

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

MIRELLA CRISTINA SIONEK DE CARVALHO

AUTOCLAVE COM FONTE ALTERNATIVA DE AQUECIMENTO

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2019

MIRELLA CRISTINA SIONEK DE CARVALHO

AUTOCLAVE COM FONTE ALTERNATIVA DE AQUECIMENTO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Engenharia Biomédica, Área de concentração de “Engenharia Biomédica”, linha de Pesquisa “Engenharia Biomédica e Instrumentação”, projeto de pesquisa “Instrumentos e Sensores de Aplicação Biomédica”.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr

Coorientador: Prof. Dr. Bertoldo Schneider Jr.

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Carvalho, Mirella Cristina Sionek de

Autoclave com fonte alternativa de aquecimento [recurso eletrônico] / Mirella Cristina Sionek de Carvalho.-- 2019.

1 arquivo texto (39 f.): PDF; 968 KB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 19 dez. 2019)

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, Curitiba, 2019

Bibliografia: f. 38-39.

1. Engenharia biomédica - Dissertações. 2. Autoclaves. 3. Esterilização. 4. Instrumentos e aparelhos odontológicos - Esterilização. 5. Pressão de vapor. 6. Vapor - Aplicações práticas. 7. Hospitais - Mobiliário e equipamento - Esterilização. I. Schneider Júnior, Bertoldo. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 610.28

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº134

A Dissertação de Mestrado intitulada “Autoclave com fonte alternativa de aquecimento”, defendida em sessão pública pela candidata MIRELLA CRISTINA SIONEK DE CARVALHO, no dia 26 de novembro de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração Engenharia Biomédica, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bertoldo Schneider Jr. - UTFPR

Profa. Dra. Beatriz Luci Fernandes – PUC-PR

Prof. Dr. João Antônio Palma Setti - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 26 de novembro de 2019.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

RESUMO

Este estudo apresenta um dispositivo de autoclavagem com uma fonte alternativa de calor. O dispositivo para aplicação na área de esterilização através de vapor saturado tem o objetivo de atender áreas sem acesso à energia elétrica. Um protótipo de autoclave por vapor saturado foi construído a partir de uma panela de pressão com alguns dispositivos adicionais com finalidade de monitoramento. Os testes foram feitos aquecendo-o com a chama simples de fogão à gás. A eficácia da esterilização foi determinada por meio de indicadores biológicos e integradores químicos. Todos os testes de funcionalidade seguiram as recomendações das normas aplicáveis para requisitos de esterilizadores, ABNT NBR 11817:2001 e os requisitos em EN 13060:2004. A temperatura de esterilização utilizada foi de 121 °C por um período de 30 minutos. As cargas utilizadas foram de instrumentos odontológicos metálicos. Foram realizados testes para determinar a melhor forma de secagem das cargas e ciclos para avaliação do processo de esterilização, incluindo a secagem do material. O resultado dos indicadores biológicos e integradores químicos indica que o sistema é plenamente eficaz para esterilização de materiais através de vapor saturado. E uma vez que o dispositivo regula sua pressão e temperatura interna, qualquer fonte com calor suficiente para manter a ebulição pelo tempo necessário pode ser usada.

Palavras-chave: Esterilização. Vapor saturado. Autoclave. Fonte de calor alternativa.

ABSTRACT

This study presents a sterilization device with an alternative heat source. The device for application in the saturated steam sterilization area is intended to serve areas without access to electricity. A saturated steam autoclave prototype was constructed using a pressure cooker with some additional monitoring devices. The tests were done by heating it using a flame of a gas stove. The effectiveness of sterilization was determined by biological indicators and chemical integrators. All functionality tests followed the recommendations of applicable standards for sterilizers requirements, ABNT NBR 11817: 2001 and EN 13060: 2004. The sterilization temperature used was 121 ° C for a period of 30 minutes. The loads used were of metallic dental instruments. Tests were performed to determine the best way of drying the loads and cycles to evaluate the sterilization process, including drying the material. The result of biological indicators and chemical integrators indicates that the system is fully effective for sterilization of materials through saturated steam. And since the device regulates its internal pressure and temperature, any source with sufficient heat to maintain boiling for the necessary time can be used.

Key-words: Sterilization. Saturated Steam. Autoclave. Alternative heating source.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----------|
| Figura 1 – Autoclave vertical..... | 14 |
| Figura 2 – Autoclave horizontal..... | 14 |
| Figura 3 - Ciclo de esterilização por gravidade..... | 17 |
| Figura 4 - Esquema da panela em corte..... | 21 |
| Figura 5 – Dimensões da bandeja..... | 21 |
| Figura 6 – Foto do protótipo desenvolvido. (a) Concepção externa. (b) Bandeja posicionada no interior da panela | 22 |
| Figura 7 – Indicadores biológicos incubados na incubadora | 23 |
| Figura 8 – a) Indicador biológico esterilizado com resultado Negativo; b) Indicador biológico de controle com resultado positivo..... | 23 |
| Figura 9 – Integrador químico classe 5 com faixa de aceitação atingida | 24 |
| Figura 10 – Carga embalada em papel grau cirúrgico | 25 |
| Figura 11 – Cargas posicionadas no separador | 28 |
| Figura 12 – Resultado dos indicadores biológicos e integradores químicos | 33 |
| Figura 13 - Foto do protótipo com a indicação da temperatura interna durante o ciclo | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1 – Temperaturas e tempos de esterilização à vapor de acordo com a norma EN 13060:2004 | 16 |
| Tabela 2 – Propriedades água saturada..... | 26 |
| Tabela 3 – Resultado do Teste 1 para determinação da quantidade de água | 29 |
| Tabela 4 – Resultado dos testes 2 e 3 da determinação da quantidade de água | 30 |
| Tabela 5 – Resultado dos testes para definição da secagem | 31 |
| Tabela 6 – Resultado dos testes do protótipo..... | 32 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 10 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 NORMAS APLICADAS..... | 13 |
| 2.2 AUTOCLAVE DE ESTERILIZAÇÃO POR CALOR ÚMIDO..... | 13 |
| 2.3 PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO POR CALOR ÚMIDO..... | 15 |
| 2.2 PARÂMETROS IMPORTANTES DO PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO..... | 16 |
| 2.3 FASES DO CICLO DE ESTERILIZAÇÃO..... | 16 |
| 2.4 MONITORAMENTO E CONTROLE DE CICLO..... | 17 |
| 2.4.1 Indicador biológico..... | 17 |
| 2.4.2 Indicadores químicos..... | 18 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 3.2 CONTROLE DO CICLO..... | 22 |
| 3.3 FONTE DE CALOR..... | 24 |
| 3.4 CARGAS..... | 24 |
| 3.5 METODOLOGIA UTILIZADA..... | 25 |
| 3.5.1 Determinação da quantidade de água..... | 26 |
| 3.5.2 Comprovação do processo de esterilização e parâmetros de ciclo..... | 27 |
| 3.5.3 Teste de secagem..... | 28 |
| 4 RESULTADOS E TESTES | 29 |
| 4.1 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA..... | 29 |
| 4.2 TESTES PARA VALIDAÇÃO DA SECAGEM..... | 30 |
| 4.3 RESULTADO DOS TESTES DO PROTÓTIPO..... | 31 |
| 5 DISCUSSÕES | 34 |
| 6 CONCLUSÕES | 36 |
| 7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

- **Objetivo geral**

Desenvolvimento de uma autoclave portátil de esterilização a vapor saturado com aquecimento utilizando uma chama como fonte térmica.

- **Objetivo específico**

Os objetivos específicos são:

1. Desenvolver uma autoclave a partir de uma panela de pressão.
2. Validar o processo de esterilização por meio dos controles de ciclos padrões.
3. Utilizar a chama de um fogão à gás como fonte de calor.
4. Realizar a esterilização a 121 °C com vapor úmido.
5. Garantir que a carga utilizada esteja seca ao final do processo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O acesso à energia elétrica ainda não é uma realidade de toda a população brasileira e nem mundial. No mundo existem cerca de 1,3 bilhões de pessoas sem o acesso à energia elétrica e no Brasil esse número chega a cerca de 1 milhão de brasileiros, conforme dados levantados em 2017 (LEONARDO ENERGY, 2018).

As autoclaves (equipamentos de esterilização baseados em alta temperatura e pressão, com ou sem vapor de água) dependem da energia elétrica para o seu funcionamento. A falta da energia elétrica em regiões mais afastadas, e de difícil acesso, dificulta a utilização desses equipamentos por profissionais de saúde, impossibilitando a realização de esterilização de instrumentos cirúrgicos ou odontológicos.

A falta do processo de esterilização nos instrumentos médicos, odontológicos e de estética (quando o instrumento entra em contato com sangue ou secreção) acarreta em sérios perigos à saúde, pois podem resultar em contaminação de outros

pacientes ou clientes (no caso de serviços de estética) (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA ANVISA, 2010, p.13).

Dispositivos médicos que tenham contato com tecidos ou fluídos corporais são considerados itens críticos e devem ser esterilizados para prevenir a transmissão de doenças (GUIDELINE FOR DISINFECTION AND STERILIZATION IN HEALTHCARE FACILITIES, 2008, p.58).

Um dos métodos mais utilizados para esterilização de instrumentos é a esterilização por vapor úmido e consiste em um processo de um agente esterilizante simples (o vapor de água), econômico e seguro em relação a outros processos de esterilização (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA ANVISA, 2010).

A utilização de uma panela de pressão como uma autoclave já foi fonte de alguns estudos que obtiveram resultados positivos.

O estudo realizado por Kamiyama (1970) adaptou uma panela de pressão inserindo um suporte para dispor as cargas em cima, com a finalidade de não ficarem em contato com a água, durante o processo de esterilização. E através de testes determinou o tempo de ciclo e secagem ideais para materiais metálicos e porosos. Não foi realizada nenhuma alteração na estrutura da panela e a fonte de calor utilizada foi a chama de um fogão. As experiências foram realizadas para panelas de 3, 4 e 4,5 litros obtendo-se resultados positivos no processo de esterilização e secagem. Neste estudo, não foi instalado nenhum sistema de indicação de temperatura ou pressão na panela. Também fica a dúvida de como foi possível neste trabalho a secagem com a tampa fechada, procedimento necessário para evitar recontaminação.

Estudos mais recentes com a aplicação da panela de pressão e aquecimento por uma chama foram realizados por Tao et. al. (2012), com o desenvolvimento de uma autoclave de baixo custo. Os equipamentos desenvolvidos foram testados no Nepal para avaliar a utilização e eficácia deles. No modelo foi inserido um sensor na panela e utilizados avisos sonoros para melhor interpretação do uso. Os resultados obtidos com a medição da temperatura e dos indicadores biológicos mostrou que o ciclo de esterilização foi atingido.

O conceito de autoclaves independentes da energia elétrica também é estudado por Neumann (2013) (através de um modelo que utiliza a energia solar como fonte de energia). A energia solar é captada em um coletor e a água é

aquecida no gerador de vapor que é injetado dentro da câmara de esterilização. Como utiliza o mesmo princípio de funcionamento das autoclaves de bancada, possui uma remoção de ar mais eficaz comparada aos modelos de panela de pressão com aquecimento por chama.

Este trabalho busca desenvolver um protótipo de uma autoclave portátil para esterilização através do vapor de água, por meio da adaptação de uma panela de pressão, que possa ser aquecida pela chama de um fogão, para que possa ser levada e utilizada nos lugares e regiões onde não há o acesso à energia elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada uma breve descrição das normas aplicadas a esterilizadores, das autoclaves horizontais e verticais, do processo de esterilização por calor úmido, os parâmetros determinantes e métodos de verificação de eficácia do equipamento e do processo de esterilização.

2.1 NORMAS APLICADAS

A aplicação de reprocessamento de materiais que entram em contato com sangue ou fluídos corporais em hospitais e clínicas, resulta na utilização constante de equipamentos de esterilização para assegurar que os materiais estejam livres de contaminação.

As autoclaves são equipamentos utilizados para esterilizar materiais e devem seguir critérios de projeto e funcionamento para garantir que seja realizada a esterilização de forma eficaz.

As normas que definem os requisitos dos esterilizadores são a ABNT NBR 11816:2003 – Esterilização – Esterilizadores a vapor com vácuo, para produtos e saúde, aplicada as autoclaves grandes (aproximadamente acima de 100 litros). A norma aplicada às autoclaves pequenas é a ABNT NBR 11817:2001 Esterilização - Esterilizador a vapor - Esterilizadores pequenos – Requisitos e EN 13060:2004 – Small Steam Sterilizers. O protótipo desenvolvido neste trabalho se enquadra como um esterilizador pequeno.

2.2 AUTOCLAVE DE ESTERILIZAÇÃO POR CALOR ÚMIDO

As autoclaves são equipamentos que esterilizam instrumentos e outros artigos por meio do calor úmido sob pressão. São constituídas basicamente de uma câmara, onde é colocado o material para esterilizar, dispositivos de segurança, controle e monitoramento de pressão ou temperatura. Podem ser horizontais ou verticais e com remoção de ar dinâmica ou gravitacional.

Nas autoclaves verticais, a câmara do equipamento se situa na posição vertical e são equipamentos empregados principalmente em laboratórios. Na Figura 1 é apresentada a foto de uma autoclave vertical.

Figura 1 – Autoclave vertical



Fonte: Stermax (2018)

Nas autoclaves horizontais, a câmara do equipamento se situa na posição horizontal e pode possuir uma ou duas portas. Podem ser autoclaves de bancada, empregadas em clínicas e na área estética, ou autoclaves grandes utilizadas em hospitais. Na Figura 2 é apresentada a foto de uma autoclave horizontal de bancada.

Figura 2 – Autoclave horizontal



Fonte: Stermax (2018)

Nas autoclaves com remoção do vapor por gravidade, o ar sai da câmara de esterilização por gravidade. Esse princípio de funcionamento deve-se ao fato do ar frio ser mais denso e assim sai pelo dreno, localizado na parte inferior do equipamento, quando o vapor é admitido. Neste modelo de equipamento a remoção do ar é menos eficaz comparada a outros tipos de remoção de ar, pois pode ocorrer a permanência de ar residual na câmara.

Nas autoclaves com remoção dinâmica de ar, há a remoção forçada de ar por meio de pulsos de vácuo no início do ciclo de esterilização, o que torna a saída do ar do interior da câmara mais efetiva diminuindo o risco de ar residual.

2.3 PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO POR CALOR ÚMIDO

O mecanismo de ação da esterilização por vapor úmido é a combinação de quatro fatores: tempo, temperatura, pressão e umidade. A ação da temperatura com a umidade provoca a coagulação e desnaturação irreversível das proteínas estruturais dos microrganismos, ou seja, a proteína perde a capacidade de exercer as suas funções normais, e como resultado, ocorre a sua morte (GUIDELINE FOR DISINFECTION AND STERILIZATION IN HEALTHCARE FACILITIES, 2018).

A presença de água favorece a coagulação das proteínas, e com isso a esterilização por calor úmido é mais eficiente que a esterilização por calor seco, pois ocorre em tempos e temperaturas inferiores comparando-se com o processo à calor seco (UCHIKAWA, 2011).

A esterilização por calor úmido, comparada ao calor seco, é mais eficiente porque na mudança de fase da água para vapor exige muito mais energia, que fica distribuída no ambiente úmido. Esta parcela, devida ao calor latente, não existe quando o calor é seco. Esta diferença é que torna o vapor úmido mais eficiente que o seco. Com maior quantidade de energia térmica disponível, o tempo de exposição de um material ao calor úmido pode ser menor do que se exposto ao calor seco.

Um artigo é definido como estéril quando não há no mesmo uma concentração suficiente de microrganismos viáveis (microorganismos com capacidade de se reproduzir) (INTERNATIONAL STANDARD, 2000, p.4).

- **Vantagens da esterilização por calor úmido**
- Aquecimento rápido e boa penetração nas cargas de tecido;
- Destruição das bactérias (esporos) em um intervalo de tempo menor, como descrito anteriormente;
- O vapor não deixa resíduos tóxicos;
- Processo mais econômico quando comparado aos processos de esterilização por óxido de etileno e radiação ionizante.

- **Limitações da esterilização por calor úmido**
- A eliminação incompleta do ar residual no interior da câmara afeta a esterilização, pois o ar atua como isolante térmico devido a sua menor condutividade de calor em relação à água. As regiões no interior da câmara com ar podem não atingir a temperatura necessária e assim comprometer a esterilização do material (ASSUMPÇÃO, 1973, p.72-73).

2.2 PARÂMETROS IMPORTANTES DO PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO

Os quatro parâmetros determinantes para o processo de esterilização são: vapor, temperatura, umidade e tempo.

Na tabela abaixo são apresentadas as três temperaturas e tempos correspondentes padronizados pela European Standard 13060 (2004), referência para pequenos esterilizadores à vapor, que correspondem ao tempo mínimo necessário para que ocorra a morte dos microrganismos (bactérias esporuladas, fungos e vírus).

Tabela 1 – Temperaturas e tempos de esterilização à vapor de acordo com a norma EN 13060:2004

| Temperatura de Esterilização (°C) | Tempo mínimo de ciclo (min) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 121 | 15 |
| 126 | 10 |
| 134 | 3 |

Fonte: EN 13060 (2004)

2.3 FASES DO CICLO DE ESTERILIZAÇÃO

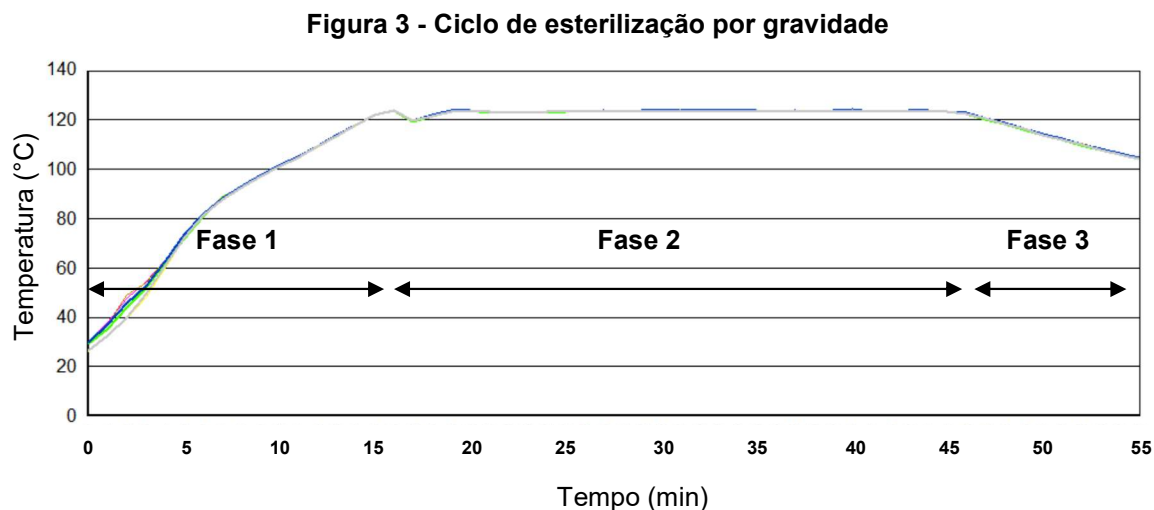
O ciclo de esterilização por vapor saturado consiste na exposição do material à umidade na temperatura de esterilização por um período definido de tempo. Pode-se dividir o ciclo basicamente em três fases:

Fase 1. Pré-condicionamento: Nesta fase ocorre a remoção do ar do interior da câmara (pode ser por gravidade ou com pulsos de vácuo), e início da umidificação do material.

Fase 2. Exposição: A temperatura é elevada até a temperatura de esterilização e mantida pelo tempo definido de esterilização.

Fase 3. Pós-condicionamento: Resfriamento e secagem da carga com retorno à pressão atmosférica (DION e PARKER, 2013, p.3).

Abaixo segue a Figura 3 com um gráfico correspondente a um ciclo de esterilização por gravidade:



Fonte: Autoria própria

Nos ciclos por gravidade, o ar é removido da câmara por gravidade sem a utilização de processos mecânicos, como a utilização de vácuo.

2.4 MONITORAMENTO E CONTROLE DE CICLO

Para as autoclaves portáteis, é possível monitorar se os parâmetros de ciclo foram atingidos por meio de indicadores mecânicos, químicos e biológicos. (GUIDELINE FOR DISINFECTION AND STERILIZATION IN HEALTHCARE FACILITIES, 2008, p. 59).

Abaixo serão descritos os dois tipos de controle de ciclo utilizados para a comprovação da eficácia dos ciclos executados pelo protótipo.

2.4.1 Indicador biológico

Os indicadores biológicos (obtidos a partir de culturas microbianas puras e não patogênicas) são utilizados para o controle e monitoração da esterilização. São constituídos por microrganismos viáveis com resistência a um processo de esterilização específico.

As ampolas de indicador biológico são basicamente constituídas por uma ampola de vidro contendo um meio de cultura e um disco de papel contendo esporos impregnados, que são armazenados dentro de uma ampola plástica flexível. Após o processo de esterilização, a ampola de vidro é quebrada e o meio de cultura entra em contato com o disco de papel contendo os esporos. Se os microorganismos estiverem vivos, irá ocorrer a mudança de coloração do meio de cultura, indicando que os mesmos estão vivos, ou continuará com a mesma coloração se ocorrer a morte dos microorganismos. Os indicadores biológicos também possuem uma fita contendo um indicador químico de processo para evidenciar se a ampola passou ou não pelo processo de esterilização.

Nas autoclaves à vapor, o bacilo utilizado na preparação dos indicadores biológicos é o *Bacillus Stearothermophilus* por ser um microorganismo que consegue manter a integridade da sua estrutura em altas temperaturas (KUMAR, 2001).

Esta resistência está ligada com a formação de esporos quando a bactéria está em condições desfavoráveis.

Para artigos que são reprocessados, é adequado utilizar uma população de 10^6 microorganismos nos processos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 17665-1:2010, 2010). A população de microorganismos é fornecida pelo fabricante do indicador.

2.4.2 Indicadores químicos

De acordo com a norma ISO 11140-1 (2005), os indicadores químicos são divididos em 6 classes:

- Classe 1: Indicador de processo – Tem como finalidade indicar que uma determinada carga foi processada, pois ocorre a alteração de cor com a exposição ao processo de esterilização.
- Classe 2 – Indicador de processos específicos – Empregados em testes específicos, como por exemplo, o teste de Bowie & Dick que serve para avaliar a eficácia da remoção de ar nos equipamentos com pré-vácuo.
- Classe 3 – Indicador de uma variável – Reage apenas com um parâmetro crítico do processo e indica se o parâmetro avaliado atingiu o valor estabelecido.

- Classe 4 – Indicador de múltiplas variáveis – Reage com dois ou mais parâmetros críticos do processo e indica se os parâmetros avaliados atingiram os valores determinados.
- Classe 5 – Indicador integrador – Reage com todos os parâmetros críticos do processo e indica se os parâmetros estabelecidos foram atingidos.
- Classe 6 – Indicador emulador ou simulador – Projetado para reagir com todas as variáveis críticas de ciclos específicos.

Para este trabalho foram utilizados os indicadores classe 1, que se encontram na aba do papel grau cirúrgico e na etiqueta do indicador biológico, com a finalidade de identificar os materiais processados. E os indicadores classe 5 que monitoram os parâmetros críticos do processo (tempo, temperatura e vapor) para indicar falhas em relação a penetração de calor no interior das cargas (AMERICAN NATIONAL STANDART. ANSI/AAMI/ISO 11140-1:2005, 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do protótipo e para a realização dos testes deste estudo.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para a câmara de esterilização foi utilizada uma panela de pressão de alumínio com capacidade de 7,5 litros e fechamento externo da marca Eirilar. A concepção será de uma autoclave vertical.

O pino da válvula de segurança da tampa da panela foi retirado e substituído por um prolongador. O prolongador foi fabricado com a mesma rosca do pino para ser fixado na tampa da panela com a porca perfurada da mesma. Na extremidade superior do prolongador foi rosqueado o pino da válvula para assentar a válvula de segurança.

A geração de vapor foi no interior da câmara por meio do aquecimento da mesma pela chama de um fogão.

A válvula de controle de pressão mantém a pressão interna mínima acima de 1,037 bar, a qual corresponde a temperatura de 121 °C estabelecida pela norma EN 13060 (2004) para pequenos esterilizadores.

O ciclo foi monitorado por um manômetro analógico da marca Famabrás com indicação de pressão de 0 a 3 bar e da temperatura equivalente à pressão indicada. O manômetro foi instalado no prolongador da tampa da panela em um furo roscado na lateral do prolongador, conforme Figura 6.

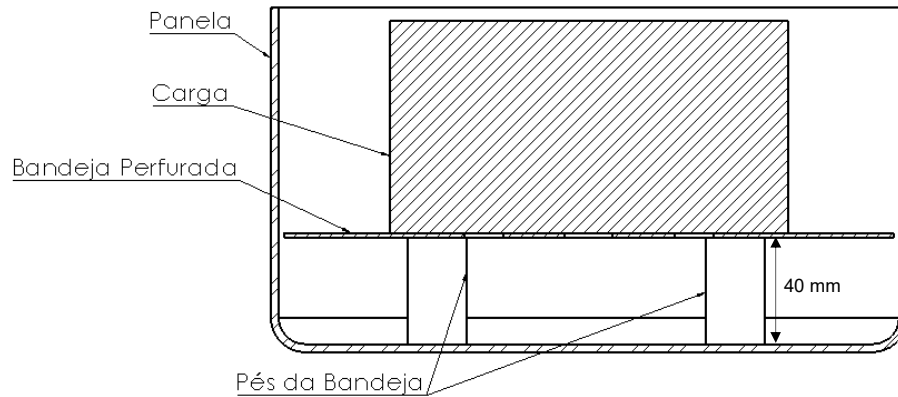
A temperatura será medida por meio de um sensor de temperatura PT100 Ω com 3 fios, simples, da marca Consistec, com tolerância de $\pm 0,5$ °C. O sensor foi inserido pela guarnição para medir a temperatura no interior da panela e conectado a um indicador da marca Novus para visualização da temperatura.

O tempo será medido com um timer digital da marca Herweg com indicação de minutos e segundos.

Para acomodar os materiais dentro da autoclave será utilizada uma bandeja móvel de alumínio com pés de 40 mm de altura para impedir que os materiais

fiquem em contato com a água. Na Figura 4 está representado o esquema da localização da bandeja e das cargas dentro da panela.

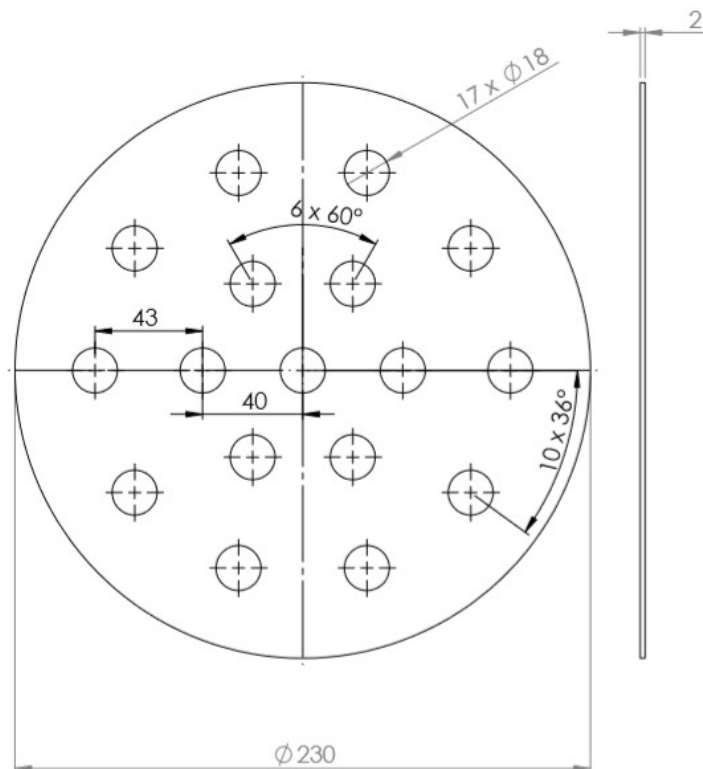
Figura 4 - Esquema da panela em corte



Fonte: Autoria Própria

A bandeja possui diâmetro de 230 mm e furos de 17 mm para permitir a circulação de vapor na carga interna, distribuídos de acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Dimensões da bandeja

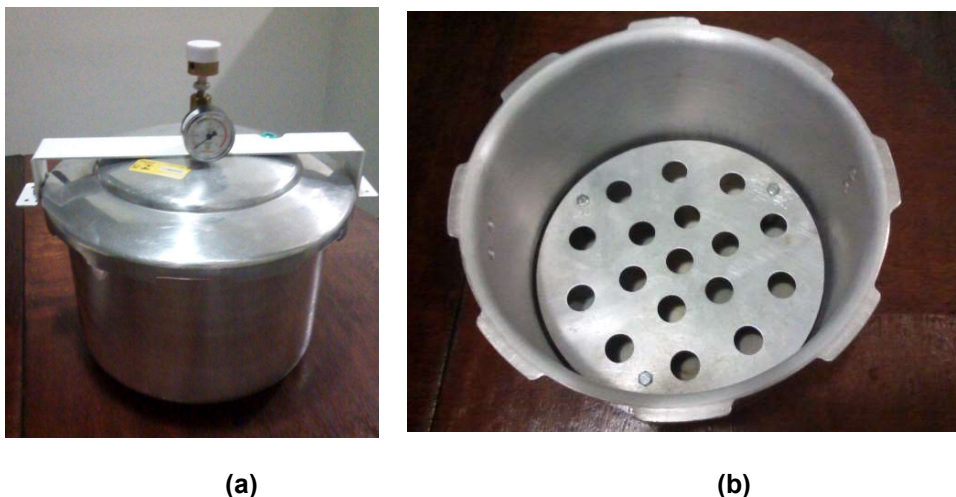


Fonte: Autoria própria

Na Figura 6 têm-se duas fotos do protótipo desenvolvido. Na Figura (a) o protótipo com a tampa fechada e na Figura (b) a bandeja posicionada dentro da panela.

Para as alças da tampa foi utilizado um perfil metálico pintado, fixado na tampa da panela, conforme ilustrado na Figura 6a.

Figura 6 – Foto do protótipo desenvolvido. (a) Concepção externa. (b) Bandeja posicionada no interior da panela



Fonte: Autoria própria

3.2 CONTROLE DO CICLO

Com o objetivo de comprovar a efetiva esterilização, foram utilizados indicadores biológicos da marca Clean Test que contêm uma população mínima de 10^6 esporos bacterianos resistentes ao calor, *Geobacillus Stearothermophilus* – ATCC 7953.

Após o ciclo de esterilização e secagem, a ampola interna do indicador biológico é quebrada e o mesmo é incubado por 24 horas a uma temperatura entre 55 °C – 60 °C. Juntamente com o indicador biológico testado foi incubado um indicador de controle (que não passou pelo processo de esterilização), com o objetivo de avaliar se a incubação durante as 24 horas ocorreu de forma adequada, pois se o indicador de controle não mudar de cor, houve falha na incubação e o ciclo não pode ser aprovado.

Na Figura 7 é apresentada a foto com os indicadores biológicos incubados na incubadora. Para os testes foi utilizada a incubadora da marca Stermax, com capacidade de incubar 4 indicadores ao mesmo tempo.

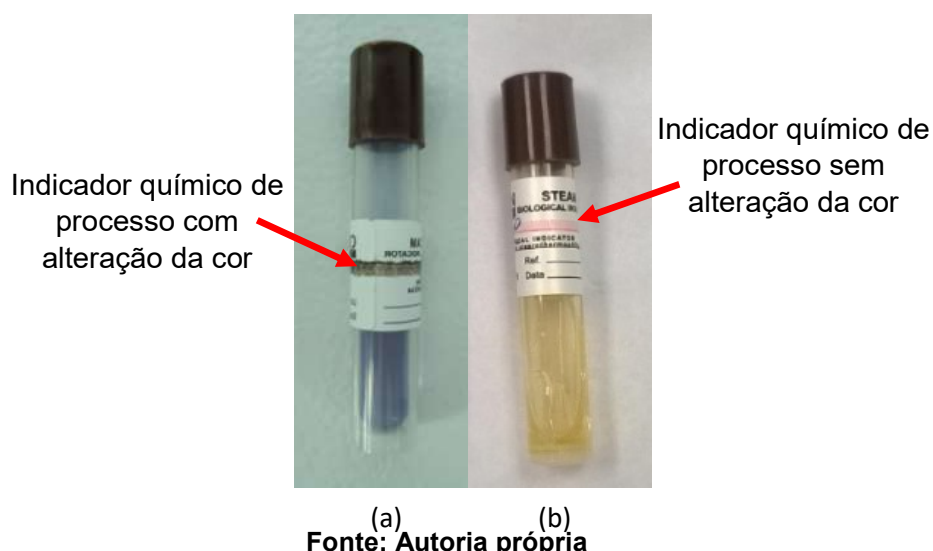
Figura 7 – Indicadores biológicos incubados na incubadora



Fonte: Autoria própria

O resultado do indicador biológico esterilizado deve ser negativo, ou seja, a coloração do material contido dentro do indicador biológico não deve mudar. A Figura 8 mostra o exemplo de um indicador biológico esterilizado ao lado do indicador de controle.

Figura 8 – a) Indicador biológico esterilizado com resultado Negativo; b) Indicador biológico de controle com resultado positivo



Fonte: Autoria própria

Para verificar se o ciclo atingiu os parâmetros de tempo, temperatura e umidade foram utilizados integradores químicos classe 5 para controle dos parâmetros críticos do processo.

O resultado do integrador químico deve ser a mudança de cor para preto da faixa indicada pelo fabricante, conforme Figura 9. Ao atingir a região de aceitável do rótulo, o integrador indica que durante o ciclo de esterilização a temperatura, o tempo e a umidade foram atingidos e mantidos durante o ciclo.

Figura 9 – Integrador químico classe 5 com faixa de aceitação atingida



Fonte: Autoria própria

3.3 FONTE DE CALOR

A geração de calor foi realizada com a utilização de um fogão a gás com regulagem da intensidade da chama. Durante o aquecimento da câmara foi utilizada chama alta e após atingir a temperatura de esterilização foi reduzida para uma chama baixa durante todo o processo, incluindo a secagem.

3.4 CARGAS

As cargas utilizadas nos ciclos foram de instrumentos odontológicos metálicos. Os instrumentos foram posicionados dentro da panela de acordo com o seu tamanho para não ficarem em contato com a parede da panela. As cargas foram embaladas em pacotes de papel grau cirúrgico com filme. O papel grau cirúrgico permite a penetração do vapor durante o processo de esterilização e é impermeável aos microorganismos, o qual protege a carga de recontaminação, ou seja, do contato com microorganismos viáveis (CENTRAL DE MATERIAL E ESTERILIZAÇÃO: MANUAL TÉCNICO, 2000, p.14).

Durante o processo de esterilização as cargas foram posicionadas em cima da bandeja em um separador de envelopes para permitir que fiquem na posição vertical e com espaço para circulação de vapor.

Na figura10 é apresentada a foto de uma carga embalada em grau cirúrgico.

Figura 10 – Carga embalada em papel grau cirúrgico



Fonte: Autoria própria

3.5 METODOLOGIA UTILIZADA

A eficácia dos ciclos foi comprovada por meio da utilização dos indicadores biológicos com população 10^6 e integradores químicos para comprovação do ciclo de esterilização na temperatura de 121 °C embalados em grau cirúrgico. O tempo de ciclo foi definido para 30 minutos a fim de garantir que a temperatura esteja estável por no mínimo 15 minutos no interior das cargas.

Se o resultado do indicador biológico for negativo e o integrador químico indicar que os parâmetros de ciclo foram atingidos, será comprovada a eficácia do ciclo.

A contagem do tempo de esterilização deve iniciar quando a temperatura de esterilização for atingida. Nesse momento, se o equipamento for aquecido por uma fonte de calor regulável, esta deverá ser reduzida para o mínimo adequado a fim de reduzir a velocidade com que a água no interior da câmara evapora. Além da chama do fogão a gás, é possível utilizar um fogão à lenha ou mesmo uma fogueira improvisada, desde que produzam o calor suficiente para se atingir a pressão necessária.

3.5.1 Determinação da quantidade de água

Foi realizado um teste de aquecimento com 100 ml de água até a temperatura de 121 °C para se determinar o tempo de aquecimento até essa temperatura, com o objetivo de se determinar a potência fornecida pela chama do fogão.

Com a determinação da potência foi calculada a quantidade de água necessária para realizar um ciclo de 30 min.

A quantidade de energia necessária para a vaporização da água é determinada pela equação (1).

$$Q = m \times L \quad (1)$$

Onde Q é a quantidade de energia para a mudança de fase em kJ, m a massa de água em kg e L o calor latente de evaporação em kJ/kg.

A quantidade de energia para a mudança de fase foi interpolada da Tabela A - 2 de Moran e Shapiro (2009). Na Tabela 2 seguem os dados utilizados para a determinação do valor da quantidade de energia: e interpolando para a temperatura de 121 °C é 2199,76 KJ/kg.

Tabela 2 – Propriedades água saturada

| Temperatura (°C) | Pressão Absoluta (bar) | Entalpia Evaporação (KJ/kg) |
|------------------|------------------------|-----------------------------|
| 90 | 0,7014 | 2283,2 |
| 95 | 0,8455 | 2270,2 |
| 100 | 1,014 | 2257,0 |
| 110 | 1,433 | 2230,2 |
| 120 | 1,985 | 2202,6 |
| 130 | 2,701 | 2174,2 |
| 140 | 3,613 | 2144,7 |
| 150 | 4,758 | 2114,3 |
| 160 | 6,178 | 2082,6 |
| 170 | 7,917 | 2049,5 |

Fonte: Adaptado de Moran (2009)

Para encontrar a potência real será utilizada a equação (2):

$$P = Q/\Delta t \quad (2)$$

Onde P é a potência em kW, Q a energia fornecida em kJ e Δt o tempo gasto em segundos.

Encontrando-se a potência real de aquecimento, foi possível estimar a quantidade de água para realizar o ciclo de 30 minutos.

Depois de calculada a quantidade de água, foi realizado um ciclo para verificação se a quantidade de água é suficiente para um processo de 30 minutos. Se a quantidade de água for suficiente serão realizados ciclos para avaliar se é possível reduzir ou não essa quantidade e no caso contrário, serão realizados ciclos para atingir a quantidade necessária aos 30 minutos.

3.5.2 Comprovação do processo de esterilização e parâmetros de ciclo

Para comprovação da eficácia de esterilização, foram realizados três testes com um indicador biológico embalado em grau cirúrgico posicionado no interior da panela juntamente com as outras cargas.

A fim de avaliar se os parâmetros de temperatura, tempo e umidade foram atingidos de forma adequada foram colocados os integradores classe 5 nos três ciclos com os indicadores biológicos.

A temperatura no interior da panela será medida através do sensor PT100 Ω inserido em seu interior e o tempo será monitorado em 30 minutos.

O protótipo estará aprovado se os seguintes critérios forem atingidos conjuntamente:

- Nos três ciclos realizados os três indicadores biológicos apresentarem resultado negativo, pois indica que o material foi esterilizado;
- Os integradores químicos atingirem a faixa de aceitável, o qual significa que o protótipo está atingindo os parâmetros mínimos do processo;
- E a temperatura medida no interior da câmara for igual ou superior a 121 °C.

3.5.3 Teste de secagem

O tempo de secagem inicial será definido como 10 minutos com o aquecimento desligado e tampa fechada. Os parâmetros de secagem serão alterados se as cargas permanecerem com umidade.

O processo de secagem foi testado para cargas instrumentais embaladas em grau cirúrgico. Todos posicionados na posição vertical com um separador de envelopes.

A carga será considerada seca se não houver gotículas de água na superfície do envelope, e assim o processo de secagem será considerado aprovado.

Para não sobrecarregar a câmara de esterilização e para permitir uma melhor circulação do vapor, as cargas foram posicionadas no separador alternadamente, totalizando uma carga máxima de 4 cargas por ciclo.

Na Figura 11 é apresentada a foto das cargas posicionadas no separador.

Figura 11 – Cargas posicionadas no separador



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E TESTES

De acordo com a metodologia apresentada anteriormente foram realizados testes para obtenção dos resultados. Também se buscou garantir que a carga estivesse seca ao final do processo, evitando assim chance de recontaminação, que pode ocorrer se o material após a finalização da secagem estiver molhado.

4.1 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA

Os testes iniciais foram para estimar a quantidade de água necessária para realizar um ciclo de 30 minutos.

Na Tabela 3 segue o resultado do teste com 100 ml de água no período de aquecimento até 121 °C.

Tabela 3 – Resultado do Teste 1 para determinação da quantidade de água

| Teste | Tempo Aquecimento (segundos) | Tempo de vaporização (segundos) | Quantidade de água (ml) |
|-------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | 304 | 298 | 100 |

Fonte: Autoria própria

Através da equação (1) é possível determinar a quantidade de energia para vaporizar 100 ml de água.

$$Q = 0,1 \times 2199,76 = 219,976 \text{ kJ}$$

Com a quantidade de energia necessária para a mudança de fase da água é possível determinar a potência mínima que está sendo transmitida para o aquecimento, por meio da equação (2).

$$P = 219,976 / (298) = 0,738 \text{ kW}$$

Com o valor de L e de P é possível determinar a quantidade de água para realizar um ciclo de 30 minutos, aplicando-se a equação (1) em (2).

$$P = (m \times L) / \Delta t \quad (3)$$

$$m = (P \times \Delta t)/L \quad (4)$$

Substituindo os valores encontrados:

$$m = (0,738 \times 30 \times 60)/2199,76 = 0,604\text{kg}$$

Considerando que 1 kg água equivale a 1000 ml, a quantidade de água para realizar um ciclo de 30 minutos é de aproximadamente 600 ml.

Para a quantidade de água de 600 ml foi realizado um ciclo de 30 minutos para verificar se a quantidade de água é suficiente, e como resultado obteve-se que a quantidade de água foi suficiente para a realização do ciclo completo.

Com o objetivo de avaliar se era possível reduzir a quantidade de água foi realizado 1 teste com redução de 20 ml de água. Os dois resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado dos testes 2 e 3 da determinação da quantidade de água

| Teste | Quantidade de água (ml) | Tempo de ciclo (min) | Quantidade de água suficiente |
|-------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 2 | 600 | 30 | Sim |
| 3 | 580 | 29 | Não |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados obtidos a quantidade de água que será utilizada para o ciclo de 30 minutos será de 600 ml.

4.2 TESTES PARA VALIDAÇÃO DA SECAGEM

Para a determinação do tempo de secagem e da forma que será feita a mesma, foram realizados testes iniciando-se com o protótipo tampado. Na Tabela 5, seguem os resultados dos testes realizados para definir o tempo de secagem e se a tampa do equipamento deve permanecer fechada durante a fase de secagem.

Verificou-se que o material se apresenta úmido se não for realizada a abertura da tampa, durante a secagem com aquecimento, ou no caso de encerrar o aquecimento ao final do ciclo e manter a tampa entre aberta.

O melhor resultado obtido foi a secagem com aquecimento e tampa entre aberta, durante as fases de secagem e resfriamento.

Tabela 5 – Resultado dos testes para definição da secagem

| Teste | Tempo de ciclo (minutos) | Quantidade de água (ml) | Secagem | Resfriamento | Tipo de carga | Secagem da carga |
|-------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------|------------------|
| 1 | 30 | 600 | Sem aquecimento e tampa fechada | Tampa fechada | Instrumental | Não |
| 2 | 30 | 600 | Sem aquecimento e tampa entre aberta | Tampa entre aberta | Instrumental | Não |
| 3 | 30 | 600 | Com aquecimento e tampa fechada | Tampa entre fechada | Instrumental | Não |
| 4 | 30 | 600 | Com aquecimento e tampa entre aberta | Tampa entre aberta | Instrumental | Sim |
| 5 | 30 | 600 | Com aquecimento e tampa entre aberta | Tampa entre aberta | Instrumental | Sim |
| 6 | 30 | 600 | Com aquecimento e tampa entre aberta | Tampa entre aberta | Instrumental | Sim |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os testes realizados o método que permitiu a secagem completa das cargas foi a permanência do aquecimento durante dez minutos após o término do tempo de ciclo com a tampa entre aberta, seguido do resfriamento da carga mantendo a tampa na mesma posição. Com este procedimento a carga não apresenta gotículas de água e o material é retirado seco do interior da câmara.

4.3 RESULTADO DOS TESTES DO PROTÓTIPO

Foram realizados três ciclos para o tempo de esterilização de 30 minutos, e a eficácia da esterilização foi comprovada por meio dos resultados dos indicadores biológicos e integradores químicos. Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 6 – Resultado dos testes do protótipo

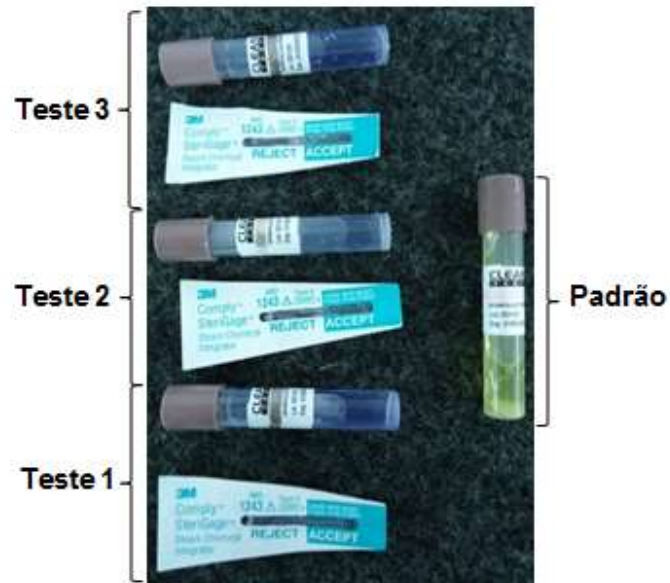
| Teste | 1 | 2 | 3 |
|---|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Quantidade de água (ml) | 600 | 600 | 600 |
| Temperatura (°C) | 121 (+3) | 121 (+3) | 121 (+3) |
| Tempo da fase de esterilização (minutos) | 30 | 30 | 30 |
| Secagem com aquecimento e tampa entre aberta (minutos) | 10 | 10 | 10 |
| Resfriamento (minutos) | 10 | 10 | 10 |
| Carga | Sim | Sim | Sim |
| Resultado indicador biológico | Negativo | Negativo | Negativo |
| Resultado do indicador biológico de controle | Positivo | Positivo | Positivo |
| Resultado do integrador químico | Atingiu a fase aceitável | Atingiu a faixa aceitável | Atingiu a fase aceitável |

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados obtidos nos três testes realizados para o tempo de 30 minutos, confirma-se que o protótipo realiza de forma eficaz a esterilização para os parâmetros estabelecidos.

Esta confirmação é comprovada com o resultado negativo dos indicadores biológicos nos três testes, após incubados por 24 horas, juntamente com o indicador biológico de controle, que obteve resultado positivo. Os parâmetros de ciclo foram atingidos nos três ciclos, pois os integradores químicos atingiram a faixa determinada pelo fabricante para aprovação. Na Figura 12 são apresentados os indicadores biológicos e integradores químicos processados nos três ciclos juntamente com o indicador de controle.

Figura 12 – Resultado dos indicadores biológicos e integradores químicos



Fonte: Autoria própria

A temperatura pode ser verificada com a utilização de um sensor PT100 Ω de temperatura inserido no interior da câmara para comprovar que a temperatura atingiu os 121 °C. Na Figura 13 é mostrado o protótipo durante o ciclo com o sensor de temperatura interna. A temperatura indicada em vermelho é a temperatura no interior da panela.

Figura 13 - Foto do protótipo com a indicação da temperatura interna durante o ciclo



Fonte: Autoria própria

5 DISCUSSÕES

A esterilização de instrumentos e materiais que tenham entrado em contato com fluidos corporais é de extrema importância para evitar a transmissão de doenças e infecções. As autoclaves são amplamente empregadas e de baixo custo em relação a outras alternativas, no entanto, são equipamentos que dependem da energia elétrica para funcionar.

Muitas regiões no Brasil, principalmente na área rural, e no mundo, não possuem acesso a energia elétrica ou não possuem hospitais próximos. As guerras e catástrofes naturais são casos que podem restringir o acesso a essa fonte de energia também, assim como povoados e aldeias indígenas remotos. Com base nestes e em outros argumentos, existem estudos que buscam encontrar alternativas que tornem possível realizar a esterilização de materiais de forma independente da energia elétrica.

Com as adaptações descritas em materiais em métodos é possível desenvolver uma autoclave a partir de uma panela de pressão.

O processo pôde ser validado por meio dos indicadores biológicos e integradores químicos que comprovaram a eficácia da esterilização e obtenção dos parâmetros críticos do processo.

A chama do fogão à gás forneceu energia suficiente para atingir a temperatura de 121 °C no interior da panela, como pode ser observado na Figura 13.

Foi possível realizar a esterilização a 121 °C com vapor úmido conforme estabelecido pela European Standard 13060 (2004).

Conforme o resultado dos testes apresentados na Tabela 5 a secagem deve ser realizada durante dez minutos após o término do tempo de ciclo com a tampa entre aberta, seguido do resfriamento da carga mantendo a tampa na mesma posição. Com isso, garante que a carga esteja seca ao final do processo.

A concepção da autoclave desenvolvida neste estudo visou a construção de uma autoclave de baixo custo, independente da energia elétrica ou baterias, e que fosse fácil de ser transportada para locais remotos, pelo tamanho reduzido e por não necessitar de partes conectadas para o seu funcionamento. Pode também ser utilizada inclusive com fogo à lenha, bastando para isso que o fogo seja

aproximadamente constante e que seja diminuído após atingir o estágio de fervura da água.

Pode ser adaptada para outros tempos de ciclo, pois o seu funcionamento depende da quantidade de água utilizada e como desvantagem não é indicada para esterilizar tecidos, devido a possibilidade de haver ar residual.

Em comparação com o estudo de Kamiyama (1970), onde a tampa permaneceu fechada durante metade do tempo da secagem, neste estudo foi necessário manter a tampa entre aberta durante todo o processo de secagem.

No presente estudo a possibilidade de haver ar residual é maior do que o modelo proposto por Neumann (2013), que o ar é injetado no interior da câmara, no entanto, aplicando-se o tempo do ciclo de 30 minutos para cargas metálicas, teve-se como resultado a comprovação da eficácia do ciclo através dos indicadores biológicos e integradores químicos nos três ciclos realizados para o teste.

6 CONCLUSÕES

Através dos testes realizados com o protótipo pode-se afirmar que é possível realizar a esterilização com a utilização da chama do fogão como fonte de aquecimento da câmara de esterilização de uma autoclave.

Com as adaptações corretas e um custo de aproximadamente R\$500,00, considerando o custo da panela de pressão de R\$180,00, do manômetro de R\$50,00, do sensor PT100 Ω de R\$90,00 e R\$180,00 para a usinagem do prolongador, da válvula de segurança e da bandeja, é possível utilizar uma panela de pressão para atingir os parâmetros necessários para que ocorra a esterilização dos materiais. E por ser de tamanho reduzido e de fácil transporte, este tipo de protótipo de autoclave, pode ajudar a reduzir o risco de contaminação em regiões onde o acesso à energia elétrica é precário ou onde não há um lugar próximo com equipamentos de esterilização.

Para o protótipo desenvolvido na capacidade de 7,5 litros a quantidade de água de 600 ml é suficiente para realizar um ciclo de esterilização de 30 minutos.

Com isso, a utilização de uma autoclave portátil com aquecimento através do fogo, permite levar o acesso de um processo de esterilização a regiões de difícil acesso ou com falta de energia elétrica, para procedimentos que necessitam de material esterilizado. Isso ajuda no combate as doenças transmissíveis através de instrumentos contaminados e na redução de infecções. É possível tornar o acesso ao serviço de saúde seguro à população de qualquer região.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros é possível alterar os parâmetros de ciclo e secagem para realizar ciclos de esterilização com outros tempos, outros tipos de carga e secagem. Podem ser utilizadas painéis maiores para esterilização de materiais com comprimentos maiores e também a utilização de fogão à lenha como fonte de aquecimento.

Compactar as autoclaves com aquecimento por energia solar para facilitar o transporte do equipamento. E realizar a combinação das formas de energia pelo calor de uma chama e utilizar a energia solar para carregar o sistema de controle de uma autoclave, como por exemplo, sinais sonoros e contagem do tempo de ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA **ANVISA**. Consulta Pública nº 39, 2010.

AMERICAN NATIONAL STANDART. **ANSI/AAMI/ISO 11140-1:2005**: Sterilization of health care products – Chemical Indicators – Part 1: General requirements. Arlington, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 17665-1:2010**. Esterilização de produtos para a saúde – Vapor Parte 1: Requisitos para o desenvolvimento, validação e controle de rotina nos processos de esterilização de produtos para a saúde, 2010.

ASSUMPÇÃO, Celina. Princípios básicos de esterilização a vapor. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 26, n. 1-2, p. 67-78, fev. 1973.

AUTOCLAVE horizontal analógica. Disponível em:
<<https://www.stermax.com.br/produto.php?tp=1&p=25>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

AUTOCLAVE vertical analógica. Disponível em:
<<https://www.stermax.com.br/produto.php?tp=2&p=4>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRASÍLIA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Referência Técnica para o Funcionamento dos Serviços de Estética e Embelezamento sem Responsabilidade Médica**. Brasília, 2009. 14p.

CENTRAL DE MATERIAL E ESTERILIZAÇÃO: MANUAL TÉCNICO. Brasília, jul. 2000, p.14.

DION, Marcel; PARKER, Wayne. Steam sterilization principles. **Pharmaceutical engineering**. v. 33, n. 6, p. 1-8, nov.- dez. 2013.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13060**: Small steam sterilizers. Bruxelas, 2004.

GUIDELINE FOR DISINFECTION AND STERILIZATION IN HEALTHCARE FACILITIES. Disponível em:
<<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/sterilization/steam.html>>
Acesso em: 21 nov. 2018.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 14161**: Sterilization of health care products – Biological indicators – Guidance for the selection, use and interpretation of results. Genebra, 2000.

KAMIYAMA, Yoriko. Experiências sobre a utilidade da panela de pressão como autoclave. **Revista da escola de enfermagem da USP**, v. 4 n. 1-2, p. 55-79, mar.-set. 1970.

KUMAR, Sandeep; NUSSINOV, Ruth. How do thermophilic proteins deal with heat? **CMLS Cellular and Molecular Life Sciences**, Basileia, v. 58, p. 1216-1233, mar. 2001.

LEONARDO ENERGY. Disponível em:

<<https://www.leonardo-energy.org.br/noticias/levantamento-realizado-pela-aneel-indica-que-cerca-de-1-milhao-de-brasileiros-ainda-nao-possuem-acesso-a-energia/>>

Acesso em: 04 out. 2018.

MORAN, Michael. J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 688, 2009.

NEUMANN, Oara et al. Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. Houston, v. 10, n. 29, p. 11677-11681, jul. 2013.

RUTALA, William A. et al. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. Chapel Hill: CDC, 2008, p.161.

TAO, Gregory D. et al. Design of a low-cost autoclave for developing world health clinics. **International Design Engineering Technical Conferences & computers and information in engineering conference**. Chicago, v. 7, p. 297-203, ago. 2012.

UCHIKAWA, Kazuko; SILVA, Arlete; PSALTIKIDIS, Eliane M. **Enfermagem em centro de material de esterilização**. 1. ed. Barueri: Manole, 2011.