela seguinte equação: $|\mathcal{E}| = |d\Phi| / |dt|$ onde “ $d\Phi$ ” representa a variação o fluxo e “ dt ” variação do tempo. sendo as dimensões consideráveis, a superfície sofre uma dissipação de energia pelo efeito joule (lei física que expressa a relação entre o calor gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo), acarretando um grande aumento de temperatura, o que faz possível utilizar estas correntes como aquecedores. As vezes a geração de calor por causa das correntes de Foucault é o ponto mais importante em fornos industriais usados para derreter metais e também os fogões de indução residências.

Os fogões residenciais contam com a interação entre o campo eletromagnético produzido com o campo magnético de utensílios ferromagnéticos. Sendo que esse calor só poderá ser produzido se as duas superfícies se encontrarem, de modo que o resto do fogão não esquente.

Recentemente, a influência do desenvolvimento nos campos da tecnologia da informação, eletrônica, processamentos de sinais contribuíram para o aumento sem precedentes do desempenho dos métodos envolvendo correntes parasitas (ROSADO, 2009).

As correntes de Foucault não são desejadas em algumas ocasiões, como, por exemplo, em núcleos de transformadores. A bobina ao redor do núcleo conduz uma corrente alternada e essa corrente gera um fluxo magnético variável, que incide sobre o núcleo da bobina, induz correntes parasitas no núcleo. Estas correntes dissipam energia térmica e criando um segundo fluxo magnético contrário ao fluxo original da bobina.

Tal reação desse fluxo secundário faz com que se tenha uma queda no rendimento dos transformadores. Para reduzir esse efeito deve-se reduzir o percurso das correntes e, para fazer isso se utiliza comumente núcleos laminados e com isolamento entre as placas que compõem o núcleo (YONG; FREEDMAN,2009)

3.1.3 Calorimetria

Dentro da termodinâmica a calorimetria é uma parte da física que estuda as trocas de energia entre corpos ou sistemas, quando essas trocas são em forma de calor. Com isso,

temos que, o calor é a transferência de energia térmica entre corpos com temperaturas diferentes.

A unidade mais utilizada para o calor é caloria (cal), embora sua unidade no SI seja o joule (J). Uma caloria equivale a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grama de água pura, sob pressão normal, de 14,5 °C para 15,5 °C.

A relação entre a caloria e o joule é dada por: $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$. Então assim, pode-se fazer conversões entre as unidades usando uma simples regra de três.

Como 1 caloria é uma unidade pequena, utilizamos muito o seu múltiplo, a quilocaloria, que pode ser dito como, $1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal}$.

Um ponto importante para estudarmos dentro desse contexto é o calor sensível, que é a quantidade de calor que tem como efeito apenas a alteração da temperatura de um corpo. Esse fenômeno é regido por uma lei conhecida como equação fundamental da calorimetria, ela diz que a quantidade de calor sensível (Q) é igual ao produto de sua massa, de uma variação de temperatura e um constante de proporcionalidade que depende da natureza do corpo, chamada de calor específico.

Outro tópico de relevância nesse estudo trata do calor sensível, que é quando um corpo cede ou recebe determinada quantidade de calor, capaz de gerar apenas variações de temperatura, mas sem que aconteça uma mudança no estado de agregação das moléculas.

Para entendermos de forma mais ampla todo o conceito que ronda o estudo da calorimetria, precisamos entender também o que seria o calor latente.

Chamado de calor de formação em alguns casos, o calor latente é a grandeza física que se relaciona com a quantidade de calor que uma unidade de massa de uma certa substância deve receber ou ceder para mudar a sua fase, ou seja, de sólido para o líquido e do líquido para o gasoso, e vice-versa.

O calor latente pode possuir tanto valor positivo quanto negativo. O valor é positivo se a substância estiver recebendo calor e negativo se estiver cedendo. No sistema internacional de unidades, a unidade do calor latente é o j/kg (joule por quilograma).

3.1.4 Modo de funcionamento

O fogão de indução tem como fonte de calor as ondas geradas em um campo eletromagnético que usa ímãs para interligar as partículas magnéticas da panela às bobinas de

dentro do cooktop. Neles, a corrente que esquentava a panela circula diretamente por seu metal, produzindo um aquecimento uniforme.

Indução eletromagnética, ou simplesmente indução, é uma técnica para o aquecimento para materiais que são condutores elétricos. O aquecimento por indução é frequentemente aplicado em vários processos, tais como o aquecimento de metais, e a fusão. (CALLEBAUT, 2007)

Neste tipo de equipamento não existe uma fonte de calor propriamente dita, funcionando apenas como um processo de geração e troca de calor. É um fogão que apresenta uma superfície de cerâmica (material vitrocerâmico) extremamente polida.

Tais equipamentos, embora seja possível adquiri-los no Brasil, representam um percentual muito pequeno quando comparado à outras tecnologias tradicionais, diferente de alguns países do hemisfério norte, onde o uso de sistemas indutivos para a cocção já está estabelecido e continua em expansão.

O seu funcionamento se tem por conta de um campo magnético criado por uma corrente alternada sobre um material ferroso, são assim induzidas correntes em domínios fechados cuja a intensidade depende do campo.

Abaixo da área onde se irá colocar as panelas há vários fios feitos de cobre fazendo um círculo criando assim uma bobina e é por ela onde se passa a energia que fará a panela esquentar. Para que não ocorra acidentes com choque é colocado uma camada de vidro temperado logo acima.

Quando a panela magnética é colocada na demarcação onde é gerado o campo de tensão, suas moléculas reagem e começam a se mover de 20 a 50 mil vezes por segundo, gerando fricção e excitando as bobinas. Essa combinação resulta em correntes elétricas e calor.

Estas correntes encontrando a resistência do material em que circulam produzem calor. Nos transformadores, estas correntes causariam perdas e aquecimento, devendo ser reduzidas, dado isso o uso de chapas laminadas ou ainda de materiais em pó (ferrites), para que os domínios das correntes sejam reduzidos e assim o efeito não tenha intensidade capaz de afetar o desenvolvimento do dispositivo. Porém, essas correntes podem ser utilizadas na prática para aquecer um material ferroso, por exemplo, uma panela de ferro. O que nos leva a prever que panelas feitas de alumínio ou cobre, por exemplo, não terão aumento de temperatura.

Conforme dito por Graça (2012, p. 180)

Esta interação entre o campo indutor e o campo induzido permite acrescentar uma interpretação em termos da conservação de energia, podendo-se

dizer que o trabalho necessário para produzir a indução é idêntico ao calor gerado na espira pela corrente induzida.

O fogão por indução como possui uma maneira diferente no seu funcionamento dos fogões convencionais necessita de certas características em relação aos seus materiais para o seu uso. Esse sistema de indução se faz necessário do uso de painéis que possuem em seu fundo propriedades magnéticas que estimulem o funcionamento do fogão, que o torna também mais seguro que modelos a gás ou elétricos, pois jamais ficam aquecidos quando não estão em contato com a panela.

Com isso, é preciso saber a importância de escolher adequadamente as painéis que serão utilizadas quando se usam o fogão por indução. As indicações para a escolha de painéis com o intuito de serem usadas nesse sistema por indução são modelos com o fundo plano e fabricado em materiais magnéticos, como aço inoxidável e o ferro fundido.

Quanto mais grossa e pesada for a panela, mais ela irá aquecer. Mas é preciso ficar atento para ver se a panela está bem posicionada na zona de cocção (boca) do fogão, pois só a área demarcada esquenta. Para ter certeza de que, o material utilizado para a construção da panela a servirá para uso, basta fazer o teste com um ímã: se o ímã aderir ao fundo da panela, ela poderá ser usada sem problemas; caso contrário, não será indicado o seu uso.

3.1.5 Características do fogão de indução

- Um dos maiores diferenciais do fogão por indução é que o calor é gerado por um campo eletromagnético formado entre a panela e o fogão. Toda a superfície se mantém fria, apenas a panela esquenta devido.
- Depois de quente, o fogão por indução consegue cozinhar os alimentos mais rapidamente, além de manter um rígido controle de temperatura, ou seja, o calor não oscila.
- Como este modelo utiliza eletricidade e magnetismo para funcionar, você não vai precisar usar botijão ou encanamento a gás. Apesar de consumir bastante energia, o índice de aproveitamento da energia gerada chega a 90%.

O modelo que originou o fogão por indução é o cooktop convencional, ilustrado na figura 12, com funcionamento elétrico, em que o calor é gerado por uma resistência similar a dos chuveiros elétricos.

Figura 12- Fogão por indução



Fonte: Google, 2020.

3.1.6 Tipos de fogão de indução

Existem dois modelos de fogão por indução: o de embutir e o de mesa.

- Modelo de mesa: também chamado de piso, não necessita de instalação, pois será apoiado em cima de moveis e será ligado a uma tomada.
- Modelo de embutir: precisa ser instalado sobre uma bancada, pia ou móvel plano, resistente ao calor e estável. Também precisa ser instalado a afiação elétrica, e nunca deve ser plugado na tomada.

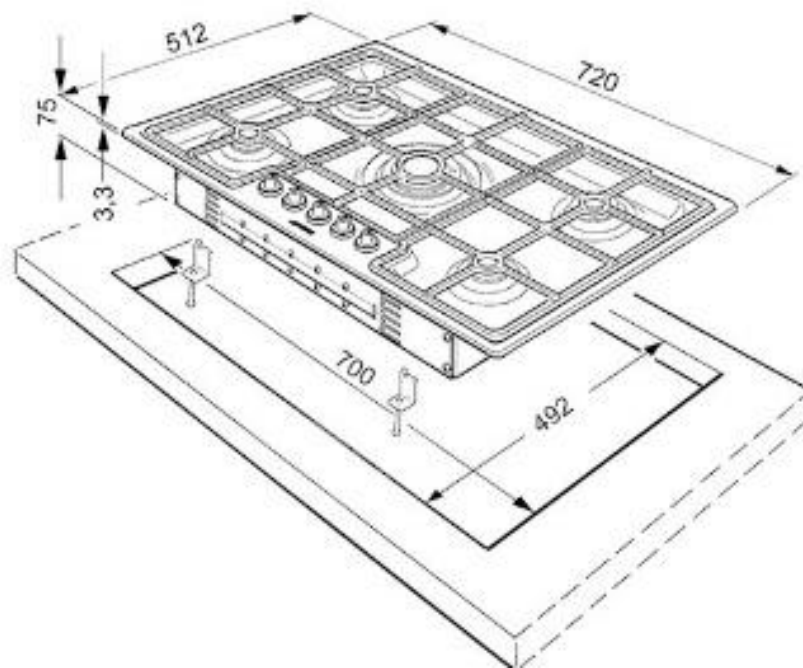
3.1.7 Cooktops

Hoje existem três formas de cooktop, diferenciados pela forma com que esquentam os alimentos e pela fonte de energia; são eles: o cooktop a gás, o cooktop elétrico e o cooktop por indução. O cooktop é algo razoavelmente antigo, utilizado desde os anos 90.

- Cooktop a gás

É o modelo mais comum desse tipo de fogão, que funciona alimentado com gás de cozinha, como mostra a figura 13. É possível usar a mesma fonte de gás de fogão normal. Além disso, é o tipo de cooktop mais democrático, pois é compatível com todos os tipos de panelas.

Figura 13 – Cooktop a gás



Fonte: Google, 2020.

- Cooktop elétrico

Ele é alimentado somente por eletricidade. O modelo elétrico tem a superfície totalmente plana, ilustrada na figura 14. Além disso, o cooktop elétrico aquece os alimentos mais rapidamente, possui controle muito preciso da temperatura e traz funções de desligamento automático e timer.

Figura 14 - Cooktop a elétrico



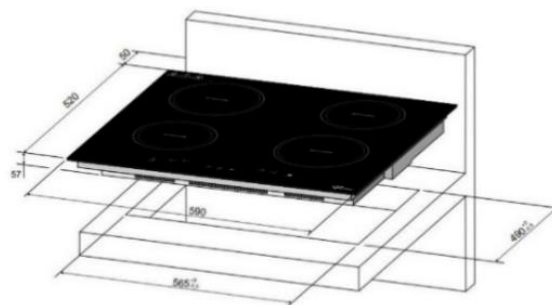
Fonte: Google, 2020.

- Cooktop por indução

É considerado um modelo elétrico, porém, pode ser um tipo à parte de um cooktop devido a forma como ele aquece os alimentos: ele utiliza a eletricidade para gerar um campo magnético quando a panela entre em contato com a superfície do cooktop, o que mantém todo o calor na parte inferior da panela. Assim, os alimentos cozinham com uma velocidade muito maior graças a essa eficiência na manutenção da temperatura.

Os cooktops por indução não possuem uma chama, mas sim uma tecnologia que transfere o calor diretamente para a sua panela, conforme a figura 15.

Figura 15 - Cooktop por Indução



Fonte: Google, 2020.

3.1.8 Material Vidro Cerâmico

O vidrocerâmico é o material que serve de revestimento para o cooktop, podendo ser utilizado tanto no fogão de indução, quanto no elétrico, com exceção do a gás. Mas, existem outros revestimentos que também podem ser utilizados como o vidro e o aço inox.

A principal vantagem que torna o cooktop vidrocerâmico bastante benéfico é a sua resistência junto uma baixa condutividade elétrica e quase nenhuma dilatação térmica, por isso é utilizado também na medicina (dentes e ossos artificiais) e na astronomia (espelhos e telescópios). O vidrocerâmico é um material cerâmico obtido por técnicas de vidraçaria e constituído de microcristais dispersos numa fase (uma região do espaço em que as características físicas de um material são uniformes) vítrea.

3.1.9 Benefícios do Fogão de Indução

Quando painéis de material ferromagnético são colocadas no campo (magnético), uma corrente de cerca de 1 Volt é induzida em sua porção inferior, que por sua vez, gera um campo magnético e induz outras correntes menores (correntes de vórtice).

Essas correntes menores têm campos magnéticos próprios, que através de efeito cascata, resulta em colisões moleculares no material, convertendo essa energia eletromagnética em calor no seu interior, possibilitando a cocção dos alimentos, e perda por histerese magnética. Uma consequência desse mecanismo é que ao remover a panela da boca, o fogão também resfria muito mais rapidamente, o que evita possíveis acidentes graves com queimaduras.

Um ótimo rendimento: A energia é transferida diretamente à panela, a perda de energia é mínima, garantindo um ótimo rendimento.

Economia com o tempo: O cooktop de funcionamento por indução leva menos tempo para cozinhar os alimentos.

Economia de energia: A energia consumida para ferver água também é menor.

Alta precisão: os níveis de potência variam de 50 a 230 graus e são ajustáveis, quase que, instantaneamente (conforme o modelo do cooktop). Além disso possui aplicação especiais para aplicações específicas. (GONÇALVES & MIOTTO, 2013; CEQUINEL FILHO, 2015)

3.2 Perdas Energéticas em uma Instalação de fusão por indução

3.2.1 Fundição Em Forno

A fundição por forno de indução consiste no processo de fabricação de peças metálicas através da moldagem de metal líquido para o sólido, tal processo ocorre quando um líquido metálico é derramado ou pressionado em moldes, sendo que, os moldes possuem suas próprias características, onde o modelo escolhido é determinado pelo confeccionista. Conforme ressalta Junior (2016), diante disto, torna-se evidente o imenso potencial deste processo, devido a sua enorme capacidade de controle de enchimento, nos mais elevados níveis de detalhe, sendo possível a produção de componentes com elevada integridade.

A confecção de determinados equipamentos, dependendo da sua complexidade, faz-se inviável devido ao possível alto custo e dificuldade de fabricação, perante isto, a fundição é uma forma viável e frequentemente optada para produção de objetos. Durante milhares de anos, e até hoje, o processo de fundição é conhecido e amplamente utilizado em moldagem de joias, esculturas, ferramentas e utensílios bélicos. A partir das técnicas tradicionais da fundição, pode-se tirar alguns tipos de resposta, como, fundição em conchilha, fundição em areia, fundição por cera perdida e fundição por espuma perdida.

A resposta conhecida sobre as técnicas é a divisão do material do molde, tais como metal e areia, que consistem, respectivamente, em um molde projetado de modo que possa ser utilizado repetidas vezes, ou seja, que exista a possibilidade de separação entre o molde e o fundido solidificado, e em contraste com a moldação em areia que consiste na destruição da areia para remoção do fundido. Os fundidos que são chamados por Fundidos Sob Pressão, compreende-se que são aqueles em que o metal é pressionado contra o molde, forçado a entrar para o molde e os fundidos designados como Fundidos por Gravidade, consistem no vazamento manual do metal para o molde, sem qualquer tipo de pressão exterior.

De acordo com Junior (2016), dentre as possíveis formas de fundir materiais, o forno elétrico à indução é uma das possíveis formas, capaz de realizar o processo de forma limpa, ou menor prejudicial ao meio ambiente, e pouco poluente. Apesar de que, os principais fornos de indução para fundir materiais serem utilizados como fornos industriais, os mesmos geram outros diretrizes para o forno de indução, como um forno de indução doméstico, o mecanismo de aquecimento por indução possibilita uma constância e controle no aquecimento, sendo ininterrupto por, por exemplo, vento, em comparação com um fogão tradicional a gás.

3.2.2 Perdas energéticas em processo de fundição

No processo de fusão por indução existe dois tipos de perdas de energia: diretas e indiretas.

Segundo Neto *et al.*, (1997) a perda de energia nos processos de indução de maneira indireta ocorre de duas formas: através de peças defeituosas refugadas e por meio de canais e massalotes.

3.2.3 Perdas de energia diretas

A energia agregada as peças defeituosas acabam sendo perdidas no processo de fusão. Por conta disso, é necessário a diminuição das peças danificadas ao máximo possível para diminuir a perda de energia no processo de fusão.

No processo de fundição se faz essencial peças sem rachaduras causadas pela compressão que o metal líquido acaba sofrendo no processo de fusão e solidificação. Assim o sistema de alimentação de moldes é necessário para que tenham reservas do metal líquido para ocupar as lacunas criadas no processo. Esses moldes são chamados de massalotes, a relação entre o peso da peça fundida e o peso total do metal vazado no molde é conhecido como rendimento metálico e o massalote é o componente mais importante desse processo. Dessa maneira os massalotes são componentes essenciais pois atuam como peças de reposição e é a massa excedente no processo de fundição.

No processo de conservação de energia é essencial a presença de massalotes pois eles exigem a menor quantidade de metal líquido e garantem peças perfeitas.

A maior parte das fundições brasileiras utilizam o método prático da determinação do sistema de alimentação, apesar de existir outros métodos mais fáceis não quer dizer que esses métodos são antieconômicos e que estes sejam infalíveis. Na definição de sistema de alimentação os dois métodos se completam.

No projeto de fundição de peças para se obter melhores resultados é necessária a utilização de métodos com maior base científica, assim este projeto terá uma vivência melhor do que aqueles que são decorrentes de um projeto baseado apenas na prática tradicional.

3.2.3.1 Perdas diretas

As perdas diretas de energia são aquelas que duram todo o processo de fundição, desde a fusão do metal até o tratamento térmico das peças fundidas se perpetuando por todo o processo.

As perdas de energia que ocorrem no processo de fusão da carga metálica, decorrem do uso de equipamentos e métodos operacionais errados. Nesse processo, as perdas de energia se concentram no transporte do metal líquido, assim como nos fornos de manutenção de temperatura e no tratamento térmico das peças.

- Perdas no transporte de metal líquido

Ocorrem grandes perdas de energia no transporte do metal líquido para os moldes e para os fornos de manutenção de temperatura dos sistemas de alimentação, em decorrência de:

Panelas mal isoladas termicamente e geralmente operadas sem tampas isoladas que acabam resultando na perda de energia por condução convecção e principalmente por irradiação;

Utilização de mais panelas do que o suficiente, com isto ocorre um esfriamento do metal acarretando na utilização de mais energia que o necessário neste processo;

Aumento no tempo de carregamento das panelas por conta de erros operacionais;

Longos percursos do metal líquido das panelas até os locais para a alimentação de moldes, ou dos fornos;

Transportes demorados das panelas causando uma perda energética;

- Perdas nos fornos de manutenção de temperatura

Normalmente, os fornos apresentam uma grande perda térmica pelo fato do mesmo ser mau isolado termicamente e pela falta de tampas isolantes. Pelo fato do metal permanecer uma grande quantidade de tempo nesses fornos, as suas perdas de energia são altas.

- Perdas nos fornos de tratamento térmico

O consumo de energia é bastante elevado no processo de tratamento térmico das peças. Essas perdas se devem principalmente à programação inadequada das peças a serem tratadas, a duração exagerada do ciclo de tratamento, ao arranjo físico das peças no forno, além das perdas inerentes de cada forno em particular.

3.2.3.2 Perdas de energia em fornos de indução

Apesar desse tipo de forno ser um equipamento de elevada eficiência energética, suas perdas são altas e poder ser minimizadas a partir de uma análise detalhada de suas características e da aplicação de algumas medidas operacionais.

As perdas de energia, em uma aproximação simplificada, podem ser divididas em três grandes grupos:

- Perdas inerentes ao processo: caracterizadas por serem próprias do processo, como por exemplo, as perdas na bobina indutora;
- Perdas devido às características do equipamento: são aquelas ocasionadas pelo projeto, dimensionamento e tipo do forno;
- Perdas na operação: são provocadas pela operação não otimizada do forno, como por exemplo, as perdas por irradiação pela abertura da tampa de forno.

A ação sobre cada um destes tipos de perdas deve ser específica, objetivando minimizar a sua somatória e melhorar o desempenho econômico da instalação de fusão.

Em relação as perdas próprias da produção, não há muito que se possa fazer, além de um gerenciamento mais eficaz do sistema tendo em vista minimizar as perdas em cada fase, deve-se analisar os processos para redução de calor para conhecer suas limitações.

As perdas por causa de descuidos operacionais e vícios são um enorme potencial de economia de energia. Para minimizar essas perdas devem ser feitos treinamentos com os operadores e supervisores dessa linha de produção.

Quando se compra um forno de indução com as capacidades maiores que as necessárias no momento com a visão de uma possível expansão no futuro aumenta de maneira considerável o consumo de energia, e por conta disso acaba aumentando também as perdas de energia. Para evitar que isto ocorra faz-se necessário uma análise nas características do equipamento de fusão por indução para saber se está trabalhando com o equipamento mais adequado para sua necessidade.

Se existe a necessidade de expansão ou ampliação de novas instalações é necessário analisar e encontrar uma solução plausível que atenda as expansões futuras e que consuma a menor quantidade de energia elétrica possível.

Agora será analisada as principais causas da perda de energia e também será visto maneiras para minimizá-las

3.2.3.3 Balanço energético de uma instalação de fusão por indução

Para poder reduzir o consumo de energia deve-se primeiro determinar e identificar as prováveis fontes de energia, o fluxo de energia e as perdas do processo. Cada um destes itens deve passar por uma avaliação que mostre suas respectivas quantidades para que se possa ter uma ideia geral do sistema.

Quase toda energia consumida em uma instalação de fusão por indução é consumida no forno. Os outros consumidores são os sistemas de refrigeração, com bombas e ventiladores, o sistema de acionamento, o sistema de conversor de frequência, o transformador os cabos alimentadores e os capacitores.

De forma simplificada o desenvolvimento de um balanço energético é composto por:

- Determinar o montante de energia consumida por toda a instalação;
- Avaliar a energia absorvida, que pode ser calculada em função do tipo de carga e de suas propriedades;
- Avaliar a energia consumida pelos motores e auxiliares;
- Avaliar as perdas nas bobinas indutoras;
- Avaliar as perdas pelas paredes e tampas do forno;

O principal objetivo desse balanço é conhecer as perdas, as fontes e a energia útil para assim poder achar ações para minimizar o consumo de energia.

3.2.3.4 Perdas no transformador

O transformador é um equipamento destinado a baixar a tensão do sistema de média de tensão concessionária, quando a indústria estiver ligada de maneira direta nele.

O transformador tem dois tipos de perdas: perdas em seu núcleo magnético, também conhecido como perdas de ferro e perdas em seus enrolamentos, conhecidas como perdas de cobre.

As perdas no ferro são perdas ôhmicas devido as correntes que circulam nas chapas de aço-sílico, as quais fazem parte do núcleo do transformador, já as perdas históricas se devem pelo fato do núcleo ser feito de material ferromagnético. Para certos transformadores as perdas do núcleo não dependem do seu carregamento, ou seja, são iguais tanto o transformador esteja cheio ou vazio. Já os transformadores fabricados hoje em dia, tem

menores perdas no ferro que os transformadores mais antigos, pois seus núcleos tem chapas mais finas de aço silício e de boa qualidade.

Já nos enrolamentos ocorre perdas ôhmicas devido a circulação de corrente elétrica nos enrolamentos primários e secundários. Essas perdas são diretamente proporcionais as resistências elétricas e ao quadrado das correntes elétricas dos enrolamentos. Sendo assim, quanto maior o carregamento do transformador, maior a perda.

As perdas percentuais de um transformador variam de acordo com sua potência nominal. Quanto maior a potência nominal menores são as perdas relativas. Ou seja, uma relação inversamente proporcional.

Em transformadores com altas potencias as perdas nos enrolamentos são maiores que no núcleo. Já em transformadores de potência nominal acima de 200KV_a, as perdas nos enrolamentos chegam a ser 3 ou 4 vezes maior que a perda no núcleo.

- Redução das perdas no núcleo do transformador

As perdas no núcleo não dependem do carregamento do transformador, ou seja, são perdas constantes que existem independentemente dele estar cheio ou vazio. Para minimizar essas perdas deve desligar o transformador sempre que ele não estiver em funcionamento por um tempo longo. Como por exemplo aos finais de semana.

- Redução nas perdas nos enrolamentos do transformador

As perdas no enrolamento variam de acordo com o quadrado da corrente. Uma forma de minimizar as perdas é reduzindo a corrente de carga, essa redução é obtida através de medidas de conservação e energia e operando-se o forno com elevado fator de potência.

3.2.3.5 Perdas nos cabos de alimentação e nas conexões

Os cabos de alimentação de um forno apresentam resistências elétricas. Sendo assim, toda vez que circula corrente elétrica por eles, acaba ocorrendo perdas através do efeito joule, as chamadas perdas ôhmicas, essas perdas são dadas pelo produto de sua resistência elétrica pelo quadrado da corrente elétrica que circula a mesma.

Já no circuito alimentador do forno existem conexões elétricas, com resistências elétricas, conhecidas com resistência de contato. À circular corrente elétrica por elas ocorre a perda pelo efeito joule. Essas perdas são maiores se a resistência de contato for maior.

A redução das perdas ôhmicas é obtida pela redução da corrente de carga do forno e pela operação deste com alto fator de potência.

Em grandes instalações a potência dissipada nos cabos de alimentação são tão grandes, que eles precisam ser refrigerados. Se essa refrigeração não ocorrer de maneira correta, as perdas ôhmicas aumentam devido à resistência dos cabos também aumentar, podendo até danificá-los. Dessa forma, é preciso ter atenção especial ao sistema de refrigeração para evitar perdas de energia e danos aos cabos alimentadores.

Para diminuir as perdas nas conexões do circuito alimentador é preciso reduzir a corrente elétrica do forno e reduzir também as resistências de contato. Para isso é muito importante que durante a manutenção preventiva haja uma revisão nas conexões, reapertando ou substituindo os conectores danificados.

3.2.3.6 Perdas nos capacitores

Os capacitores elásticos apresentam resistências internas, que apesar de seu tamanho pequeno provocam perdas elétricas, tais perdas existem enquanto os capacitores estiverem ligados. Estas perdas são pequenas mesmo com o sistema de refrigeração.

3.2.3.7 Perdas na bobina indutora

Há dois tipos de perdas nas bobinas: as perdas térmicas e perdas elétricas. As perdas térmicas são resultado da transmissão de calor da carga metálica aquecida através do revestimento do forno. Já as perdas elétricas são dadas pelo produto da resistência elétrica da bobina pelo quadrado da intensidade da corrente elétrica que circula nela. As perdas elétricas não ocorrem na bobina em si, mas são transmitidas para elas através do metal aquecido através do revestimento isolante do forno. Porém, tradicionalmente são tidos como perdas na bobina indutora.

O indutor deve ser de um metal de baixa resistividade, como um cabo eletrolítico puro, que é utilizado para fabricar a maior parte das bobinas indutoras. Contudo, a densidade da corrente não é constante dentro do indutor e deve ser levado em conta o efeito peculiar na hora de determinar a resistência da bobina. Para isso deve ser considerado dois casos.

Quando a profundidade de penetração for igual ou superior ao diâmetro do condutor, a resistência do indutor é calculada pela fórmula padrão (valor em função de resistividade do transversal e do seu comprimento). Esse caso acontece quando a frequência é baixa e a seção

transversal não é grande. Para diminuir as perdas neste caso deve-se aumentar a seção transversal.

Já quando a profundidade de penetração é muito inferior ao diâmetro do indutor, a corrente se concentra na superfície do indutor, principalmente na parte voltada para o cadinho onde tem carga metálica. A seção a ser utilizada para o cálculo de resistência é igual ao produto da largura de uma espira pela profundidade de penetração. Isso acontece em fornos de média e alta frequência. Dessa maneira é inútil aumentar a espessura do indutor para minimizar as perdas pelo efeito joule.

- Redução das perdas elétricas na bobina indutora

As perdas energéticas percentuais nas bobinas dependem de inúmeras variáveis. Mas, algumas regras possibilita a redução

- Usar indutor feito de materiais que não elevam tanto sua temperatura e tenham baixa resistividade, uma vez que a resistividade tende a aumentar junto com a temperatura, dessa maneira o sistema de refrigeração tende a remover a energia dissipada no indutor e danifiquem a bobina.

- Verificar que a carga metálica e o indutor estão bem acoplados, reduzindo a distância entre a carga e a bobina, para isso é preciso que o revestimento refratário seja o mais fino possível;

- O nível de carga da bobina não pode ser menor que o seu correspondente na espira superior da bobina;

- Para atuar com uma carga com fator de transmissão de potência elevada, é necessário que haja uma relação de pelo menos superior a 4 entre a espessura de seus componentes e a profundidade a ser penetrada.

Para diminuir as perdas térmicas é necessário ter um bom isolamento térmico entre o indutor e carga metálica. Mas isso não pode resultar no aumento da espessura do revestimento refratário e isolante do forno, pois isso vai desencadear perdas no desempenho do forno. Para reduzir as perdas térmicas é necessário operar o forno de maneira mais adequada possível, para isso se faz necessário evitar superaquecimentos e deixar a liga depois de pronta dentro do forno por longos períodos de tempo. Então a corrida deve ser feita no menor tempo possível e o superaquecimento deve ocorrer apenas quando este for muito necessário. Para um tipo específico de forno as perdas na bobina dependem do metal ou da liga metálica, e da maneira em q o forno é operado.

Tabela 1 – Percentual de perda por material

Metal/ liga de metal	Perda em % de consumo total
Ferro fundido e aço	22%
Alumínio	32%
Cobre	38%

Fonte: Adaptado NETO *et al.*, (1997, p. 30)

O ferro fundido e aço são materiais ferromagnéticos, o que explica perdas diferentes por causa da função de suas resistividades não são iguais a dos metais fundidos.

Por se apresentarem como materiais ferromagnéticos, o ferro fundido e aço, apresentam perdas diferentes por causa da função das resistividades. Perdas energéticas da bobina indutora são decorrentes do superaquecimento da carga metálica que atua com o forno de rendimento elétrico abaixo do nominal.

- Recuperação de energia dissipada pela bobina indutora

No Brasil quase não é utilizada o calor dissipado que é proveniente do transformador, dos condensadores e do conversor de frequência, esse calor pode ser aproveitado para aquecer ambientes.

A maior parte das perdas de calor vem do calor dissipado pelo sistema de refrigeração da bobina indutora. Geralmente essas perdas são dissipadas no meio ambiente externo.

Os trocadores de calor e a bomba de calor se apresentam como técnicas capazes de reparar a energia contida na água de refrigeração do indutor.

A bomba de calor é um processo muito eficiente na área energética porem exige um alto custo para ser instalado. Pelo fato do investimento para trocadores de calor ser mais acessível essa técnica acaba sendo mais utilizada.

Para a entrada de água é necessário que a temperatura do forno de indução não seja inferior a 30° C e no momento de saída a temperatura não pode ultrapassar os 60°C.

A uma temperatura perto de 60°C a água que sai da refrigeração pode reaver a energia do sistema para ser utilizada de diversas formas, podendo ser elevada de 45° a 55°C na saída dos trocadores de calor.

As aplicações mais usuais são:

- Água para processos;
- Água para banhos;
- Aquecimento de ambientes.

Para se investir em um sistema de recuperação de calor da refrigeração de uma instalação de fusão por indução, deve ser feito primeiramente uma análise técnica e econômica.

3.2.3.8 Perdas pelas paredes do forno

No forno de indução também existe perdas térmicas que acontecem através das paredes do forno. Tais perdas dependem do isolamento térmico, da área das paredes externas, e da temperatura das cargas. Melhorar no isolamento térmico seria a melhor maneira para diminuir essas perdas. Porém, para que isto ocorra é necessário levar em consideração que para ter um bom rendimento elétrico a espessura da parede deve ser a mais fina possível.

Ainda tem outro tipo de perda, que acontece pelo orifício da bica e na área em volta da tampa. A potência e temperatura do metal fundido sofrem perdas pela parede do forno em decorrência do tamanho do forno utilizado. Os fornos de maior tamanho apresentam variação de 2% e os fornos pequenos com variação de 10%.

3.2.3.9 Perdas elétricas na estrutura metálica do forno

Todas as linhas de força presentes no interior da bobina se fecham no seu exterior. Estas podem induzir correntes elevadas na estrutura metálica, que forma o corpo do forno. São colocados núcleos magnéticos, para evitar que isto ocorra, estes são contrários os polos externos da bobina, para assim concentrar as linhas de forças, para que estas não atinjam a estrutura metálica, causando o aquecimento e por consequência aumentem as perdas.

É essencial que os núcleos magnéticos sejam constituídos com material de aço e silício apresentando ótimos atributos e organizado em volta da bobina de maneira apropriada.

3.2.3.10 Perdas de energia pela tampa do forno

Um corpo aquecido acaba perdendo energia térmica por meio da irradiação a potência irradiada é diretamente proporcional a área de superfície do corpo, a sua emissividade e a quarta potência de sua temperatura. Para alguns corpos, quanto maior for a área de sua superfície radiante e quanto mais elevado for a sua temperatura, maior será sua potência irradiada.

Visando a elevada temperatura que a carga metálica é submetida no processo de fusão em um forno de indução, a superfície da carga pode imitar grandes quantidade de energia se a tampa do forno estiver aberta. E se a carga estiver em estado líquido as perdas por irradiação acabam sendo maiores e aumentaram ainda mais se a temperatura da carga se elevar.

Quando a tampa do forno de indução está aberta as perdas por irradiação podem alcançar valores superiores a 25%. Em fornos menores essas perdas podem ser ainda maiores, por conta de suas características construtivas, pois a relação da área da superfície da carga metálica exposta por tampa aberta, em relação à capacidade do forno cresce com a redução da capacidade do forno. Isso acaba sendo agravado por cota de descuidos operacionais em fornos pequenos. Isso é tão comum que as pequenas fundições, geralmente pedem cotação para forno com tampa e forno sem tampa na hora de procurar um fabricante.

Um forno de indução. No processo de fusão tem sua tampa removida por diversas razões, desde o carregamento da carga metálica até a colheita e amostra do metal líquido, etc. Várias vezes a tampa continua aberta por causa de sobre carregamento e, por descuidos operacionais.

Essas aberturas na tampa por longos períodos de tempo, acabam causando perdas de energia por indução, e em alguns casos podem acabar atingindo uma grande porcentagem de energia consumida.

- Redução das perdas por irradiação devido a abertura da tampa

Em um forno que é bem operado, pode haver uma grande redução nessas perdas. Será mostrando algumas formas operacionais de diminuir as perdas por irradiação, causadas pela abertura do forno:

- Carregar o forno de forma mecanizada caso a fundição não tenha meios mecanizados para efetuar o carregamento, o mesmo deve-se ser efetuada da maneira mais rápida possível, e deve se dar uma atenção especial para o rápido cobrimento da superfície líquida do banho;

- Ter um entrosamento perfeito entre os operadores do forno e dos dispositivos mecanizados de transporte, para que assim, a operação de carregamento do forno seja a mais rápida possível;

- Abrir a tampo do forno somente quando for necessário;

- Carregar lingotes por calhas apropriadas sempre que for possível;

- Quando colocar lingotes no forno, deve-se colocar toda a carga próxima do forno para que o carregamento seja o mais rápido e na quantidade certa, e ter a ajuda de uma pessoa sempre que possível para fazer isto;

- Fazer o carregamento do forno somente com o material necessário e suficiente, para assim diminuir a quantidade de carregamentos por corrida e tirar qualquer possibilidade da tampa do forno não fechar por excesso de carga;

- Tirar a amostra do material fundido o mais rápido possível.

Vale lembrar que, as perdas causadas pelas aberturas são as maiores encontradas na operação de um forno de indução e que para fazer um programa de conservação deve prestar bastante atenção na tampa do forno.

3.3 Fogão a Gás

O fogão é um dos eletrodomésticos mais importantes que fazem parte de uma residência responsável principalmente por preparar refeições que necessitam de uma temperatura mais elevada.

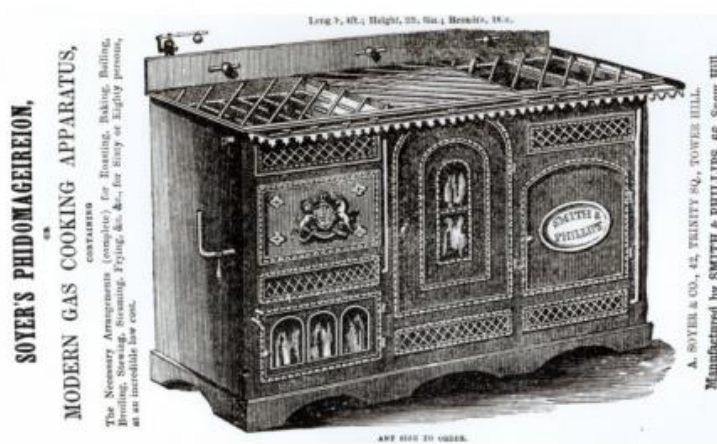
O gás sendo o combustível do primeiro modelo de fogão teve como funcionalidade antes de sua introdução na cozinha começou em 1810 a ser utilizado para a iluminação pública, o fogão a gás convencional teve a sua criação pelas mãos de James Sharp em 1826.

Porém, Alexis Benoist Soyer, um chefe francês que foi responsável por popularizar o seu uso na cozinha da Inglaterra, com o discurso de um aparelho mais econômico e limpo, pois podia ser ligado apenas para o preparo dos alimentos, e em seguida podendo ser desligado além de não produzir fumaça.

Naquela época o uso de gás era mal visto pelas pessoas por terem um certo receio com a segurança, Soyer conseguiu demonstrar a sua eficiência e também a sua segurança, pois permitiam que pessoas comuns pudessem cozinhar de forma mais instrutiva e eficiente por causa de seus fornos com temperaturas ajustáveis, possibilitando que as comidas que antes só eram feitas em restaurantes ou confeitarias pudessem ser confeccionadas dentro de suas casas.

Soyer nomeou o primeiro fogão doméstico a gás de *Phidomagerion* (figura 16), que pode ser traduzido como como cozinha econômica. Ele falava que a ineficiência da cozinha que existiam por causa da incapacidade de os fogões gerarem calor o suficiente para o cozimento mais ideal possível dos alimentos.

Figura 16 – Fogão a gás



Fonte: Google, 2020.

O fogão a gás é o tipo mais comum atualmente podendo ser com o uso de um botijão ou com gás encanado.

A facilidade de se encontrar o fogão a gás se torna umas de suas vantagens, pois para a maioria das famílias elas não possuem condições de adquirirem modelos mais caros e modernos, e também que precisam de um certo trabalho para conseguir encontra-los. Os fogões a gás podem ser mais acessíveis pelo fato de que não precisam de panelas especiais para poderem funcionar e o fato de não usarem energia elétrica é uma despesa a menos para a casa.

O fogão a gás pode ser desvantajoso pela sua dependência do uso de gás que, no entanto, é um material que oferece vários riscos à saúde como por exemplo na ocorrência de vazamentos podendo causar intoxicações e explosões dentro da residência. Por isso a instalação deve ser feita por mãos devidamente qualificadas, sempre seguindo as medidas de segurança principalmente no caso do fogão que usa botijão.

3.3.1 Perdas Energéticas do Fogão a Gás

Os fogões tradicionais possuem uma certa desvantagem no caso, a ocorrência de queima incompleta do combustível (GLP), ocasionado uma pequena emissão de monóxido de carbono (CO) na atmosfera, que além de ser um gás nocivo, contribui para o agravamento do efeito estufa.

Outra questão seria o fluxo de ar na casa, (vento) isso pode causar uma deformação com relação as chamas emitidas pelo fogão a gás culminando assim, em uma perda do seu potencial de queima o que além de ser desfavorável no que tange ao preparo de alimentos também influencia diretamente em sua perda energética.

3.3.2 Matriz Energética

O gás de cozinha é o conhecido GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Essa nomenclatura indica a origem e algumas características do gás de cozinha, ou seja, a sua origem é o petróleo.

É basicamente o refinamento do petróleo por meio de destilação fracionada origina várias frações que possui um vasto uso comercial. Dentre essas frações, há o GLP, que é composto dos gases propano (hidrocarboneto com três átomos de carbono) e butano (hidrocarboneto com quatro átomos de carbono).

Os gases propano e butano são os principais componentes do gás de cozinha, e são inodoros, incolores e altamente inflamáveis. O gás de cozinha possui tal cheiro devido a substâncias de enxofre (compostos sulfurados), essas substâncias que são adicionadas ao gás de cozinha possuem um odor extremamente desagradável e podem ser detectadas prontamente pelo consumidor mesmo em baixas concentrações. Esse alerta diminui o risco de acidentes.

O GLP apresenta grande aplicabilidade como combustível devido as suas características como: excelente qualidade de queima, fácil manuseio baixo impacto ambiental, facilidade de armazenamento entre outros.

O volume do botijão não é 100% preenchido por esse liquido, apenas 85% do total é composto pelos gases propano e butano, no mínimo, 15% são dos vapores desses gases.

O GLP é um combustível limpo. Não é toxico e não contamina os mananciais de água nem o solo, pelo fato de permitir a redução de emissões de CO₂, o GLP deveria ser considerado como um complemento ao gás natural nas políticas ambientais em áreas urbanas de grande concentração.

O poder calorífico de um só botijão de 13 Kg de GLP corresponde a queima de dez arvores. Isso implica que o uso do GLP evita a queima de milhões de arvores no brasil, já que são consumidos cerca de 340 milhões de botijões por ano.

Uma parte mais leve obtida no refinamento do petróleo é o gás natural. Ele também pode ser utilizado em alguns casos como gás de cozinha em residências e indústrias com instalação específica. O gás natural é composto de hidrocarbonetos de 1 a 2 átomos de

carbono, principalmente o metano (CH_4), que pode aparecer em uma abundância de 70% a 99%. Outros componentes são: etano (C_2H_6), de 0,5% a 7%, além de substâncias inorgânicas como o H_2S , CO_2 , N_2 , He etc.

Devido a estar em estado gasoso, o gás natural não precisa ser atomizado para ocorrer a sua queima, isso resulta em uma combustão limpa com menos emissão de poluentes e um melhor rendimento térmico, o que favorece a redução de despesas com manutenção.

O gás natural possui características que incluem uma grande eficiência, versatilidade e limpeza. É altamente valorizado em consequência da progressiva conscientização mundial da relação entre energia e o meio ambiente.

As suas especificações para o consumo são ditadas pela portaria n. 41 de 15 de abril de 1998, emitida pela agência Nacional do petróleo, cujas especificações são:

- Poder calorífico superior (PCS) a 20 °C e 1 atm: 8.800 a 10.200 kcal/m³
- Densidade relativa ao ar a 20 °C: 0,55 a 0,69
- Enxofre total: 80 mg/m³ máximo
- H_2S : 20 mg/m³ máximo
- CO_2 : 2 % em volume máximo
- Inertes: 4 % em volume máximo
- O_2 : 0,5 % em volume máximo
- Ponto de orvalho da água a 1 atm: -45 °C máximo
- Isento de poeira, água condensada, odores objetáveis, gomas, elementos formadores de goma hidrocarbonetos condensáveis, compostos aromáticos, metanol ou outros elementos sólidos ou líquidos.

O gás natural é distribuído pelas concessionárias (gás encanado ou canalizado de rua).

3.4 Atividade Experimental

A partir do referencial e das percepções citadas, em conformidade a continuidade de estudo, a apresentação de uma proposta experimental torna-se cabível. De modo, que a proposta de aprendizagem, exerça a aplicação prática do referencial teórico, assim expandindo o caráter motivacional do trabalho e servindo como suporte da teoria aprendida.

Tendo como etapas principais a descrição dos materiais ou equipamentos usados, como também o andamento do experimento e os resultados alcançados a partir do mesmo. Sendo considerado que os materiais e equipamentos sugeridos limita-se a adaptação da realidade do responsável pelo experimento, baseado em uma concepção construtiva.

O objetivo da experiência foi analisar a eficiência do fogão a gás e elétrico indutivo através de um experimento simples para a realização de um comparativo do consumo energético, eficiência e custo gerado durante a experiência.

Desta maneira, foram utilizadas 2 panelas iguais, uma posta em um fogão por indução e outra em um fogão a gás, contendo um 1 litro de água cada, sendo a água proveniente de um mesmo local, ou seja, elas possuíam uma mesma temperatura em particular, ambas com, aproximadamente, 21 graus em temperatura ambiente ao nível do mar, na pressão atmosférica de 1 atm.

Assim, com o auxílio de dois termômetros foi realizada a medição da temperatura das panelas sob os fogões, até que fosse atingido a temperatura de 100°C.

Para iniciar o experimento foram utilizados dois fogões, sendo um cooktop a gás da marca Brastemp e outro por indução 1800 – Watt 9100MC, ambos colocados em suas potências máximas de aquecimento, ligados no mesmo momento.

Foi observado que ao passar 1 min e 30 segundos o fogão a gás foi capaz de elevar a temperatura da água a 37°C, enquanto que no fogão por indução a água atingiu uma temperatura de 55°C.

Após 3 min e 30 segundos do momento inicial, foi realizado novamente a medição da temperatura da água em que se constatou que o fogão por indução elevou a temperatura a 85°C, enquanto que o fogão a gás apresentou uma temperatura de aproximadamente de 60°C.

Aos 5 min a água da panela sob o fogão de indução atingiu seu ponto de ebulição – 100°C e o a gás, no mesmo tempo, atingiu 74°C. Enquanto que a água da panela do fogão a gás só conseguiu atingir os 100°C aos 8 min e 20 segundos.

A atividade, para sua realização, foi dividida em dois momentos, nos quais foram feitos o mesmo experimento de forma repetida para observar possíveis mudanças, para implicação análise e discussão dos resultados.

Inicialmente, foi realizado o primeiro momento da atividade, esta que foi descrito acima, e posteriormente, ocorreu a segunda etapa, que foi a repetição do experimento. Aos 1 min e 30 segundos a água da panela sob o fogão de indução apresentou uma temperatura de 41°C e a do fogão a gás com 40°C. Por volta dos 3 min e 20 segundos a temperatura da água da panela sob o fogão de indução apresentou mais que o dobro da temperatura avaliada anteriormente, atingindo 83°C, já a água do fogão a gás apresentou 66°C.

A temperatura de 100°C foi atingida primeiramente no recipiente sob o fogão de indução aos 4 min e 30 segundos, enquanto que a temperatura da panela sob o fogão a gás

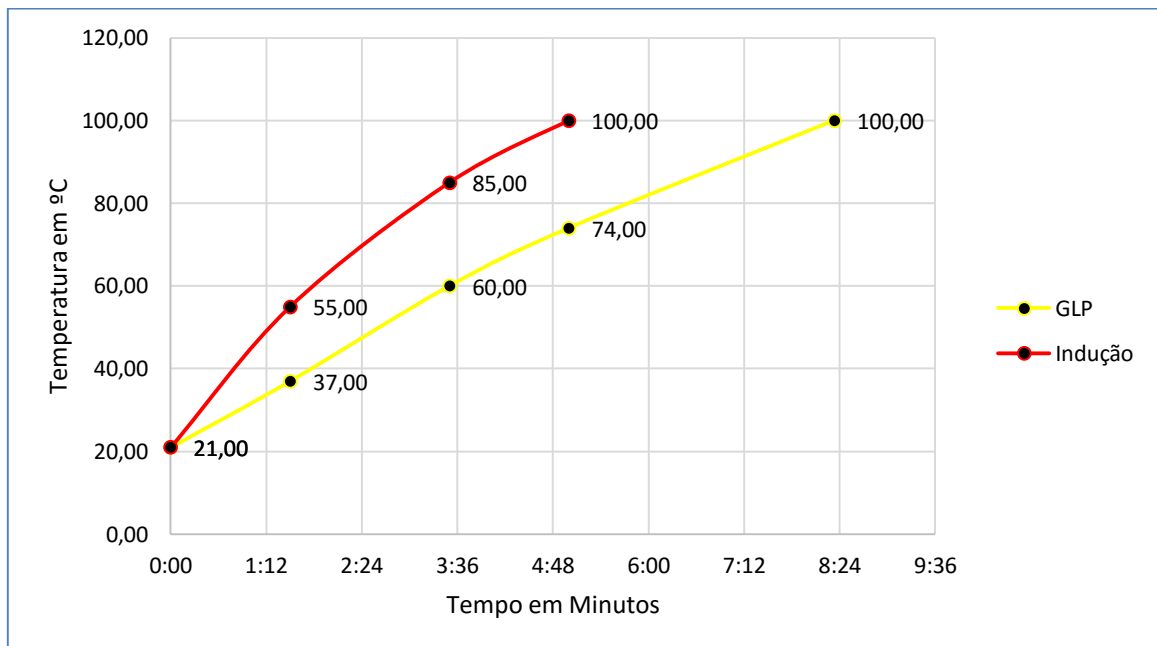
apresentou temperatura de 78°C, atingindo 100°C aos 8 min. Assim levando ao termino do experimento.

3.4.1 Resultados e Discussão

Como resultado e consequência da atividade experimental didática, como extensão do estudo, apresenta-se, em continuidade, gráficos que expressem contemham os valores extraídos de tempo de aquecimento, temperatura, gasto de ambos fogões.

Com finalidade a otimização dos resultados, foram usados nos gráficos os valores informados do experimento e do cálculos que serão demonstrados a partir do mesmo. Dessa forma, o gráfico a seguir (figura 17) permite a demonstração dos valores obtidos pela atividade de forma simplificada.

Figura 17 – Tempo Para Ponto Ebulição: 1º momento do experimento

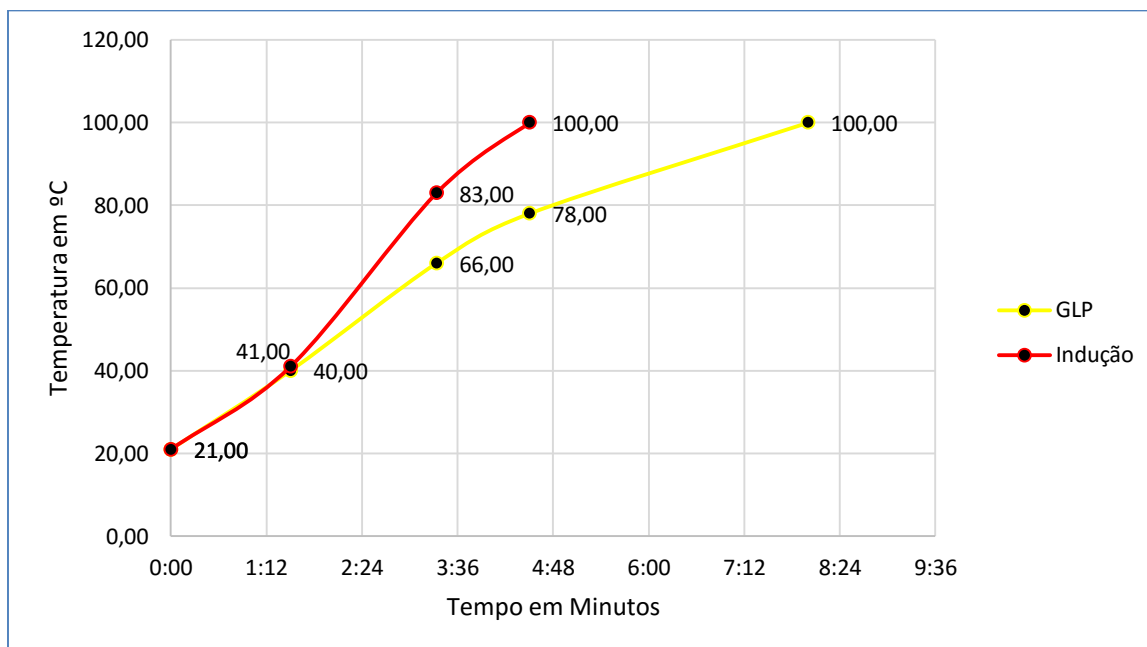


Fonte: Autor.

O gráfico acima representando o primeiro momento do experimento, podemos observar que a diferença entre a capacidade dos fogões de aquecimento em relação ao tempo foi relativamente alta, pois o tempo em que o fogão por indução conseguiu fazer com que a água dentro da panela atingisse os 100°C teve uma vantagem de 3 min e 20 segundos em

relação ao fogão a gás. O que nos indica a superioridade do uso de um sistema por indução em comparação ao fogão a gás convencional.

Figura 18 – Tempo Para Ponto Ebulição: 2º momento do experimento



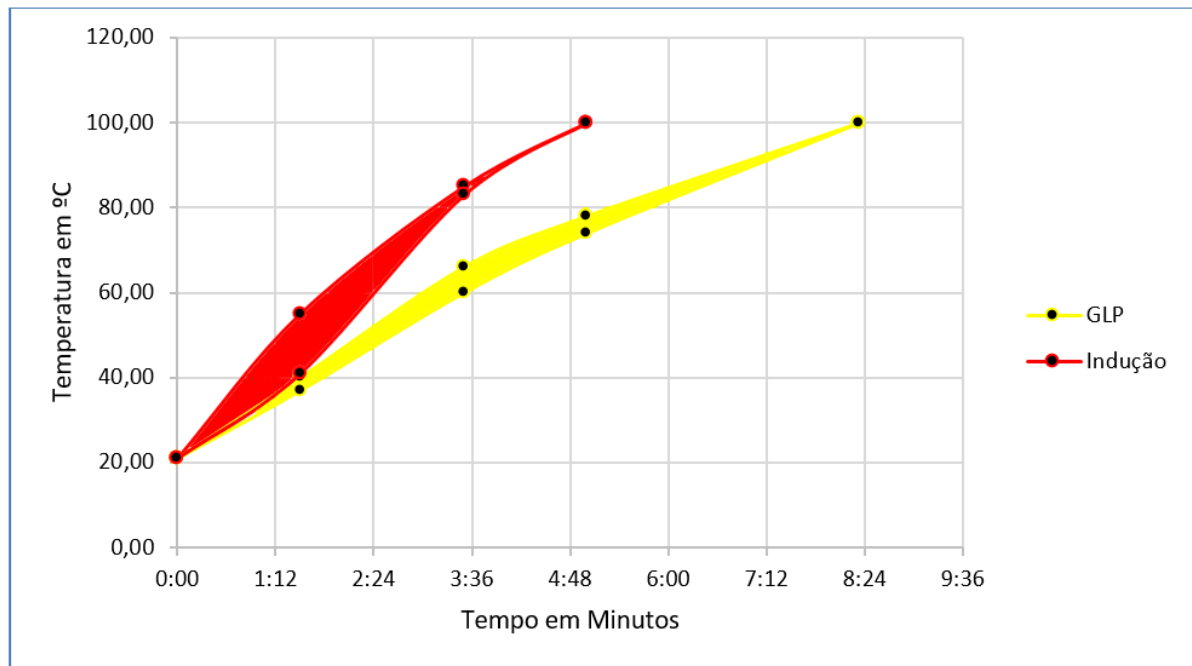
Fonte: Autor.

Para podermos observar de uma forma mais concreta os resultados do experimento em geral, foi feita uma segunda abordagem para ratificar o máximo possível o resultado final.

No gráfico acima representando a segunda parte do experimento principal podemos observar, que existiu uma certa diferença posicional referente ao primeiro gráfico, onde a variação da temperatura da água nos fogões mantém uma igualdade relativa até próximo o tempo 1 min e 30 seg. Mas como podemos observar que, com o passar do tempo o fogão por indução mostra a sua vantagem sobre o fogão a gás novamente.

Como foi definido, a temperatura para podermos fazer a comparação foi os 100 graus celsius (temperatura de ebulição da água ao nível do mar), vemos então que o fogão por indução faz com que a água atinja os 100 graus no instante 4 min e 30 seg, já o fogão a gás conseguiu no tempo de 8 min. Podemos ver que, a diferença entre os dois sistemas foi de 3 min e 30 seg. percebendo assim como no primeiro experimento que o fogão por indução se sobressai ao fogão gás.

Figura 19 – Área dos Dois Momentos do Experimento



Fonte: Autor.

Este terceiro gráfico diz respeito a área dos dois momentos experimento, analisando o que ele nos mostra, podemos perceber a variação que ocorreu entre o primeiro e o segundo experimento sobre a capacidade de aquecimento dos fogões a gás e por indução.

Fazendo a comparação é possível observarmos a diferença entre as funções no gráfico que representam o aumento da temperatura com o passar do tempo, então como o gráfico nos sugere a diferença entre os dois fogões no que se refere a aquecer a água até os 100°C, o fogão por indução precisou de 5 min no primeiro momento do experimento e 4 min e 30 s no segundo, o fogão a gás conseguiu essa marca apenas no tempo de 8 min e 20 s no primeiro e 8 min no segundo momento.

Chegamos então a um resultado mais preciso fazendo uma média entre os tempos conseguidos através dessa experiência.

O fogão por indução teve uma média de 4,75 minutos para aquecer a água aos 100 graus, enquanto que o fogão a gás teve uma média de 8,15 minutos.

Após o término do experimento, buscou-se encontrar o valor de consumo gerado por ambos fogões, em que, inicialmente, pode ser identificado por meio do calor sensível e latente, mas antes, é necessário medir a massa da água, que pode ser obtida a partir das equações (18 a 23) seguintes:

$$\mu = \frac{m}{v} \quad (21)$$

$$\mu = 1 \text{ g/cm}^3 \quad (22)$$

$$\mu = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (23)$$

Onde,

$$1 \text{ m}^3 \Leftrightarrow 1000 \text{ l} \quad (24)$$

Ou seja, a massa da água pode ser definida por:

$$m = v * \mu \quad (25)$$

$$m \cong 1 \text{ kg} \quad (26)$$

Quando encontrado o valor correspondente a massa da água, em seguida, faz-se possível alcançar a quantidade de calor sensível com base na massa (m) do material em que ocorre variação térmica, do calor específico (c) e da variação de temperatura ($\Delta\theta$) que o material sofre. A quantidade de calor (Q) esta relacionada com a variação de temperatura do mesmo. Com isto, e, com as informações obtidas como, $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ e $\theta_f = 100^\circ\text{C}$, $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $m \cong 1 \text{ kg}$. A quantidade de calor pode ser demonstrada pelas equações (24 a 27) seguinte:

$$Q = m * c * \Delta\theta \quad (27)$$

$$Q = 1000 * 1 * (100 - 21) \quad (28)$$

$$Q = 79000 \text{ cal} \quad (29)$$

$$Q = 79 \text{ Kcal} \quad (30)$$

Assim, com a integração dos dados adquiridos e com o poder calorífico do GLP, pode-se obter o valor da massa de GLP consumida no experimento. Segundo Moreira (2015) o calor latente do GLP é de 11.100 Kcal/kg. Sendo assim, a massa gasta de GLP pode ser exposta pelas seguintes equações (28 a 31):

$$Q = m * L \quad (31)$$

Onde (Q) corresponde a quantidade de calor, (m) a massa e (L) o calor de combustão,

$$79 = m * 11.100 \quad (32)$$

$$m = \frac{79}{11.100} \quad (33)$$

Onde a massa é, aproximadamente,

$$m \cong 0,0007 \text{ Kg} \quad (34)$$

Logo, com base no valor comumente encontrado nas empresas distribuidoras de GLP da cidade de Castanhal, que condiz com, comumente, o valor de \$80,00 para um botijão de gás de 13 quilos. Assim, conduzindo ao factível valor, em reais, gerado no experimento, pelo fogão a gás (32 a 34). Se,

$$13 \text{ kg} \Leftrightarrow \text{R\$ } 80,00 \quad (35)$$

Então,

$$0,0007 \text{ kg} \Leftrightarrow \text{R\$ } 0,00431 \quad (36)$$

Ou seja,

$$\text{Custo} \cong \text{R\$ } 0,00431 \quad (37)$$

Em seguida, buscou características para substancializar o consumo elétrico do fogão de indução no experimento. A energia elétrica é o resultado do trabalho que ocorre pela competência da corrente elétrica, essa que, é produzida a partir da diferença de potencial entre dois pontos de um condutor, que assim gera uma corrente elétrica entre seus terminais. Em que, a energia elétrica, pode ser calculada, como mostra a equação (35 a 39).

Sendo assim, com as informações do fogão de indução e das informações extraídas do experimento, torna-se perceptível o encontro da consumo elétrico gerado pelo fogão de indução. Para calcular o valor da energia elétrica usa-se a seguinte equação:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (38)$$

$$E = P * \Delta t \quad (39)$$

$$E = kw * h \quad (40)$$

Onde, a potência do fogão utilizado,

$$1800 \text{ w} \Leftrightarrow 1,8 \text{ kw} \quad (41)$$

E que,

$$5 \text{ min} \cong 0,08\bar{3} \text{ h} \quad (42)$$

Ou seja,

$$E = 1,8 * 0,08\bar{3} \quad (43)$$

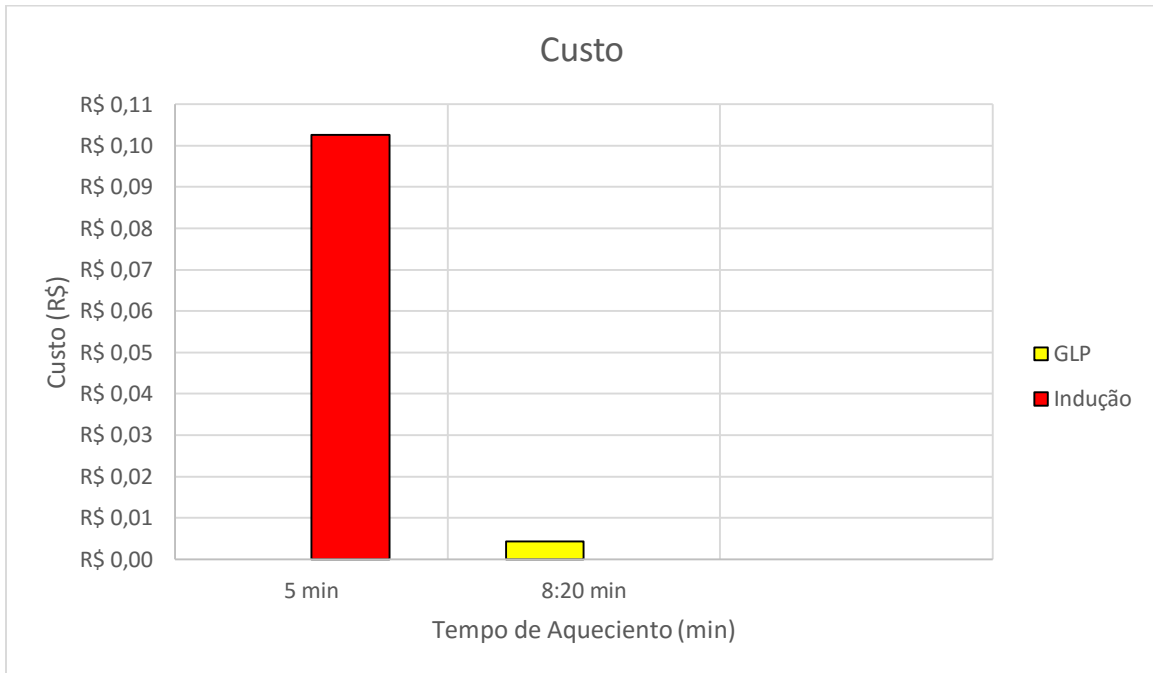
$$E \cong 0,15 \text{ kw} * h \quad (44)$$

Logo, a partir do valor da tarifa disponibilizado pela Rede Celpa (2020), empresa responsável pela distribuição de energia no Pará, que corresponde a R\$ 0,6836 kw/h para residências normais, assim, podendo levar ao factível valor, em reais, gerado no experimento, pelo fogão de indução (Equação 40 e 41).

$$\text{Custo} = 0,15 * 0,6836 \quad (45)$$

$$\text{Custo} \cong \text{R\$ } 0,10254 \quad (46)$$

Identificados as propriedades físicas que integrasse as etapas do experimento ao custo real, foi determinado e apresentado o valor, em reais, de ambos os fogões. Deste modo, para paradigmas possíveis para a comparação dos mesmo, representado no gráfico (Figura 20).

Figura 20 – Custo dos Dois Fogões

Fonte: Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou fazer um estudo sobre as características dos fogões que usam o sistema de indução, foi feito assim, uma rede de informações que passam desde as primeiras ideias que deram origem a descoberta das correntes induzidas, até os modelos de fogões de indução mais avançados.

Diante dos muitos dados coletados que rodeiam esse tema, foi proposto justamente avaliar a relação que o fogão de indução tem com os fogões convencionais dentro do cotidiano.

O experimento elaborado, teve como finalidade comparar as vantagens tanto do modelo de indução quanto os que usam o GLP (gás liquefeito de petróleo), buscando avaliar suas características como: o tempo que necessitam para aquecer um litro de água até os seus 100°C, matrizes energéticas e os seus históricos de desenvolvimento.

Em um experimento para observar qual fogão aquece a água mais rapidamente, o fogão de indução aqueceu um litro de água em cinco minutos, enquanto o fogão a gás levou oito minutos e vinte segundos para fazer o mesmo, mostrando que quando ambos estão em potência máximo, o fogão de indução é mais rápido que o fogão tradicional, pois este não desperdiça energia. Usando esses dados podemos levantar algumas conclusões sobre as vantagens e desvantagens desses modelos de fogões.

O fogão por indução, levando em consideração o tempo necessário para o preparo de alimentos, se mostrou bem mais prático em relação ao modelo a gás. Então, uma das características importantes do modelo de indução é exatamente a versatilidade de tempo que pode ser otimizado usando esse tipo de tecnologia. Sendo assim, é recomendado para quem necessita de um melhor aproveitamento de tempo, para aqueles que precisam concluir algumas funções mais rapidamente.

Outra informação bastante relevante para este estudo é a relação dos preços para adquirir os fogões tanto o a gás, como também o de indução, foi notado que a diferença entre os modelos é bastante considerável, sendo o fogão a gás mais acessível dentro de um contexto onde a questão financeira tem uma influência significativa na sociedade, culminando em uma escolha mais acentuada nos fogões que usam o GLP. Com isso, o modelo a gás é geralmente usado por usuários que não priorizam um investimento em otimização de tempo, mas sim, em fazer uma economia financeira.

Avaliando as formas de funcionamento dos fogões, vimos que em uma análise de desperdício energético com os mesmos, os fogões de indução têm vantagem, pois o desperdício de energia é mais acentuado no modelo a gás.

Uma família que possa não ter uma condição financeira acessível, o fogão de indução talvez não seja o mais viável, assim levando a família em optar pelo fogão a gás, mesmo sendo menos prático. Mas em situações que os usuários possuem elasticidade nas suas opções de escolha, um modelo a indução, mesmo que seu preço de compra seja superior ao a gás, ele torna-se viável, pois possibilita maior conforto para as pessoas que buscam preparar suas refeições de uma forma mais rápida e prática.

Com as informações vindas do experimento e do estudo bibliográfico, percebemos justamente que a relação entre as características do fogão indução e o a gás, os tornam utilizáveis e podem ser uma boa aquisição para uma residência, mas sua aquisição é relativa ao contexto em que as famílias estão inseridas, tais indivíduos podem direcionar qual modelo é o mais indicado para cada situação.

REFERÊNCIAS

BAUER NETO, F. **Eficiência energética no aquecimento doméstico de água para banho: Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de elemento resistivo e indução eletromagnética.** 2013.

CALLEBAUT, Jean, **Guia de qualidade e utilização de energia** - Seção 7: Eficiência energética, Instituto Europeu do Cobre, 2007.

CELPA. **Cobrança de Tarifas.** Disponível em <<http://www.celpe.com.br/residencial/informacoes/cobranca-de-tarifas>>, acessado em 26 de janeiro de 2020.

CEQUINEL FILHO, S. L. **COOKTOP DE INDUÇÃO: ANÁLISE QUANTO AO CONHECIMENTO E UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.** Revista Técnico-Científica, v. 1, n. 3, 2015.

GANDHEWAR, V. R.; BANSOD, S. V.; BORADE, A. B. **Induction Furnace – A Review.** *International Journal of Engineering and Technology, India.* 2011. Disponível em: <<http://www.enggjournals.com/ijet/docs/IJET11-03-04-06.pdf>>. Acesso em 01 fevereiro 2013.

GIODA, A. **Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global.** Química Nova, v. 41, n. 8, p. 839-848, 2018.

GONÇALVES, J. O. & MIOTTO, R. F. **Cozinha ecológica: benefícios na utilização de equipamentos alternativos.** Ciências do Ambiente, 2013. Disponível em <http://www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/sites/www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/files/COZINHA%20ECOL%20GICA%20EQUIPAMENTOS%20ALTERNATIVO%20S.PDF>, acessado em 28 de janeiro de 2020.

GOOGLE. **Bismuto.** Disponível em <https://www.google.com/search?q=bismuto&rlz=1C1SQJL_pt-BRBR845BR845&sxsrf=ACYBGNRt_MwjnPf5EapRvXJInciIGK9d3A:1581279084872&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiS1pPRo8XnAhXJLLkGHWw2DEIQ_AUoAXoECBMQAw&cshid=1581279121503820&biw=1366&bih=625#imgrc=o9Pur3BwSqF2rM>, acessado em 05 de janeiro de 2020.

(______). **Campo Magnético.** Disponível em <https://www.google.com/search?q=campo+magnetico&hl=pt_BR&sxsrf=ACYBGNSJkjwtv2MrgTSRW_9GquOrqbY5rQ:1581279043707&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi6j8O9o8XnAhX0HbkGHeb5A8gQ_AUoAXoECBIQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=ZJX9ajdi7S5DM>, acessado em 05 de janeiro de 2020.

(______). **Cooktop a Gás.** Disponível em <<https://www.google.com/search?q=https://www.centergarbin.com.br/cooktop-a-gas-smeg-centazzo-semifilo-5-bocas-gusa-inox-72cm-170/p&hl=pt->

BR&sxsrf=ACYBGNSAM7py5FGGWHzQoL8FvyXj4KXiXg:1581282003681&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj6zvnArsXnAhWJJbkGHVeSBqcQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=FPZPOwaimajFxm>, acessado em 05 de janeiro de 2020.

(_____). **Cooktop a Indução.** Disponível em <[\(_____\). **Cooktop Elétrico.** Disponível em <\[\\(_____\\). **Ferro Mineral.** Disponível em <\\[\\\(_____\\\). **Fogão a Gás.** Disponível em <\\\[GRAÇA, C. **Eletromagnetismo.** Rio Grande do Sul, 2012.\\\]\\\(https://www.google.com/search?q=http://www.asarquitetasonline.com.br/a-historia-do-fogao/&hl=pt_BR&sxsrf=ACYBGNTLYbZk1kcJtYXz6vrA1Wx21iLPdg:1581283465636&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiMp4j6s8XnAhWUDrkGHedHBRAQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=o33luUh5mkyV8M>, acessado em 05 de janeiro de 2020.</p>
</div>
<div data-bbox=\\\)\\]\\(https://www.google.com/search?q=ferro+mineral&rlz=1C1SQJL_pt-BRBR845BR845&sxsrf=ACYBGNTLYbZk1kcJtYXz6vrA1Wx21iLPdg:1581278956372&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjxxvCTo8XnAhUyAtQKHT_mC5QQ_AUoAnoECBIQBA&biw=1366&bih=625#imgrc=2RpL5sKHfkwwNM>, acessado em 05 de janeiro de 2020.</p>
</div>
<div data-bbox=\\)\]\(https://www.google.com/search?q=+https://www.shibatacasa.com.br/eletroportateis/fornos-cooktops-e-coifas/cooktop-eletrico-em-aco-inox-30-cm-tramontina.html&rlz=1C1SQJL_pt-BRBR845BR845&sxsrf=ACYBGNSBrKTnbuiFwMsdH33cV7MfHT_g0g:1581282131815&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiQnob-rsXnAhXfE7kGHYBMDUkQ_AUoAnoECAoQBA&biw=1366&bih=625#imgrc=n-w6M3fVitFZ2M>, acessado em 05 de janeiro de 2020.</p>
</div>
<div data-bbox=\)](https://www.google.com/search?q=cooktop+indu%C3%A7%C3%A3o+imagens+&tbm=isch&ved=2ahUKEwj_wa70r8XnAhU7BLkGHaDIAUAQ2-cCegQIABAA&oq=cooktop+indu%C3%A7%C3%A3o+imagens+&gs_l=img.3...3708.7297..8689...0.0..0.366.2126.0j5j2j2.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i8i30j0i24.GV1FqwtkRbc&ei=S3RAXr_wOLuI5OUPoJGHgAQ&bih=625&biw=1366&rlz=1C1SQJL_pt-BRBR845BR845#imgrc=tE-xaf6swN46VM>, acessado em 05 de janeiro de 2020.</p>
</div>
<div data-bbox=)

HALLIDAY et al. **Física 3.** 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

(_____). **Fundamentos de física.** 9ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

JUNIOR, M. T. C. **CONSTRUÇÃO DE UM FORNO CADINHO FIXO DE BAIXO CUSTO PARA FUNDIR METAIS NÃO FERROSOS.** Cruz das Almas, 2016.

LEME, R. M. **Características dos fornos a indução com conversores IGBTs.** Itatiba, 2011.
MOREIRA, A. M. **SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO.** Vitória – Es, 2015.

NETO, A. K.; COSTA, L.; RAMOS, M. F.; ANGELINI, R. **Fornos elétricos a indução.** Rio de Janeiro, 1997.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KENNETH, S. K. **Física 3**. 5ª edição. São Paulo: LTC Editora, 2005.

ROSADO, L.F.S.G. **Non-destructive testing Based on currents**. (Master`s Degree). Eletronics Engineering, unversidade Técnica de Lisboa. 2009.

SANTOS, P. R. F. **O sistema Internacional de Unidades-SI**. Rio de Janeiro, 2014.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. J. W. **PRINCÍPIOS DE FÍSICA-LETROMAGNETISMO**. 3ª edição. São Paulo: CIP, 2004.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. **Física III – Eletromagnetismo**. Tradução de Sonia Midori Yamamoto. 12. Ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009. ISBN ISDN 978-5-88639-34-8.