

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

SANDERSON ROBERTO FERREIRA VENTURA

SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA AUTOCLAVES

**CARATINGA
2018**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

SANDERSON ROBERTO FERREIRA VENTURA

SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA AUTOCLAVES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel Engenharia Elétrica.

Área de Concentração Indução eletromagnética.

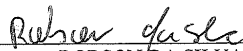
Orientador: Prof. MSc Robson da Silva

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA AUTOCLAVES, elaborado pelo(s) aluno(s) SANDERSON ROBERTO FERREIRA VENTURA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

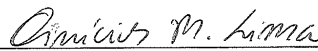
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 10/12/2018



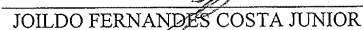
ROBSON DA SILVA

Prof. Orientador



VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES

Prof. Avaliador 1



JOILDO FERNANDES COSTA JUNIOR

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Meu principal agradecimento é a Deus, por abençoar cada momento desta jornada e me fortalecer nos momentos de desânimos. Se eu venci, foi porque o Senhor esteve ao meu lado, sendo meu refúgio e fortaleza.

À minha amada esposa Natália, por sempre acreditar em mim e me mostrar o qual capaz eu sou. Seus incentivos são a minha inspiração a buscar novos caminhos e me arriscar a conquistar meus sonhos.

Aos meus pais Maria Inês e Sebastião, por se fazerem meus alicerces e por sempre acreditarem na minha potencialidade.

Aos meus irmãos pelos momentos de amor e carinho que me ajudavam a descontraír e recuperar o fôlego para continuar a caminhada.

Aos colegas de trabalho, que compartilham comigo a aquisição de novos conhecimentos.

Agradeço ao meu orientador, Robson da Silva, pela dedicação, paciência, esforço e sabedoria que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

E enfim, agradeço também aos meus professores pelas oportunidades e conhecimento, pois contribuíram de forma significativa na minha formação superior e por me incentivarem a buscar cada vez mais uma formação de qualidade.

“O próprio Senhor irá à sua frente e estará com você; ele nunca o deixará, nunca o abandonará. Não tenha medo! Não se desanime!”

(DEUTERONÔMIO 31:8)

LISTA DE SIGLAS

FEM	Força eletromotriz
MKP	Capacitor de Polipropileno Metalizado
ZVS	Comutação de Tensão Zero
LC	Indutor/Capacitor

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resistência.....	20
Figura 2 - Lei de Faraday	24
Figura 3 - Curva de Histerese	25
Figura 4 - Campo magnético, correntes induzidas e forças que atuam	28
Figura 5 - Bobina Plana tipo "Panqueca"	29
Figura 6 - Multímetro Digital	30
Figura 7 - Watímetro.....	31
Figura 8 - Termômetro de Mercúrio	31
Figura 9 - Termômetro Digital	32
Figura 10 - Fonte de alimentação	32
Figura 11 - Osciloscópio Digital.....	33
Figura 12 - Cristófoli Vitale 12	35
Figura 13 - Wattímetro conexão das garras.....	36
Figura 14 - Alicates Watímetro.....	36
Figura 15 - Manômetro de Pressão.....	37
Figura 16 - Painel de Pressão.....	38
Figura 17 - Bobina panqueca	38
Figura 18 - Análise da Bobina	39
Figura 19 - Circuito Simplificado	42
Figura 20 - Circuito Elétrico do protótipo.....	43
Figura 21 - Circuito Elétrico do protótipo.....	44
Figura 22 - Bobina no interior da placa.....	45
Figura 23 – Introdução do material ferromagnético	45
Figura 24 - Recipiente para alojar materiais a serem esterilizados.....	46
Figura 25 - Placa envolta por um calímetro	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados coletados da autoclave	49
Tabela 2 - Dados de eficiência da autoclave.....	53
Tabela 3 - Dados coletados do protótipo.....	54
Tabela 4 – Dados de eficiência do protótipo	56
Tabela 5 – Rendimento e Consumo de Energia	57

LISTA DE SIMBÓLOS

A	Ampere
AC	Corrente Alternada
C	Calor específico
Cal	Caloria
Cm	Centímetros
d	Densidade
DC	Corrente Contínua
E	Energia
H	Henry
Kgf	Quilograma-força
KW	Kilowatt
KWh	Quilowatt-hora
LC	Indutor/Capacitor
Ls	Indutância
M	Massa,
mA	Miliampère
MHz	Megahertz
mm	Milímetros
M Ohm	<i>Mega ohm</i>
°C	Grau Celsius
P	Potência
Ps	Potência de saída
Q	Quantidade de calor
S	Segundos
T	tempo
uF	Farad's
v	Volume
V	Volts
Wb	Weber
η	Eficiência
B	Campo magnético,

w	Aquecimento por efeito Joule.
Φ	Fluxo Magnético
Σ	Somatório
Q	Potencia dissipada
B_0	Campo Magnético inicial
Δt	Variação de Tempo

VENTURA, S. R. F. **SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA AUTOCLAVES**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, 2018.

RESUMO

Processos de conversão de energia elétrica em energia térmica são extremamente importantes em processos e procedimentos no século XXI e, após 1871, vem sendo amplamente utilizado no processo de esterilização. Porém, a maioria das fontes de calor emprega resistência na conversão de energia. Neste trabalho foi construído e testado um sistema que converte energia elétrica em energia térmica utilizando o processo de indução. Para realizar o experimento avaliou-se e classificaram-se os padrões de funcionamento de uma autoclave que utiliza resistência para o aquecimento. Em seguida foi construído um sistema com as mesmas características da autoclave, contudo, que utiliza o processo indução para geração de calor.

Palavras chave: Indução magnética. Sistema de Aquecimento Eletromagnéticos. Esterilização Autoclave.

VENTURA, S. R. F. **SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA AUTOCLAVES**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades DOCTUM de Caratinga, 2018.

ABSTRACT

Processes for converting electrical energy into thermal energy are extremely important in processes and procedures in the 21st century and, after 1871, it has been widely used in the sterilization process. However, most heat sources employ resistance in energy conversion. In this work, a system was developed and tested that converts electrical energy into thermal energy using the induction process. To perform the experiment, the working standards of an autoclave using heating resistance were evaluated and classified. Next, a system with the same characteristics of the autoclave was constructed, however, which uses the induction process for heat generation.

Keywords: Magnetic induction. Electromagnetic Heating System. Autoclave Sterilization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Esterilização	16
2.1.1 Aspectos históricos da esterilização	16
2.1.2 Método de esterilização	17
2.1.3 Tipos de métodos existentes no processo de esterilização	18
2.2 Autoclave - Esterilização pelo vapor saturado sob pressão	18
2.2.1 Artigos que podem ser esterilizados pela Autoclave.....	20
2.3 Aquecimento por Indução	21
2.3.1 Características do aquecimento por indução.....	22
2.3.2 Indução eletromagnética.....	23
2.3.3 Correntes de Foucault	24
2.3.4 Histerese Magnética	25
2.3.5 Permeabilidade Magnética	26
2.3.6 Tipos de materiais magnéticos	26
2.3.7 Comportamento do campo magnético.....	27
2.3.8 Indutância de espiral plana de camada simples.....	28
2.4 Ferramentas para formulação do protótipo e medições	30
2.4.1 Plataforma virtual EasyEDA.....	30
2.4.2 Materiais utilizados para a avaliação dos sistemas de aquecimento	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1 Análise do sistema autoclave aquecido por resistência	34
3.1.1 Levantamentos técnicos disponibilizados pelo fabricante da autoclave	34
3.1.2 Coleta de dados técnicos de funcionamento da autoclave	34
3.2 Implantação do aquecedor eletromagnético	37
3.2.1 Elaboração do circuito de aquecimento.	37

3.2.2 Simulação do circuito na plataforma virtual EasyEDA	41
3.2.3 Construção do sistema aquecedor por indução	42
3.2.4 Processo de implementação do recipiente no protótipo	44
3.2.5 Coleta de dados técnicos de funcionamento do protótipo	46
4 APRESENTAÇÃO E DICUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1 Análise de funcionamento da autoclave com aquecimento por resistência	49
4.2 Análises de funcionamento da autoclave com aquecimento por indução.	53
4.3 Análises do rendimento.....	56
5 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A descoberta de microrganismos foi uma das maiores realizadas na área da medicina no século XIX. O advento da invenção do microscópio tornou possível a observação de bactérias e comprovou de forma definitiva que os processos de putrefação e surgimento de larvas em alimentos eram decorrentes da presença de organismo que não eram capazes de ser observados a olho nu, como previa o pesquisador e cientista Louis Pasteur.

Com o fim da teoria de geração espontânea de vida, iniciou-se um novo capítulo nos estudos sobre surgimento de doenças infecciosas. Foi Louis Pasteur um dos primeiros pesquisadores a propor o processo de esterilização como forma de abrandar o surgimento de infecções após processos cirúrgicos, quando em 1871, obrigou os médicos dos hospitais militares a ferver o instrumental e as bandagens que seriam utilizados nos procedimentos médicos (GORDON, 1993).

Hoje se sabe que os maiores empecilhos encontrados no processo de recuperação após intervenções cirúrgica são atribuídos a infecções causadas por vírus ou bactérias e que esse importuno pode ser abrandado se certos procedimentos pré-operatórios forem aplicados. Dentre estes a utilização de instrumentos cirúrgicos livres de agentes contaminadores é extremamente necessário. Logo passou a ser de uso obrigatório o uso de equipamentos que garantam condições de proporcionar a eliminação de vírus e bactérias em instrumentos cirúrgicos.

Atualmente, a autoclave é o mecanismo mais usado para garantir os processos de esterilização. Esse mecanismo utiliza resistência como mecanismo de aquecimento para converter energia elétrica em energia térmica, haja vista que ciclo de esterilização pode demorar de 45 minutos a 1,5 horas. Este trabalho teve como objetivo principal promover a substituição do sistema de aquecimento tradicional por outro que utilize aquecimento por indução eletromagnética, no intuito de verificar as variações no parâmetro de operação.

Para facilitar o procedimento de análise e implantação do sistema este trabalho foi subdividido em cinco capítulos apresentado na sequência: introdução, referencial teórico, metodologia, análise e discussão dos resultados e, por fim, conclusão.

Assim, para servir ao propósito apresentado, o segundo capítulo desse trabalho trará uma breve revisão bibliográfica, introduzindo a terminologia, conceitos históricos e métodos de esterilização existente. Bem como apresentará a forma de funcionamento da autoclave.

Ainda no segundo capítulo serão abordados os princípios de funcionamento dos sistemas de indução por aquecimento e as leis referentes ao eletromagnetismo, necessárias para o embasamento teórico do trabalho.

O terceiro capítulo trará a metodologia a ser seguida, apresentando a proposta e os procedimentos que foram adotados para o desenvolvimento da pesquisa. Já no quarto capítulo serão discutidos os resultados referentes ao experimento. E, por fim, no último capítulo serão apresentadas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Esterilização

2.1.1 Aspectos históricos da esterilização

O homem vem dispendendo há muito tempo certa preocupação em tornar os materiais isentos de microrganismos, haja vista a necessidade de se proteger de fontes de infecção. As primeiras práticas de controle de doenças infectocontagiosas só surgiram a partir do século XVIII, com a transformação da ideologia de hospital, onde a prática assistencialista aos pobres deu lugar a um local de cura e de medicalização (LACERDA; EGRY, 1997).

Louis Pasteur, por seus inúmeros experimentos, foi um dos mais importantes colaboradores no estudo e pesquisa sobre esterilização. Segundo GORDON (1993), Pasteur costumava ferver seus líquidos a uma temperatura de 100°C. E quando Bastiam comprovou, em 1876, que existiam no meio ambiente microrganismos capazes de resistir a temperaturas de 100°C, acabou por estimular Pasteur a elevar a temperatura de seus líquidos para 108 a 120°C, bem como a desenvolver métodos mais precisos como dispositivos e equipamentos.

Charles Chamberland, discípulo de Pasteur, foi responsável por desenvolver o primeiro esterilizador à pressão de vapor, ou autoclave, que alcançava temperaturas iguais ou superiores a 120°C (GORDON, 1993). Já Robert Koch expandindo tais ideias inventou um meio bactericida que eliminava bactérias por meio de um jato de vapor de água fervente. Esta ideia inspirou o método de esterilização por vapor de água (JORGE, 2002).

O jovem cirurgião inglês, Joseph Lister, também embasado em Pasteur, contribuiu muito na área hospitalar, ao empregar técnicas para impedir o acesso de microrganismos aos ferimentos cirúrgicos, que visavam evitar infecção microbiana nos tecidos após cirurgia. Assim, por meio de esterilização meticulosa dos instrumentos cirúrgicos, usos de bandagens com anti-sépticos (iodo) e realizando a cirurgia sob vaporização de desinfetante para prevenir a infecção pelo ar, ele conseguiu diminuir a incidência da sepsia cirúrgica (JORGE, 2002).

O ano de 1933 é considerado o início da moderna esterilização científica, uma vez que nesta época a empresa americana Sterilizer lançou o primeiro esterilizador por pressão de vapor. De acordo com Gordon (1993), a admissão do controle de temperatura, possibilitou o processo de esterilização sair do campo de quase adivinhações e para dar lugar a trabalhos com base científica.

E, assim, multiplicaram-se os procedimentos de controle sobre o meio, a fim de possibilitar o sucesso das intervenções crescentemente invasivas e cada vez mais especializadas sobre o corpo. Uma variedade de técnicas de assepsia¹, antisepsia², desinfecção³ e esterilização foram sendo desenvolvidas na área da saúde, a fim de combater a ação nociva dos microrganismos. Nos dias atuais as práticas de esterilização se estenderam para os mais diversos locais, tais como consultórios odontológicos, médicos, clínicas (inclusive de estética e de podologia), salões de beleza e estúdios de tatuagem.

2.1.2 Método de esterilização

Todos os artigos odontomédico-hospitalares devem estar em condições seguras, isto é, ser reprocessados antes de um próximo uso, na finalidade de torná-lo livres de microrganismos viáveis, minimizando, assim, o risco de condições iatrogênicas infecciosas. Este processo é denominado de esterilização.

A esterilização é o ato ou processo químico e físico que destrói ou elimina todas as formas de vida, especialmente microorganismos, de um dado material (LUQUETA, 2009; JORGE, 2002). Salienta-se que esse processo segue as seguintes etapas: limpeza, desinfecção, preparo, embalagem, esterilização automática e estocagem. Além de testes biológicos e químicos e análise residual do agente esterilizado (TEIXEIRA, 2011).

Segundo Teixeira (2011), a partir dos avanços no campo da esterilização pode-se ter conhecimento de que os microrganismos submetidos à maioria dos processos de esterilização não são destruídos de uma vez, mas sim de uma forma

¹ Assepsia são as medidas aplicadas com fins de impedir a penetração de microorganismos num ambiente que ainda não foi contaminado (MORIYA; MÓDENA, 2008).

² Antissepsia, por sua vez, são as medidas propostas para inibir o crescimento ou remoção de microorganismos em um determinado ambiente, podendo ou ser destruídos por completo (MORIYA; MÓDENA, 2008).

³ Desinfecção é o processo que elimina todos os microorganismos ou objetos inanimados patológicos, com exceção dos endosporos bacterianos (MORIYA; MÓDENA, 2008).

progressiva. Por tal condição que a limpeza dos artigos torna-se fundamental, a fim de garantir maior a segurança do processamento ao qual o artigo é submetido.

2.1.3 Tipos de métodos existentes no processo de esterilização

Existem várias formas de realizar os processos descontaminação/eliminação microbiana, porém, há recomendações que necessitam ser seguidas. Assim, ao escolher qual método utilizar, deve-se levar em consideração as características do agente esterilizante e a natureza do material a ser processado, bem como risco de contaminação. Ressalta-se que a limpeza prévia deve ser rigorosa para a diminuição da carga microbiana, posto que a mesma contribui para se atingir a eficácia do processo.

Os métodos de esterilização podem ser classificados em: processos químicos e processos físicos. Entre os métodos de esterilização de materiais por meios químicos estão: Formaldeído, Glutaraldeído, Óxido de etileno, Peróxido de hidrogênio, Ácido peracético e Plasma de peróxido de hidrogênio (TEIXEIRA, 2011; ASCARI et al. 2012; LUQUETA, 2005). Já os métodos físicos de esterilização existentes, podem-se citar: Autoclave (Vapor saturado sob pressão), Calor seco, Radiação ionizante e Radiação não ionizante.

Embora por muito tempo a esterilização por calor seco utilizando a estufa foi bastante usada, a Anvisa proibiu o seu uso nos produtos para saúde, por meio da resolução RDC nº 15 de 2012 (BRASIL, 2012). Ao levar em consideração tal fator, que o presente trabalho utilizou o método autoclave, que adota a resistência como fonte de calor, como referência para realização os testes comparativos de eficiência, em relação ao aquecimento por indução. Neste sentido, faz-se relevante neste momento apresentar a esterilização por autoclave.

2.2 Autoclave - Esterilização pelo vapor saturado sob pressão

O processo de esterilização pelo vapor saturado sob pressão é realizado em autoclaves, tendo como princípio a destruição dos microrganismos pela ação combinada de tempo, temperatura, pressão e umidade. Os tipos de autoclave são gravitacional e pré-vácuo (TIPPLE et al., 2011).

A autoclave é um aparelho muito utilizado para a esterilização de materiais em laboratórios de pesquisas, clínicas de saúde e estética, além de hospitais. Esse equipamento constitui-se de uma caixa metálica de paredes duplas, demarcando duas câmaras, sendo que uma mais externa e uma interna. A externa é câmara de vapor, onde geralmente fica a resistência que aquecerá a água, enquanto a interna, é a câmara de esterilização ou de pressão de vapor. O acesso de vapor na câmara de esterilização se faz por uma abertura posterior e superior, e a saída desse vapor ocorre por uma abertura anterior e inferior. Isso é possível devido o ar ser mais pesado que o vapor (MORIYA; MÓDENA, 2008).

De acordo com o artigo 48, da resolução SS-15 de 1999 (BRASIL, 1999), o processo de esterilização obtido com o uso da autoclave deve prezar pelas seguintes condições:

- a) exposição por 30 (trinta) minutos a uma temperatura de 121°C, em autoclaves convencionais (uma atmosfera de pressão);
- b) exposição por 15 (quinze) minutos a uma temperatura de 132°C, em autoclaves convencionais (uma atmosfera de pressão);
- c) exposição por 04 (quatro) minutos a uma temperatura de 132°C, em autoclaves de alto vácuo.

Além disso, na autoclave o artigo necessita estar extremamente limpo e alocado em pacotes, os quais devem ser confeccionados com material que permita a passagem do vapor. Precisa-se também atentar para algumas precauções, como: Não utilizar recipientes fechados; danificação de itens confeccionados de plásticos e borracha e; corrosão de itens não-inoxidáveis (JORGE, 2002).

Assumpção (1973) já destacava entre as vantagens do método Autoclave: Aquecimento rápido e boa penetração nos tecidos; Destruição das bactérias mais resistentes em breve intervalo de tempo; Fácil avaliação do desgaste do material; Não há resíduo tóxico durante o Processo de esterilização e; Agente esterilizante mais econômico.

Nieheus (2004) afirma que a autoclave funciona basicamente da seguinte forma: Para dar início à etapa do pré-aquecimento o operador deve dispor a chave de seleção de temperatura na posição máxima, o que leva ao aquecimento da água dentro câmara devido à atuação de uma resistência (Figura 1). Ressalta-se que há necessidade de verificar se há água no reservatório da resistência. O controle da

temperatura e pressão na câmara é realizado de forma manual pelo operador, por meio de níveis indicados por um manômetro.

Figura 1 - Resistência



Fonte 1 – Nieheus (2004)

No momento em que a temperatura e pressão alcançam os níveis necessários para processo de esterilização, o operador deve posicionar a chave de seleção de temperatura para o nível mínimo fazendo com que duas resistências fiquem ligadas em série no circuito, de forma a manter as condições de temperatura e pressão durante o tempo necessário ao ciclo de esterilização. A duração desse ciclo é estipulada e controlada pelo operador dependendo do tipo de material a ser esterilizado.

Ao término do ciclo de esterilização o operador desliga o equipamento e, então, abre a válvula de segurança, para que haja saída do vapor e do registro, para a passagem da água presente no interior da câmara. Após essa etapa, o material pode ser retirado da autoclave e encaminhado para o processo de secagem (NIEHEUS, 2004).

2.2.1 Artigos que podem ser esterilizados pela Autoclave

Spaulding (1968, apud Freiberger 2006) faz uso da designação “artigos” para se referir aos instrumentais, materiais/objetos de natureza diversa, utensílios e

acessórios de equipamentos, que trazem a necessidade de métodos de desinfecção e esterilização ao serem utilizados.

Os artigos são divididos em três categorias distintas, de acordo com o grau de risco de infecção, classificando-os como: críticos, semicríticos e não críticos.

- a) Críticos – são chamados dessa forma devido ao alto risco de aquisição de infecção. São utilizados nos procedimentos invasivos com penetração em pele, mucosa, tecidos subepiteliais e no sistema vascular. Exemplo: instrumentos de corte ou ponta; instrumento cirúrgico, roupas utilizadas nos atos cirúrgicos e obstétricos, entre outros.
- b) Semicríticos – são artigos que entram em contato com a mucosa e pele não intacta, não necessariamente penetram na superfície. Exemplo: equipamentos de anestesia gasosa e de assistência ventilatória, alguns endoscópios, tubo endotraqueal, talheres, entre outros
- c) Não Críticos – são os artigos que entram em contato direto com o paciente, porém com pele íntegra. Geralmente implicam em baixo índice de infecção. Exemplos: telefones, termômetros, talas/gases e outros (TEIXEIRA, 2011).

Todavia, devido à composição do material somente os artigos críticos ou semi críticos podem ser esterilizados pelo método autoclave, segundo resolução SS-15, da Anvisa (BRASIL, 1999). Neste caso, são usados artigos cujo material é vidro seco e materiais que não oxidem com água.

2.3 Aquecimento por Indução

O aquecimento por indução é uma técnica utilizada para se obter aumento de temperatura aspirada, considerada rápida, eficiente, precisa e repetível. Ele se baseia no princípio descrito por Joule, na produção de calor por meio das correntes indutivas que circulam no material condutor, no qual deseja aquecer (NETO, 2013).

Ao considerar que se trata de um processo de aquecimento sem contato, ele usa eletricidade de alta frequência para aquecer materiais eletricamente condutivos. Nesse sentido, o processo de aquecimento não contamina o material. Além disso, disponibiliza um aquecimento seguro, pois não existem chamas.

De acordo com Ambrel (2018), o sistema de aquecimento por indução, basicamente, “consiste numa fonte de alimentação que converte a energia da rede numa corrente alternada, que é transmitida para um cabeçote e bobina de indução,

criando um campo eletromagnético no interior da bobina” (p. 1). Ele pode ser aplicado em processos com temperaturas baixas em torno de 100°C e elevada aproximadamente 3000°C, como também em aquecimento curtos que duram menos de meio segundo ou podem durar meses.

No passado, a produção de calor por meio de indução foi considerada uma transformação de energia indesejável. Todavia, essa perspectiva começa a modificar a partir do estudo das correntes parasitas induzidas por campos magnéticos variáveis no tempo, conhecidas também com o nome de Correntes de Foucault e, em especial, o uso da corrente alternada em altas frequências (NETO, 2013), que será discutida a seguir.

Atualmente, o método de aquecimento por indução tem sido desenvolvido em aplicações, como fusão, tratamento térmico, pré-aquecimento para caldear, soldar, consolidar, selar, fixar por contração na indústria. Pode-se também visualizar seu emprego em eletrodomésticos de cozinhas, como fogões.

2.3.1 Características do aquecimento por indução

O processo de aquecimento indutivo oferece diversas características e benefícios, as quais Callebaut (2007 apud NETO 2013) dividiu de acordo os benefícios categorizados a seguir:

- a) Processo Técnico: Um equipamento de aquecimento por indução, em função da elevada densidade de potência, pode ser compacto e realizar um aquecimento rápido; Além de oferece a possibilidade de atingir temperaturas muito altas.
- b) Consumo de Energia: Os equipamentos de aquecimento por indução na maioria das vezes apresentam boa eficiência, apesar dessa eficiência também depender das características do artigo a ser aquecido; Parte importante das perdas de calor pode ser recuperado.
- c) Qualidade: É possível trabalhar em ambientes com vácuo ou atmosferas inertes; Ademais o local de aquecimento pode ser determinado com precisão, bem como o aquecimento.
- d) Ambiente e condições de trabalho: Ele não produz gases de combustão

Em relação às limitações do aquecimento indutivo, o autor menciona o grande investimento, que geralmente implica a sua instalação, se comparado com outras

técnicas. Entretanto, tal limitação não repercute no atual trabalho, posto que se trata de um equipamento de aquecimento mais simples.

O princípio do aquecimento por indução é baseado, principalmente, em dois fenômenos físicos, a saber: Indução Eletromagnética e Efeito Joule. Em relação a esse último fenômeno, Zinn e Semiantin (1988) salienta que, o efeito Joule é o único mecanismo capaz de gerar calor em materiais não magnéticos (alumínio, cobre, aços inoxidáveis e aço de carbono acima da temperatura Curie) e em materiais constituídos de metais ferromagnéticos, dos quais se podem citar os aços de carbono abaixo da temperatura de Curie.

Devido à importância da indução eletromagnética no atual trabalho, optou por elucidar um pouco mais esse fenômeno. Portanto, as seções abaixo abordarão as leis e teorias que fundamentam tal pressuposto.

2.3.2 Indução eletromagnética

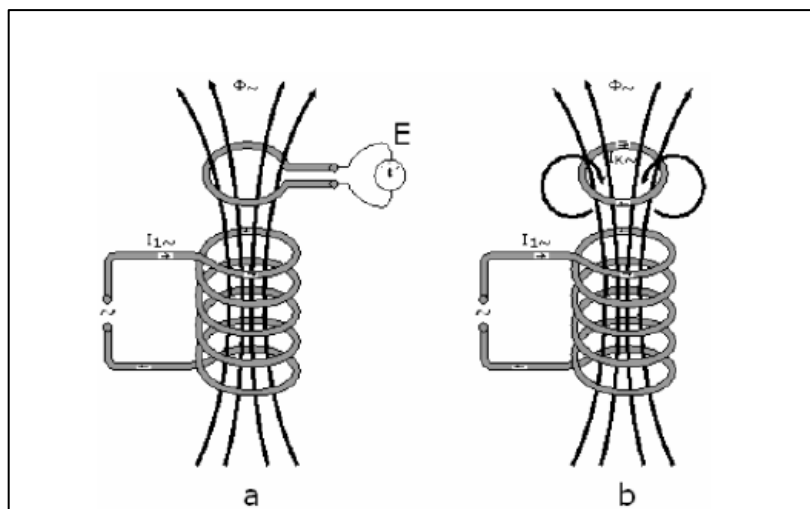
A indução eletromagnética é uma das formas de transferência de energia para o objeto, a qual se pretende aquecer. Em um circuito de material condutor, uma corrente alternada é induzida quando este laço é colocado num campo magnético alternado (NETO, 2013). A fórmula desse fenômeno é a seguinte:

$$E = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Onde E é a tensão [V], Φ é o Fluxo Magnético [Wb] e t é o tempo [s].

O princípio de indução eletromagnética foi descoberto, em 1831, pelo físico e químico Michael Faraday. Ele comprovou que uma corrente que varia a sua intensidade em função do tempo, ao passar ao longo de uma espira, induz uma corrente elétrica em uma espira adjacente (CURTINAZ, 2012). Isto é a Lei de Faraday – Lenz (Figura 2).

Figura 2 - Lei de Faraday



Fonte 2 - Neto (2013)

Basicamente, essa lei reporta ao fenômeno em que um campo magnético produz uma corrente em um circuito fechado, sendo que condição para que isso ocorra é a de que o fluxo magnético esteja variando. Esta corrente é o resultado da Força eletromotriz (FEM) que surge durante o processo, no local que está sob a ação do campo (LORO, 2008).

2.3.3 Correntes de Foucault

O surgimento das correntes de Foucault⁴ geram o aquecimento por efeito Joule, a qual é explicada pela Lei da Indução de Faraday. Assim, a partir da variação do fluxo magnético no indutor há uma reação no induzido que visa anular seus efeitos sobre ele (Lei da Ação e Reação de Newton) (LORO, 2008).

A fórmula que determina o valor da densidade de fluxo magnético que oscila de forma senoidal é

$$B = B_0 \cdot \text{sen } \omega t \quad (2.2)$$

Onde B é o campo magnético, B_0 é o campo inicial e ω é o aquecimento por efeito Joule.

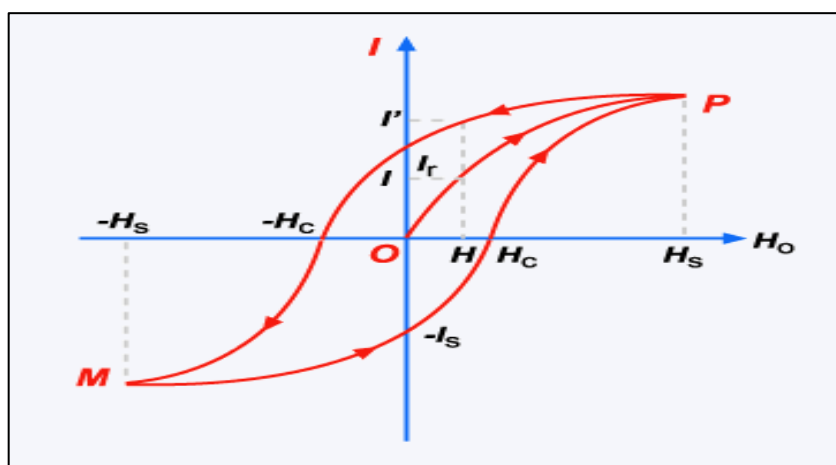
⁴ Correntes de Foucault também são denominadas de correntes parasitas, eddy currents ou, simplesmente, correntes induzidas

2.3.4 Histerese Magnética

A palavra histerese tem origem no grego e significa atraso. Apenas os materiais magnéticos a possuem. Este atraso gera um ciclo, em um material que está sob a ação de um fluxo magnético variável (LORO, 2008).

O processo de magnetização/desmagnetização força os fragmentos do material, se apresentando em forma de calor. À medida que se altera o sentido do fluxo magnético e frequência dessa inversão, os domínios magnéticos do material inverte o sentido conforme o sentido desse fluxo. Portanto, elevando a intensidade do fluxo, maior quantidade de domínios invertem sua orientação. Esta inversão é um movimento de rotação dos domínios que ocorre mediante atritos entre eles. Como atrito gera calor, daí é que surge o calor gerado na histerese. Tal ciclo pode ser visualizado na figura 3, a seguir.

Figura 3 - Curva de Histerese



Fonte 3 - e-física (2018)

A curva de imantação (I) em função do campo magnético (H_0) para um material ferromagnético é obtida a partir do pressuposto que a substância esteja inicialmente desmagnetizada. No primeiro momento eleva-se a intensidade do campo de forma gradual iniciando do ponto zero, até atingir o valor de saturação (H_s), que corresponde aquele ponto em que apesar de elevar o campo magnético não lhe é mais imputado alteração de intensidade no material ferromagnético. Com isso, é possível obter a curva OP , demonstrada na figura.

Se, a partir do valor de saturação H_s , o campo magnético for diminuindo até que ele se anule, a curva de volta não é P_0 , mas sim, PI_r . De maneira que quando o campo se anula, a imantação se mantém com um valor Pr . Nota-se que para um mesmo valor do campo inicial (H_0) agora há uma diferença no valor de imantação, sendo que o material está imantado no ponto I_r , assim, tem valor maior quando o campo decresce do que quando o campo cresce.

Esse fenômeno descrito é chamado histerese. Salienta-se que a energia dispersada em forma de calor na histerese magnética é proporcional a área do gráfico do ciclo de histerese de saturação, também conhecido como ciclo principal.

2.3.5 Permeabilidade Magnética

O denominado efeito “skin” diz do comportamento da corrente alternada que tende a se concentrar na parte externa de um condutor. As correntes de Foucault também se comportam da mesma forma, isto é, são maiores na superfície externa e diminuem em direção ao centro do condutor. Portanto, a maior parte do calor é gerada na parte exterior do condutor. Esse efeito “skin” representa a chamada profundidade de penetração, que é definida como a espessura da camada, medida a partir do exterior, em que se localiza 87% da energia (NETO, 2013).

Sendo assim, permeabilidade magnética pode ser conceituada como a condutividade magnética de um material. Para calcular o seu valor utiliza-se o ciclo de histerese de saturação, a fim de extrair dados (LORO, 2008).

Vale salientar que a profundidade de penetração depende das características do material que será submetido ao aquecimento, como também pode ser influenciado pela frequência. Sendo assim, tal dependência possibilita que haja variação também na profundidade de penetração, a partir do controle da frequência.

2.3.6 Tipos de materiais magnéticos

Os materiais magnéticos veem sendo empregados no desenvolvimento das novas tecnologias. Observa-se a opção por seu uso em, por exemplo, sistemas de geração e distribuição de energia (hidrelétricas, entre outros), sistemas de conversão eletromecânica (eletrodomésticos, automóveis), eletrônicos e de

telecomunicações, transdutores, sensoriamento, prospecção geológica, informática, automação industrial até a medicina e a engenharia biomédica (RIBEIRO, 2000).

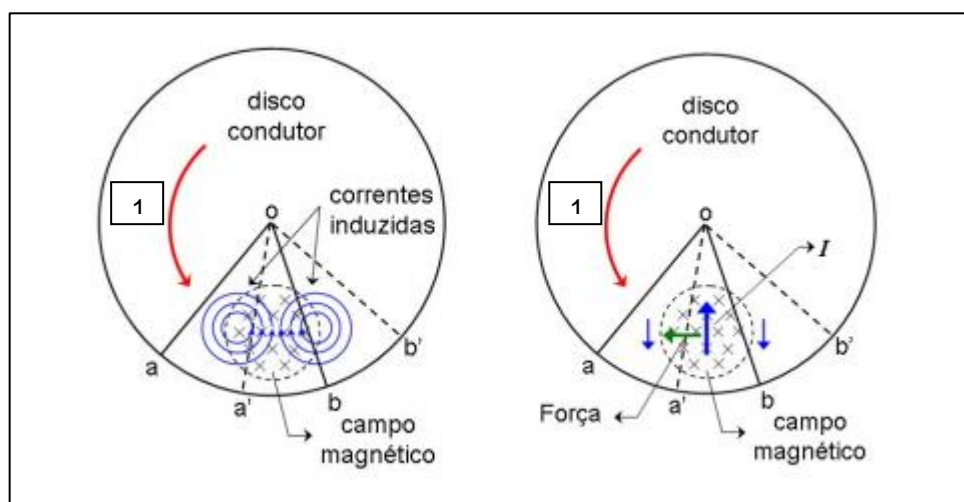
Os materiais magnéticos são categorizados conforme com a apresentação do seu estado físico. Os estados físicos desses materiais mais encontrados são o ferromagnético, o paramagnético e o diamagnético (LOURENÇO, 2011). Loro (2008) descreve brevemente, em sua dissertação, cada um desses materiais:

- a) Paramagnéticos: são a maioria deles. Reagem fracamente a presença de um campo magnético. São, então, levemente atraídos pelos ímãs. Exemplos: alumínio, latão, aço inoxidável.
- b) Diamagnéticos: reagem contrariamente a presença de um campo magnético. Esta reação é de intensidade fraca. Desta maneira são levemente repelidos pelos ímãs. Exemplos: água, cobre, chumbo, prata e bismuto.
- c) Ferromagnéticos: reagem a presença do campo magnético com mais intensidade que os paramagnéticos sendo, desta maneira, mais fortemente atraídos pelos ímãs. Alguns exemplos: ferro, aço comum, aço inoxidável ferrítico, neodímio, alsiFe, mumetal, alnico, permalloy e supermalloy.
- d) Não-magnéticos: não interage com o campo magnético como é o caso do vácuo. Destaca-se que para as finalidades de indução os materiais paramagnéticos e diamagnéticos são conhecidos como não-magnéticos.

2.3.7 Comportamento do campo magnético

Para entender as forças que atuam no campo magnético, a partir das correntes induzidas, optou-se por utilizar o esboço explicativo de tal fenômeno, representado na figura 4.

Figura 4 - Campo magnético, correntes induzidas e forças que atuam



Fonte 4 - Souza (2005)

Como se pode observar, a figura 4 representa o comportamento das correntes parasitas quando em contato com o material condutor submetido ao campo magnético variável, bem como o comportamento das forças magnéticas que, ao seguir a lei de Lenz, surgem diante à variação do campo que as originou. Nesse esboço encontra-se as seguintes denotações, de acordo com a regra da mão esquerda: O número 1 indica as setas que representam o sentido de rotação do disco condutor; A seta horizontal representa a força que contrapõe o movimento do disco por meio do campo magnético instituído pelas correntes induzidas no material condutor, conforme a lei de Lenz; Na parte inferior do círculo maior, existe um círculo tracejado com cruces, estas indicam o sentido do campo magnético (B). Nesse esquema, o fluxo magnético está entrando no disco; A seta vertical direcionada para ponto "o", localizada dentro com círculo tracejado, representa o sentido de movimento das correntes induzidas no disco; As letras "a0b", e "a'0b" representam a movimentação da área delimitada pelos pontos, pois nesse caso, a variação do fluxo magnético deu-se pelo movimento do disco.

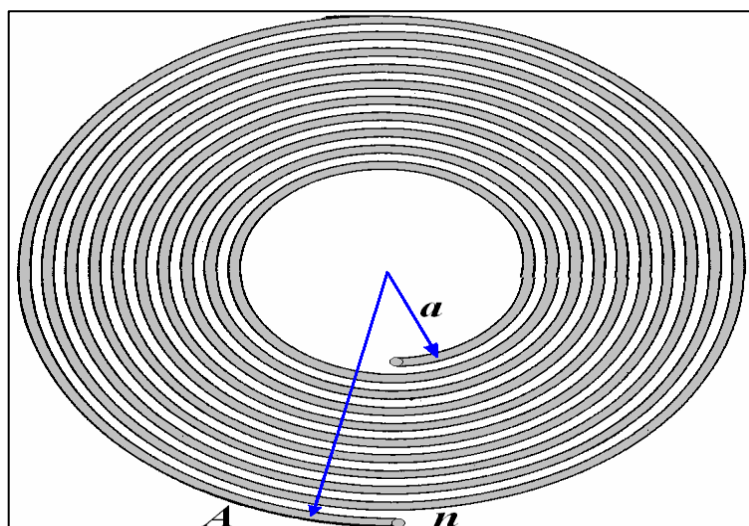
2.3.8 Indutância de espiral plana de camada simples

A bobina de indução, também denominada como indutor, é o dispositivo do sistema de aquecimento por indução que determina o grau de eficácia e eficiência

do aquecimento da peça de trabalho. O modelo da bobina é primordial posto que está diretamente ligado a eficácia e eficiência de um processo de aquecimento por indução. Primeiramente determina-se que área da peça deve ser produzido o calor para atingir a temperatura desejada e, posteriormente, desenvolver a bobina para obter o efeito de aquecimento (AMBREL, 2018).

As bobinas de indução variam em termos de complexidade. Para esse trabalho será utilizado a bobina espiral tipo “Panqueca” (Figura 5). Esse tipo de bobina é utilizada quando existe a necessidade de aquecer apenas um lado do material ou quando não há possibilidade de circular a peça (AMBREL, 2018).

Figura 5 - Bobina Plana tipo "Panqueca"



Fonte 5 - Pichorin (2011)

A figura 5 representa a bobina plana. Nesta bobina “a” representa a distância do raio até a espira interna; “A” é a distância do raio até a extremidade da espira externa e; “n” o número de espiras total.

Grover (1946) apresenta uma fórmula prática para se calcular o valor da indutância (L_s), a saber:

$$L_s = n^2 \cdot Acm \cdot P \cdot F \quad (2.3)$$

Onde A_{cm} é o raio médio em centímetros, P é um valor tabelado que depende dos raios a e A e o parâmetro F , também tabelado, faz a compensação do espaço entre as espiras (GROVER, 1946).

2.4 Ferramentas para formulação do protótipo e medições

2.4.1 Plataforma virtual EasyEDA

EasyEDA é uma ferramenta web gratuita tem o objetivo de realizar simulação de circuitos, design de placas de circuito impresso (PCB) e criação de esquemas esquemático. Com essa ferramenta pode-se desenhar circuitos eletrônicos e testá-los em um simulador SPICE, além de desenvolver suas PCBs e fabricá-las na própria plataforma do EasyEDA (ARTILHARIA DIGITAL, 2018).

2.4.2 Materiais utilizados para a avaliação dos sistemas de aquecimento

Para realizar a medição e a aquisição de dados de temperatura valeu-se de um multímetro digital da marca Minipa, modelo ET-2082C, características: Tensão DC/AC: 1000V; Corrente AC/DC: Faixa1 2mA e faixa2 20A; Resistência: 2000MOhm; Frequência: 10MHz; Capacitância: 200uF; Indutância 20H; Temperatura: 250°C. Conforme a figura 6 a seguir.

Figura 6 - Multímetro Digital



Fonte 6 - Própria Autoria (2018)

Em relação à coleta de dados da corrente e tensão no sistema de aquecimento resistivo, foi utilizado um alicate wattímetro digital da marca Minipa (Figura 7), modelo ET-4055, com as seguintes características: Tensão DC/AC: 600V; Corrente ACA (GARRA): 1000 A; Potência: 600 KW.

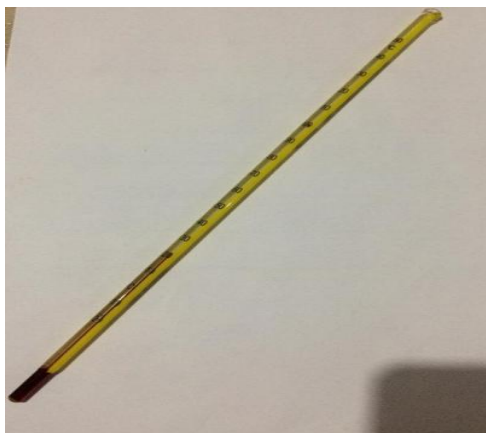
Figura 7 - Watímetro



Fonte 7 – Própria Autoria (2018)

Foram utilizados dois termômetros, sendo um de mercúrio, com variação de 0°C à 150°C e o outro digital com variação -30°C à 550°C. O termômetro de mercúrio (Figura 8) teve como finalidade monitorar a temperatura ambiente fora da autoclave e dentro dela, antes de dar início a esterilização.

Figura 8 - Termômetro de Mercúrio



Fonte 8 - Própria Autoria (2018)

Enquanto o termômetro digital (Figura 9) foi utilizado para medição do protótipo, posto que no mesmo não foi instalado tal dispositivo.

Figura 9 - Termômetro Digital



Fonte 9 – Própria Autoria (2018)

Para testar o circuito do protótipo valeu-se de uma fonte de alimentação da marca DC Power Supply modelo FA-3030 (Figura 10), características: Tensão de entrada AC: 127 a 220V; Tensão de saída DC: 0 a 30V.

Figura 10 - Fonte de alimentação



Fonte 10 - Própria Autoria (2018)

Além disso, para medir a frequência do circuito do protótipo valeu-se também de um osciloscópio digital da marca Minipa (figura 11), modelo MO-2032, características: Tensão AC: 100 a 240V; Potencia Aparente PA: 50VA, Frequência: 30MHz.

Figura 11 - Osciloscópio Digital



Fonte 11 – Própria Aatoria (2018)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo será apresentada a sequência do desenvolvimento de um sistema de aquecedor por indução eletromagnética, que visa substituir o sistema tradicional que utiliza de resistência para aquecimento de autoclave. O estudo foi desenvolvido em duas etapas: estudo das características de uma estufa resistiva e implantação do aquecedor eletromagnético.

3.1 Análise do sistema autoclave aquecido por resistência

A análise do sistema da autoclave ocorreu em duas etapas: Levantamentos técnicos disponibilizados pelo fabricante, Coleta de dados técnicos de funcionamento da autoclave. Para essa última etapa foi necessária autorização (Apêndice A) da assistente técnica responsável pelo processo de esterilização do consultório odontológico, o qual foi coletado os dados.

3.1.1 Levantamentos técnicos disponibilizados pelo fabricante da autoclave

Para o levantamento dos dados técnicos da autoclave primeiro se utilizou as informações apresentadas na placa fixada na estrutura do equipamento. Como não foi possível obter todas as informações por meio da placa, a utilização do manual, fornecido pelo fabricante, serviu como forma de confirmar e complementar o levantamento dos dados técnicos. Os resultados obtidos serão apresentados no capítulo 4.

3.1.2 Coleta de dados técnicos de funcionamento da autoclave

Os dados de funcionamento foram obtidos durante o processo de esterilização de artigos cirúrgicos utilizados no processo de rotina em odontologia na autoclave modelo Cristófoli Vitale 12, mostrada na figura 12.

Figura 12 - Cristófoli Vitale 12



Fonte 12 - Própria Autoria (2018)

Nessa fase foram dada ênfase em dados referente à:

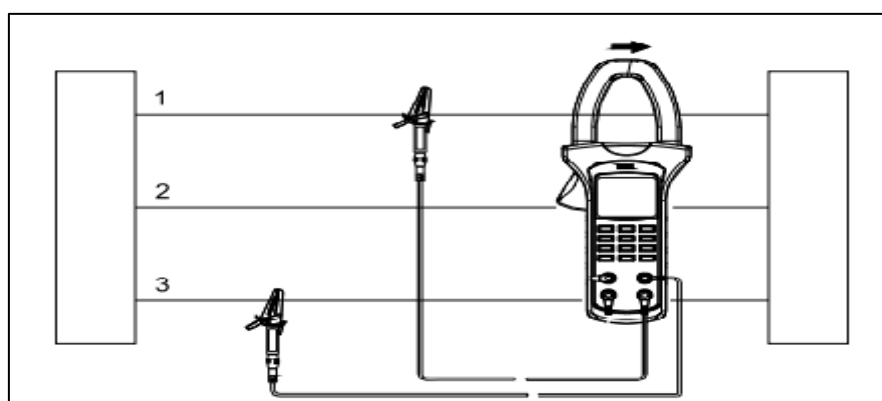
- a) Temperatura ambiente;
- b) Pressão inicial e final;
- c) Temperatura inicial no interior da autoclave antes da esterilização do artigo, posto que a mesma já pode estar aquecida devido a algum procedimento anterior;
- d) Temperatura final ao atingir o objetivo;
- e) Tempo do pré-aquecimento da temperatura ajustada;
- f) Tempo dispendido para o reprocessamento;
- g) Corrente, tensão, potência e rendimento;
- h) Especificação do artigo a ser esterilizado – material e peso;
- i) Volume de água no recipiente da resistência;
- j) Consumo de energia do equipamento.

Para melhor confiabilidade dos dados de funcionamento da autoclave, foram realizados dois ciclos para obtenção dos mesmos: um ciclo de esterilização ocorreu no dia 13 de novembro, às 10h00min e um segundo ciclo repetido, no dia 14 de novembro, às 15h38min. Para dar início ao procedimento, primeiramente, foi disposto na bancada os instrumentos necessários para aquisição dos dados, como: wattímetro, multímetro, termômetro digital, termômetro de mercúrio, extensão de

com três bocais para referenciar o valor de tensão do wattímetro, cronômetro e chave de teste para verificação de fase do circuito.

Com os instrumentos organizados, mediu-se a temperatura ambiente e a do interior da autoclave, estimada por meio do termômetro. Na sequência introduziu-se 150 ml de água no recipiente de resistência da autoclave e selecionou-se a função aquecimento e secagem. Com a autoclave em funcionamento plugou-se o wattímetro na tomada de alimentação (figura 13) para efetuar a coleta de dados.

Figura 13 - Wattímetro conexão das garras



Fonte 13 - Minipa ET-4055 (2018)

Com o uso do wattímetro foi possível medir a tensão, frequência e a corrente do circuito. A partir dessas referências, o instrumento calculou, instantaneamente, fator de potência, ângulo de fase, harmônicas e potências: ativa, reativa e aparente.

Figura 14 - Alicate Watímetro



Fonte 14 – Própria Aatoria (2018)

As leituras de pressão e temperatura foram obtidas a partir do manômetro de pressão disposto na autoclave, conforme apresentado na figura 15.

Figura 15 - Manômetro de Pressão



Fonte 15 - Própria Autoria (2018)

No final do processo de esterilização, a autoclave despressurizou-se e desligou-se automaticamente, devido à sua programação. Os dados encontrados podem ser visualizados tabela 1, conforme apresentada no capítulo 4.

3.2 Implantação do aquecedor eletromagnético

A implementação do aquecedor eletromagnético foi desenvolvida por etapas: primeiro, a elaboração e simulação do circuito de aquecimento na plataforma virtual e a construção do sistema aquecedor.

3.2.1 Elaboração do circuito de aquecimento.

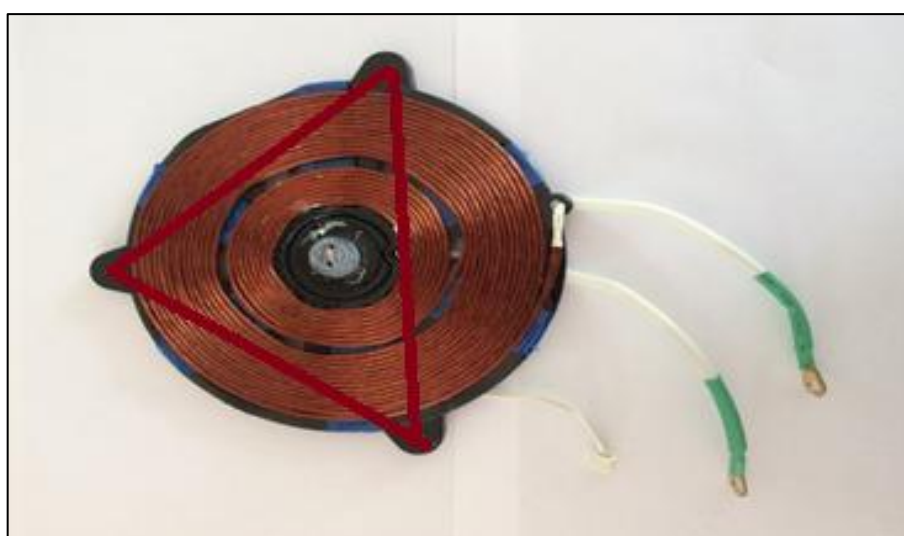
A elaboração do circuito aquecedor iniciou-se a partir do recipiente que foi usado como câmara de esterilização. Essa câmara necessita ser um recipiente que suporta pressão e possua boa vedação, para que não haja contaminação do material que será processado. Para simulação dessa câmara de esterilização optou-se por utilizar uma panela de pressão de volume de 12 litros, de forma a respeitar o mesmo volume da autoclave do estudo, para fins de comparação.

Figura 16 - Panela de Pressão

Fonte 16 – Própria Autoria (2018)

A partir da determinação câmara a ser utilizada, foi desenvolvida a bobina de indução, respeitando as características dessa panela de pressão: 300mm (Diâmetro) x 170mm (Altura). A bobina implementada é tipo plana por proporcionar melhor adequação ao recipiente. Assim, a bobina foi disposta no interior da panela no intuito de minimizar a perda calorífica.

A bobina de indução possui as seguintes dimensões: 16.2 cm x 17.2 cm x 19 cm. Essas dimensões são medidas formando um triângulo, de um orifício a outro de, conforme apresentado na figura 17.

Figura 17- Bobina panqueca

Fonte 17 - Própria Autoria (2018)

Essa bobina possui capacidade de dissipar uma potência de trabalho em 1300 Watts, utilizando tensão de 127 Volts por uma corrente de 10 Amperes.

Prosseguindo com a etapa de elaboração do circuito aquecedor, o próximo passo foi a construção de um circuito ZVS (Comutação de Tensão Zero), responsável por aquecer a bobina de indução. Esse circuito aquecedor combina o capacitor e indutor em série para elevar a frequência de saída da bobina. Para encontrar o valor da frequência utilizou-se a equação (3.1).

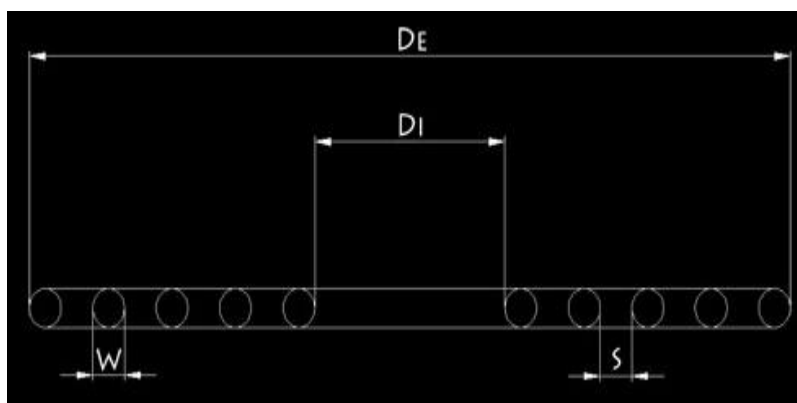
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L*C}} \quad (3.1)$$

Onde f é a frequência, L é a bobina e C o capacitor.

O circuito ZVS se faz importante ao possibilitar uma elevada frequência, cujos valores podem chegar de 130 a 150MHz ou até superior, dependendo do capacitor e indutor utilizado. Essa frequência relatada produzir uma elevada temperatura por meio da bobina do tipo plana ou panqueca, necessária para o processo de esterilização almejado nesse protótipo.

Neste sentido, viu-se a necessidade de encontrar os valores do indutor para, posteriormente, chegar aos valores do capacitor por meio da equação 3.1. A figura 18 apresenta como é realizada a análise para se extrair dados da bobina plana.

Figura 18 - Análise da Bobina



Fonte 18 - Própria Autoria (2018)

Onde, diâmetro externo (D_e), diâmetro interno (D_i), diâmetro do fio (W) e Espaçamento entre os fios (s).

A partir das referências da figura 18, utilizaram-se as equações (3.2), (3.3) e (3.4) necessárias para se obter o valor de indutância para circuito bobina plana.

$$De = Di + 2 * N * (W + S) \quad (3.2)$$

Onde, diâmetro externo (De), diâmetro interno (Di), diâmetro do fio (W), espaçamento entre os fios (s) e (N) é numero de voltas da espira.

$$A = \frac{Di + N * (W + S)}{2} \quad (3.3)$$

Onde, Área da superfície da bobina (A), diâmetro interno (Di), diâmetro do fio (W), espaçamento entre os fios (s) e (N) é numero de voltas da espira.

$$L = \frac{(N * A)^2}{30 * A - 11 * Di} \quad (3.4)$$

Onde, Área da superfície da bobina (A), diâmetro interno (Di), diâmetro do fio (W), espaçamento entre os fios (s) e (N) é numero de voltas da espira.

As medições da bobina plana foram obtidas com auxílio de uma régua graduada onde se coletou os dados de bobina, de acordo com a figura 18.

Bobina maior:

- a. Diâmetro interno (Di) = 90 mm;
- b. Diâmetro externo (De) = 150mm;
- c. Número de voltas da espira (N) = 14 voltas;

Bobina menor:

- d. Diâmetro interno (Di) = 50 mm;
- e. Diâmetro externo (De) = 80mm;
- f. Número de voltas da espira (N) = 8 voltas;
- g. Diâmetro do fio (W) = 4,0mm;
- h. Espaçamento entre os fios (s) = 5,0mm;

$$A1 = \frac{(Di + N * (W + S))}{2} = \frac{(90 + 14 * (4 + 5))}{2} = 171$$

$$A2 = \frac{(Di + N * (W + S))}{2} = \frac{(50 + 8 * (4 + 5))}{2} = 61$$

$$L1 = \frac{(N * A)^2}{30 * A - 11 * Di} = \frac{(14 * 171)^2}{30 * 171 - 11 * 90} = 1384,35\mu T$$

$$L2 = \frac{(N * A)^2}{30 * A - 11 * Di} = \frac{(8 * 61)^2}{30 * 61 - 11 * 50} = 186,05\mu T$$

$$LT = L1 + L2 = 1384,35 + 186,05 = 1570,4\mu T$$

Após realizar o cálculo da equação 3.4, obteve-se o valor do indutor para uso da bobina plana. O próximo passo foi realizar o cálculo para encontrar o valor do capacitor, a fim de se obter todas as variáveis necessárias ao circuito oscilador ZVS. Para tanto, utilizou-se a equação (3.1), esboçada abaixo.

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$

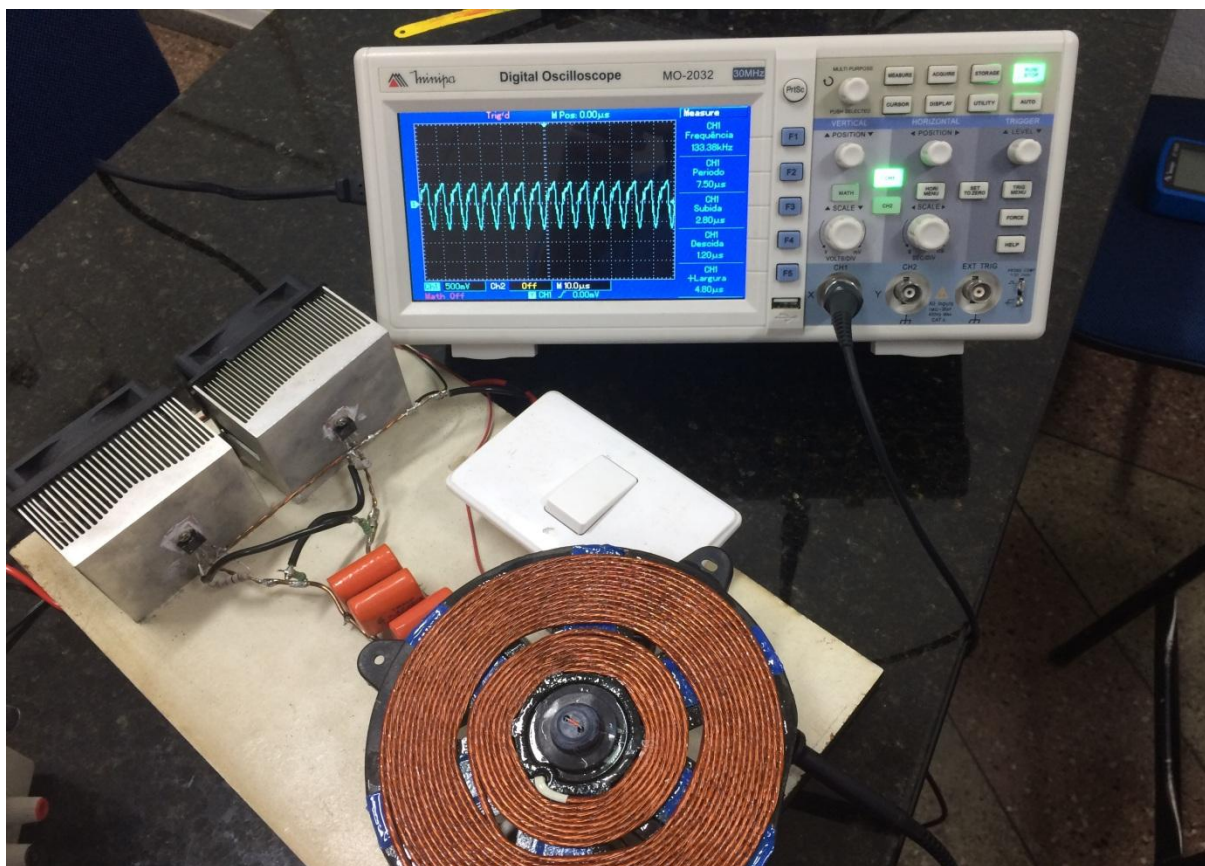
$$C = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * f}} = \frac{1}{2\pi * \sqrt{(1570,4 * 10^{-6}) * (135 * 10^6)}} = 345,66\mu F$$

Feito o cálculo do capacitor, a próxima etapa foi realizar a simulação do circuito por meio da plataforma virtual, descrita na secção 3.2.2.

3.2.2 Simulação do circuito na plataforma virtual EasyEDA

O circuito de força foi elaborado por meio da plataforma virtual EasyEAD. Nesta plataforma é possível simular, rotear as ligações e otimizar desempenho do circuito. Após simulação e ajuste necessários optou-se pela forma final do circuito simplificado (Figura 19).

Figura 20 - Circuito Elétrico do protótipo



Fonte 20 - Própria Autoria (2018)

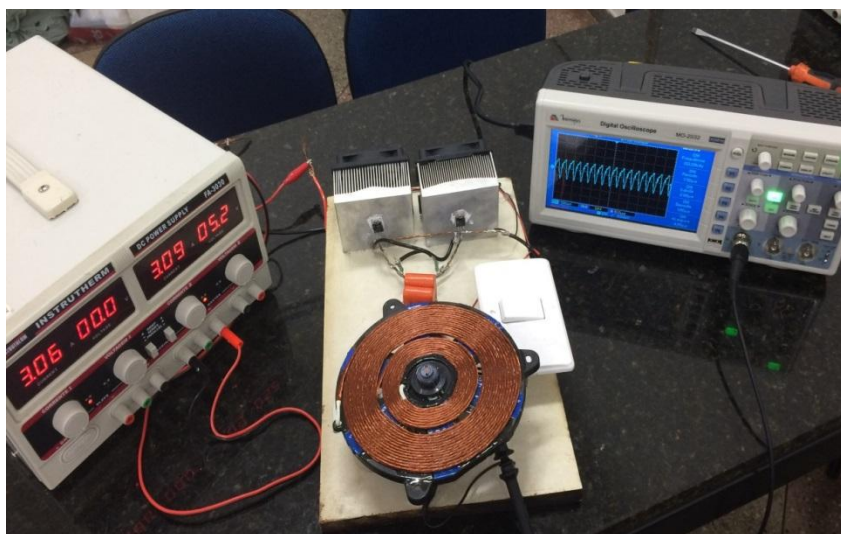
O protótipo construído possui basicamente um oscilador LC (Indutor/Capacitor), para determinar a frequência de oscilação do circuito. Viu-se também a necessidade de construir outro indutor, para que a frequência de oscilação não retornasse para a fonte (bateria). Para que o oscilador LC continuasse funcionando foi necessária uma realimentação.

Para que houvesse um a alta corrente foi necessário um chaveamento com essa alta corrente e para tanto foi utilizado os dois MOSFETS, posto sua utilidade para chavear altas correntes e chavear altas frequências. O papel desses MOSFET é pegar a carga negativa da fonte (source) e chaveá-la para os drenos (drain), que são, na verdade, os dois terminais deles, de acordo com o sinal que entra nas portas (gates). Assim, serve como comutadores.

Já a carga positiva da fonte alimentou direto o terminal central do indutor/ bobina. Os dois MOSFET alteram o negativo nos terminais, gerando no indutor um campo magnético oscilante de alta intensidade devido ao fato de trabalhar com alta corrente.

Cabe destacar que cada MOSFET foi ligado por meio de um resistor no gate do outro. Isso possibilita que um acione enquanto o outro está desligado, permitindo que o chaveamento seja alternado. A frequência dos chaveamentos dos MOSFET é determinada pelo capacitor e pelo indutor utilizado. O oscilador é basicamente conhecido como oscilador ZVS. A figura 21 possibilita melhor visualização do circuito protótipo.

Figura 21 - Circuito Elétrico do protótipo



Fonte 21 - Própria Autoria (2018)

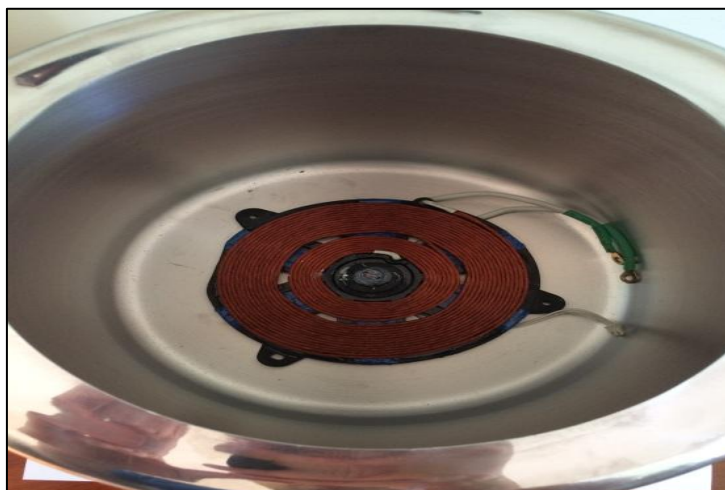
A partir desse protótipo viu-se que quando o material ferromagnético é colocado próximo ao indutor, esse material é influenciado pelo campo magnético gerado. Tal fenômeno ocorre devido ao surgimento de correntes parasitas nesse material, denominadas correntes de Foucault. De acordo com a teoria, devido ao fato de existir corrente dentro do metal, há uma circulação de elétrons que ao se movimentar se encontram com a resistência desse material, produzindo calor uniforme.

3.2.4 Processo de implementação do recipiente no protótipo

Como já mencionado, para a construção do protótipo utilizou-se uma panela de pressão de 12 litros, a fim de buscar maior similaridade com o processo de esterilização ocorrido na autoclave, a qual utiliza aquecimento por resistência, pressão e humidade nesse processo.

Para dar início a implementação do recipiente no protótipo, inicialmente foi colocada a bobina no interior da panela, de acordo demonstrado na figura 22.

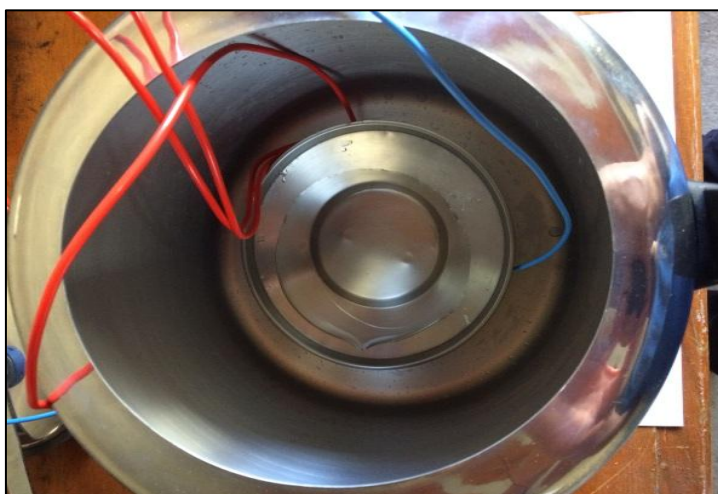
Figura 22 - Bobina no interior da panela



Fonte 22- Própria Aatoria (2018)

Concluída essa etapa, foi adicionado os 4 cabos, sendo um para o positivo, dois para o negativo e o outro, da cor azul, para o termopar, que realizou a leitura de temperatura no interior dessa panela. Além dos cabos, também foi disposto um recipiente de material ferromagnético, que foi utilizado para se alocar 150ml de água, bem como influenciar o campo magnético de forma a gerar calor no líquido contido nele, a fim de gerar vapor, como pode ser observado na figura 23.

Figura 23 – Introdução do material ferromagnético



Fonte 23 - Própria Aatoria (2018)

Também foi utilizado nesse processo de implementação outro recipiente destinado a receber os materiais a serem esterilizados (Figura 24).

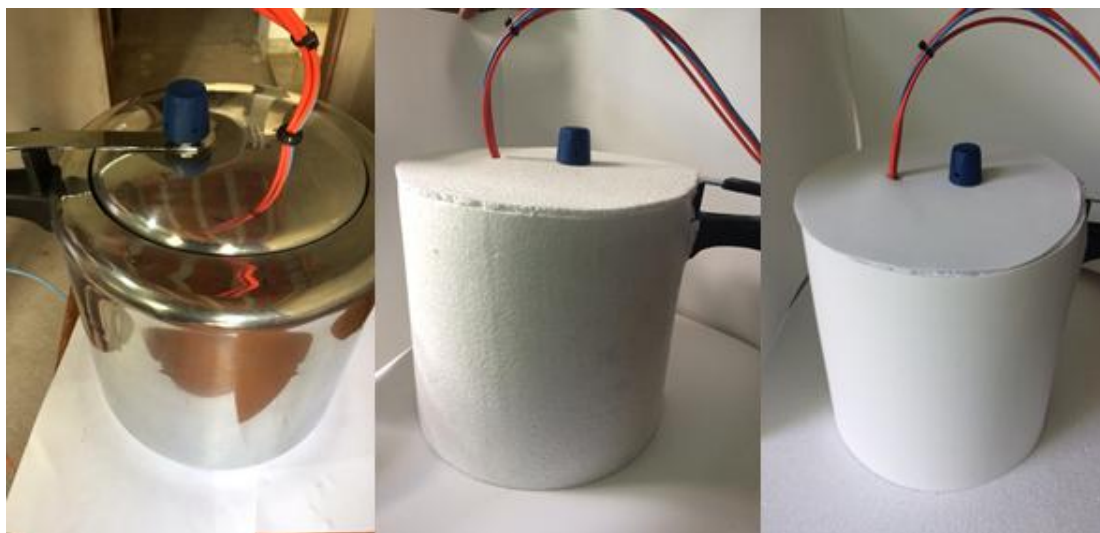
Figura 24 - Recipiente para alocar materiais a serem esterilizados



Fonte 24 - Própria Autoria (2018)

A figura 25 traz panela de pressão industrial montada no interior do de um calorímetro de isopor. Esse calorímetro foi utilizado para minimizar a perda de calor para o meio ambiente.

Figura 25 - Panela envolta por um calorímetro



Fonte 25 - Própria Autoria (2018)

3.2.5 Coleta de dados técnicos de funcionamento do protótipo

Nessa fase foram dada ênfase em dados referente à:

- a) Temperatura ambiente;
- b) Pressão inicial e final;
- c) Temperatura inicial no interior do protótipo;
- d) Temperatura final ao atingir;
- e) Tempo do pré-aquecimento da temperatura ajustada;
- f) Tempo dispendido para o reprocessamento;
- g) Corrente, tensão, potência e rendimento;
- h) Especificação do artigo a ser esterilizado – material e peso;
- i) Volume de água no recipiente da resistência;
- j) Consumo de energia do equipamento.

Para melhor confiabilidade dos dados de funcionamento do protótipo, foram realizados dois ciclos para obtenção dos mesmos: um ciclo de esterilização ocorreu no dia 19 de novembro, às 18h30min e um segundo ciclo repetido, no dia 20 de novembro, às 11h00min. Para dar início ao procedimento, repetiu-se o mesmo procedimento da etapa anterior, o qual primeiramente foi disposto na bancada os instrumentos necessários para aquisição dos dados. Os instrumentos utilizados foram os mesmos na medição da autoclave. E a seguir mediu-se a temperatura ambiente e a do interior da panela de pressão.

Ressalta-se que para alimentar o circuito do protótipo foi utilizado uma carregador de bateria que transforma a tensão de 127 V para 12V. Essa transformação foi a única parte que difere.

Na sequência introduziu-se 150 ml de água no recipiente localizado no interior da panela de pressão. Com a protótipo de indução em funcionamento plugou-se o wattímetro na tomada de alimentação para efetuar o levantamento de dados. Como já mencionado, com uso do wattímetro foi possível medir a tensão, frequência e a corrente do circuito. A partir dessas referências, o instrumento calculou, instantaneamente, fator de potência, ângulo de fase, harmônicas e todas as potências: ativa, reativa e aparente.

O monitoramento de temperatura foi possível por meio do termopar, cuja disposição conseguiu fazer a comunicação entre o inteiro e exterior da panela, possibilitando a leitura através do multímetro.

Para realizar coleta de leituras de pressão, foi necessária a realização de cálculo a partir da equação (3.4), onde se utilizou variáveis de temperatura e pressão.

$$\frac{P_o}{T_o} = \frac{P}{T} \quad (3.4)$$

Onde Pressão final (P_o), Pressão inicial (P), Tempo inicial (T_o) e Tempo final (T).

4 APRESENTAÇÃO E DICUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos no procedimento experimental.

4.1 Análise de funcionamento da autoclave com aquecimento por resistência

Na primeira etapa do processo experimental foram coletados os dados seguindo os protocolos estabelecidos no capítulo três. A coleta ocorreu em dois dias distintos e em períodos do dia diferente. A tabela 1 apresenta os dados referentes à coleta realizada nos dois dias juntamente com os dados especificados pelo fabricante do sistema de esterilização autoclave.

Tabela 1 - Dados coletados da autoclave

Grandezas	Dados do Fabricante	Dados obtidos primeiro teste	Dados obtidos segundo teste
Tensão Nominal	127,0 V	118,8 V	118,9 V
Corrente Nominal	10,0 A	8,2 A	8,2 A
Potência Nominal	1200 W	970 W	970 W
Capacidade Nominal	12,0 L	12,0 L	12,0 L
Volume de água no recipiente da resistência	150 ml	150 ml	150 ml
Início de aquecimento Temperatura	-	24,0°C	24,0°C
Início de aquecimento Pressão	-	0,2 kgf/cm ²	0,2 kgf/cm ²
Tempo gasto para aquecer	-	29 min	24 min
Início esterilização Temperatura	-	127°C	124,2°C
Início esterilização Pressão	-	1,5 kgf/cm ²	1,3 kgf/cm ²
Tempo gasto para esterilização	-	16 minutos	16 minutos
Tempo gasto total	-	45 minutos	40 minutos

Fonte 1 - Autoria própria (2018)

Para calcular a eficiência do sistema autoclave, primeiramente, determinou-se a massa a ser aquecida e a quantidade de energia necessária para atingir o ponto de esterilização. A massa de ar a ser aquecida foi determinada utilizando a equação 4.1, o cálculo da quantidade de calor pela equação 4.2, o cálculo de potência pela equação 4.3 e a eficiência sendo calculada pela equação 4.4.

$$m = dV \quad (4.1)$$

Onde m é a massa, d é a densidade e V o volume.

$$m_{\text{ar}} = dV$$

$$m_{\text{ar}} = \frac{1,225\text{g}}{1} 12\text{l}$$

$$m_{\text{ar}} = 14,7\text{g}$$

A quantidade de calor foi determinada pela equação 4.2

$$Q = Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{L_v} + Q_{\text{ar}} \quad (4.2)$$

$$Q = m_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{H}_2\text{O}} \Delta t + mL_v + m_{\text{ar}} C_{\text{ar}} \Delta t$$

Onde Q é quantidade de calor, $m_{\text{H}_2\text{O}}$ massa da água (g), $C_{\text{H}_2\text{O}}$ o calor específico da água (cal/ g °C), $m_{\text{H}_2\text{O}}$ massa da água(g), L_v volume m_{ar} massa do ar(g), C_{ar} o calor específico do ar (cal/ g °C), e Δt variação de temperatura (°C).

Cálculo de energia, potência e eficiência referente ao primeiro dia.

$$Q = 150.1.(127 - 24) + 150.540 + 14,7.0,24.(127 - 24)$$

$$Q = 15450\text{cal} + 81000\text{cal} + 363,4\text{cal}$$

$$Q = 96813,4 \text{ cal}$$

Conversão de unidade (Cal para J);

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

$$96813,4 = 404680 \text{ Joule}$$

A potência foi determinada pela equação 4.3

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (4.3)$$

Onde P_s é a Potência de saída (KW), o E é Energia (kW) e Δt = Variação Tempo (s).

Cálculo da potência;

$$P_s = \frac{E}{\Delta t}$$

$$P_s = \frac{404680 \text{ J}}{45\text{m} \cdot 60\text{s}} = \frac{404680 \text{ J}}{2700\text{s}}$$

$$P_s = 150\text{W}$$

A eficiência foi determinada pela equação 4.4

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad (4.4)$$

Onde η é Eficiência (%), o P_s é Potência da saída (kW) e P_e = Potência de entrada(kW).

Calculando a eficiência;

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

$$\eta = \frac{150W}{970W} * 100 = 15,46\%$$

Cálculo de energia, potência e eficiência referente ao segundo dia;

$$Q = 150 * 1 * (124 - 24) + 150 * 540 + 14,7 * 0,24 * (124 - 24)$$

$$Q = 15000\text{cal} + 81000\text{cal} + 352,8\text{cal} = 96352,8 \text{ cal}$$

Conversão de unidade (Cal para Joule);

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

$$96352,8 = 402754,7 \text{ Joule}$$

Cálculo de Potência;

$$P_s = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$P_s = \frac{402754,7 \text{ J}}{40\text{m} * 60\text{s}}$$

$$P_s = \frac{404679,9 \text{ J}}{2400\text{s}}$$

$$P_s = 168W$$

Cálculo de Eficiência;

$$\eta = \frac{168W}{970W} * 100 = 17,32\%$$

A tabela 2 apresenta os resultados sobre eficiência obtida nos dois dias.

Tabela 2 - Dados de eficiência da autoclave

Grandezas	Dados do Fabricante	Dados obtidos primeiro teste	Dados obtidos segundo teste
Início de aquecimento	30 minutos	29 minutos	24 minutos
Temperatura			
Início de aquecimento	-	24,0°C	24,0°C
Pressão			
Tempo gasto para aquecer	-	0,2 kgf/cm ²	0,2 kgf/cm ²
Início de Esterilização	-	127°C	124,2°C
Temperatura			
Início de Esterilização	-	1,5 kgf/cm ²	1,3 kgf/cm ²
Pressão			
Tempo gasto para Esterilização	-	16 minutos	16 minutos
Tempo gasto total	-	45 minutos	40 minutos
Consumo	-	0,73 KWh	0,65 KWh
Rendimento	-	15,46 %	17,32 %

Fonte 2 - Autoria própria (2018)

Como se pode observar o rendimento proporcionado pela autoclave que utiliza resistência para aquecimento apresenta eficiência inferior a 18%.

4.2 Análises de funcionamento da autoclave com aquecimento por indução.

Na segunda etapa coleta ocorreu também em dois dias distintos e em períodos do dia diferente, seguindo os mesmos procedimentos utilizados durante a

primeira etapa. A tabela 3 apresenta os dados referentes à coleta realizada nos dois dias, porém agora se substituiu alguns dados que eram fornecidos pelo fabricante por outros determinados, após a substituição do mecanismo aquecedor.

Tabela 3 - Dados coletados do protótipo

Grandezas	Dados do protótipo	Dados obtidos primeiro teste	Dados obtidos segundo teste
Tensão Nominal	127,0 V	117,9 V	117,9 V
Corrente Nominal	10,0 A	6,7 A	6,7 A
Potência Nominal	800 W	790 W	790 W
Capacidade Nominal	12,0 L	12,0 L	12,0 L
Volume de água no recipiente da resistência	150 ml	150 ml	150 ml
Início de aquecimento Temperatura	-	26,0°C	23,0°C
Início de aquecimento Pressão	-	0,2 kgf/cm ²	0,2 kgf/cm ²
Tempo gasto para aquecer	-	16 min	15 min
Início esterilização Temperatura	-	129°C	130°C
Início esterilização Pressão	-	1,5 kgf/cm ²	1,5 kgf/cm ²
Tempo gasto para esterilização	-	16 min	16 min
Tempo gasto total		32 min	31 min

Fonte 3 - Autoria própria (2018)

Cálculo de energia, potência e eficiência referente ao primeiro dia;

$$Q = 150 * 1 * (129 - 26) + 150 * 540 + 14,7 * 0,24 * (129 - 26)$$

$$Q = 15450\text{cal} + 81000\text{cal} + 363,4\text{cal}$$

$$Q = 96813,4 \text{ cal}$$

Conversão de unidade (Cal para Joule);

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

$$96813,4 = 404680 \text{ Joule}$$

Cálculo de Potência;

$$P_s = \frac{404679,9 \text{ J}}{32\text{m} * 60\text{s}} = \frac{404679,9 \text{ J}}{1920\text{s}} = 210,8\text{W}$$

Cálculo de eficiência;

$$\eta = \frac{210,8\text{W}}{800\text{W}} * 100 = 26,35\%$$

Cálculo de energia, potência e eficiência referente ao segundo dia;

$$Q = 150 * 1 * (130 - 23) + 150 * 540 + 14,7 * 0,24 * (130 - 23)$$

$$Q = 16050\text{cal} + 81000\text{cal} + 377,5\text{cal} = 97427,5 \text{ cal}$$

Conversão de unidade (Cal para Joule);

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

$$97427,5 = 407247 \text{ Joule}$$

Cálculo de potência;

$$P_s = \frac{407247 \text{ J}}{31\text{min} * 60\text{s}}$$

$$P_s = \frac{407247 \text{ J}}{1860\text{s}}$$

$$P_s = 219\text{W}$$

Cálculo de Eficiência;

$$\eta = \frac{219W}{800W} * 100 = 27,38\%$$

A tabela 4 apresenta os resultados sobre eficiência obtida nos dois dias.

Tabela 4 – Dados de eficiência do protótipo

Grandezas	Dados obtidos primeiro teste	Dados obtidos segundo teste
Início de aquecimento Temperatura	26°C	23°C
Início de aquecimento Pressão	0,2 kgf/cm ²	0,2 kgf/cm ²
Tempo gasto para aquecer	16 minutos	15 minutos
Início de Esterilização Temperatura	129°C	130°C
Início de Esterilização Pressão	1,5 kgf/cm ²	1,5 kgf/cm ²
Tempo gasto para Esterilização	16 minutos	16 minutos
Tempo gasto total	32 minutos	31 minutos
Rendimento	26,35%	27,38%
Consumo de energia	0,43 KWh	0,41 KWh

Fonte 4 - Autoria própria (2018)

Como se pode observar o rendimento proporcionado pelo protótipo que utiliza indutância para aquecimento apresenta eficiência superior a 26%.

4.3 Análises do rendimento

Comparando os resultados obtidos nos dois ensaios, quanto ao rendimento e consumo de energia tabela 5.

Tabela 5 – Rendimento e Consumo de Energia

Ensaio	Tempo	Rendimento	Consumo de energia
Autoclave	42,5 minutos	16,4%	0,69KWh
Protótipo	31,5 minutos	26,9%	0,42KWh

Fonte 5 - Autoria própria (2018)

Constata-se que diante de tais resultados, que o aquecimento por indução utilizado pelo protótipo apresentou-se mais eficiente na conversão de energia elétrica em energia térmica necessária para o processo de esterilização. Também é possível notar que o aquecedor indutivo faz que o sistema atinja o ponto de trabalho em menor tempo se comparado ao sistema com resistor, além de apresentar um consumo de energia menor.

5 CONCLUSÃO

A partir dos cálculos de eficiência foi possível concluir que o sistema de aquecimento por resistência apresenta eficiência inferior em comparação ao sistema de aquecimento por indução. Sendo que a eficiência média calculada para o sistema de aquecimento por resistor foi de 16,4%, ao passo que a eficiência média calculada pelo sistema de aquecimento por indução foi de 26,9%.

Em relação ao tempo necessário para iniciar o processo de esterilização foi possível concluir que, o sistema autoclave aquecido por resistência necessita de maior tempo comparado com o sistema de aquecimento por indução.

O fato de que o sistema autoclave aquecido por indução apresenta melhor eficiência e necessita de menor tempo para atingir a temperatura de trabalho, gera um consumo menor de energia elétrica. Logo a substituição do sistema de aquecimento por resistência pelo sistema de aquecimento por indução pode se apresentar como um mecanismo viável de economia e eficiência de trabalho.

REFERÊNCIAS

AMBREL – Precision Induction Heating. *Sobre o aquecimento por indução de bobinas de indução*. Disponível em: <www.ambrell.com/pdf/411-0168-18.pdf>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.

ARTILHARIA DIGITAL. 2018. Disponível em: <<http://www.artilhariadigital.com/2016/04/EasyEDA-Plataforma-gratuita-de-simulacao-de-circuitos-e-Design-de-PCB.html>>. Acesso em 23 de outubro de 2018.

ASCARI, R. A. et al. Fluxo de materiais odonto-médico-hospitalares durante o seu processamento em unidades básicas de saúde. *Cidadania em Ação: Revista de Extensão e Cultura*, v. 6, n. 1, p. 4-16, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/cidadaniaemacao/article/view/2486/pdf_10>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

ASSUMPÇÃO, C. Princípios básicos de esterilização a vapor. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 26, n. 1/2, p. 67-78, 1973. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/reben/v26n1-2/0034-7167-reben-26-02-0067.pdf>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação dos institutos de pesquisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Dispõe sobre requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde e dá outras providências. Resolução - RDC n. 15, de 15 de março, de 2012. Disponível: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0015_15_03_2012.html>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação dos institutos de pesquisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Aprova Norma Técnica que estabelece condições para instalação e funcionamento de estabelecimentos de assistência odontológica, e dá providências correlatas. Resolução SS-15, de 18 de janeiro de 1999. Disponível: <<http://www.forp.usp.br/restauradora/etica/sanitaria/99re15/99Re15.html>>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

CURTINAZ M. L. *Estudo de Confiabilidade e Assertividade na Inspeção*. 2012. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/62044>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

E-FÍSICA. Ensino de física online (2018). Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo_magnetico/histerese/>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

FREIBERGER, M. F. *Opinião dos pacientes cirúrgicos e conhecimento dos trabalhadores em centro de material e esterilização em relação aos artigos médico-hospitalares esterilizados*. 2006. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/33535927.pdf>>. Acesso em 18 outubro de 2018.

GORDON, R. *A assustadora historia da medicina*. Rio de Janeiro: [s.n], 1993.

GROVER, F.W. (1946), *Inductance calculations*, Van Nostrand: New York.

JORGE, A. O. C. *Princípios de biossegurança em odontologia*. Revista de Biociência de Taubaté, v.8, n.1, p.7-17, p 2002. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/60/38>>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

LACERDA, R.; EGRY, E. Y. As infecções hospitalares e sua relação com o desenvolvimento da assistência hospitalar: reflexões para análise de suas práticas atuais de controle. *Revista Latino-americana de Enfermagem*, Ribeirão Preto, v. 5, n. 4, p. 13-23, 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rlae/v5n4/v5n4a03>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

LORO, G. S. *Sistema de aquecimento de água por indução Eletromagnética*. 2008. 77p. Monografia (Graduação em Engenharia Eletricista), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2008.

LOURENÇO, B, J. *Modelo de Ising Antiferromagnético em um Campo externo: Simulação por Amostragem Entrópica*. 2011. 77p. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8MMK4P>>. Acesso em 25 de outubro de 2018.

LUQUETA, G. R. *Procedimentos e técnicas de esterilização de instrumentos cirúrgicos*. *Revista Controle de Contaminação*, n. 118, p. 20-25, 2009. Disponível em: <http://gerson.orgfree.com/index_arquivos/instrumentos_cirurgicos.pdf> Acesso em 24 de outubro de 2018.

MINIPA ET-4055. Manual de Instrução. Alicata Wattímetro (2018). Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-4055-1101-BR.pdf>>. Acesso em 23 de outubro de 2018.

MORIYA T.; MÓDENA, J. L. P. Assepsia e antissepsia: técnicas de esterilização, In: *Simpósio Fundamentos em clínica cirúrgica*, 41, 3, 2008, Ribeirão Preto. Anais... Medicina, 2008. p. 265-73. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/272/273>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

NETO, F. B. *Eficiência energética no aquecimento doméstico de água para banho: Estudo comparativo entre o aquecimento de água através de elemento resistivo e indução eletromagnética*. 2013. 77p. Monografia (Especialista em Eficiência Energética). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <paginapessoal.utfpr.edu.br/.../QUALIDADE%20DE%20ENERGIA/Aquecimento%20I...>. Acesso em: 28 de outubro de 2018.

NIEHEUS, R. C. Autoclaves verticais: uma proposta de sistema para garantia do processo de esterilização. 2004. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87240/210786.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 de outubro de 2018.

PICHORIM, S. F. Estudo de bobinas para sensores e telemetria. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *Pesquisa, Estudo e Revisão*. Curitiba. 2011. Disponível em: <paginapessoal.utfpr.edu.br/pichorim/.../Estudo_Bobinas_Telemetria_Sensor.pdf/at.../fi...>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

RIBEIRO, G, A, P. As Propriedades Magnéticas da Matéria: Um Primeiro Contato, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, p. 299-305, 2000. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_299.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

SOUZA R. D. Balança de Curie e correntes de Foucault. 2005, (Apostila), disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2005/RafaelID-Mansanares_RF1.pdf>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

TEIXEIRA, A. S. *Principais métodos de esterilização de artigos médicos odonto hospitalares*. 2011. 37p. Monografia (Graduação em Enfermagem). Faculdade de

Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes, 2011. Disponível em:
<<http://repositorio.faema.edu.br:8000/jspui/bitstream/123456789/2030/1/TEIXEIRA%2c%20A.%20S.%20-%20PRINCIPAIS%20M%C3%89TODOS%20DE%20ESTERILIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20ARTIGOS%20M%C3%89DICOS%20ODONTO%20HOSPITALARES.pdf>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

ZINN, S.; SEMIATIN, S. L. *Elements of Induction Heating*. ASM International.1988.

APÊNDICE A FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Eu, Kalyta Luana de Sousa Barbosa,
(função/cargo), RG

Nº M-4601521, CPF Nº 347516106-00,

AUTORIZO Sanderson Roberto Ferreira Ventura, RG Nº 14.598.478, CPF Nº 075.172.526-90, aluno do curso do décimo período de Engenharia Elétrica, a realizar o levantamento de dados na autoclave por meio de medição, para a realização da Pesquisa intitulada: Sistema de aquecimento por indução para autoclaves, que tem por objetivo primário promover a substituição do sistema de aquecimento tradicional por outro que utilize aquecimento por indução eletromagnética, no intuito de verificar as variações no parâmetro de operação.

Os pesquisadores acima qualificados se comprometem a: Assegurarem a privacidade das pessoas citadas nos documentos institucionais e/ou contatadas diretamente, de modo a proteger suas imagens, bem como garantem que não utilizarão as informações coletadas em prejuízo dessas pessoas e/ou da instituição, respeitando deste modo as Diretrizes Éticas da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, nos termos estabelecidos na Resolução CNS Nº 466/2012, e obedecendo as disposições legais estabelecidas na Constituição Federal Brasileira, artigo 5º, incisos X e XIV e no Novo Código Civil, artigo 20.

Piedade de Caratinga, 10 de novembro de 2018

Kalyta Luana de Sousa Barbosa