

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO (EMC)
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CARLOS DANIEL SILVA PINTO

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA
AUTOCLAVE UTILIZADA EM AMBIENTES HOSPITALARES**

Goiânia - GO

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar o produto final, o autor e o orientador firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome completo do autor: CARLOS DANIEL SILVA PINTO

Título do trabalho: PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA AUTOCLAVE UTILIZADA EM AMBIENTES HOSPITALARES

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Kleber Mendes De Figueiredo, Professor do Magistério Superior**, em 02/01/2025, às 12:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Daniel Silva Pinto, Discente**, em 02/01/2025, às 12:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5074668** e o código CRC **646F3EAC**.

Referência: Processo nº 23070.046944/2024-81

SEI nº 5074668

CARLOS DANIEL SILVA PINTO

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA
AUTOCLAVE UTILIZADA EM AMBIENTES HOSPITALARES**

Projeto Final de Curso apresentado à
Universidade Federal de Goiás, como
exigência parcial para obtenção de
título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Kléber Mendes de
Figueiredo

Goiânia - GO

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pinto, Carlos Daniel Silva
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DE
UMA AUTOCLAVE UTILIZADA EM AMBIENTES HOSPITALARES
[manuscrito] / Carlos Daniel Silva Pinto. - 2024.
LXIII, 63 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Kléber Mendes de Figueiredo.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2024.

Bibliografia.
Inclui gráfico, tabelas.

1. Esterilização. 2. Ensaios não destrutivos. 3. Indicadores de
manutenção. 4. NR 13. I. Figueiredo, Kléber Mendes de, orient. II. Título.

CDU 621



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 11 dias do mês de novembro do ano de 2024 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA AUTOCLAVE UTILIZADA EM AMBIENTES HOSPITALARES”, de autoria de Carlos Daniel Silva Pinto, do curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Prof. Kléber Mendes de Figueiredo (EMC) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: T.A. Dr. Diogo Appel Colvero e Prof. Dr. Carlos Alberto de Almeida Vilela. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 7,8 , tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Kleber Mendes De Figueiredo, Professor do Magistério Superior**, em 02/01/2025, às 12:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alberto De Almeida Vilela, Professor do Magistério Superior**, em 02/01/2025, às 13:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Appel Colvero, Engenheiro**, em 02/01/2025, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5074646** e o código CRC **5D03E87F**.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo gostaria de agradecer aos meus pais Maria e Gaspar, que me apoiaram desde o início dos meus estudos e que sempre fizeram de tudo para que o dia da minha formação chegasse. Seja compartilhando momentos bons e ruins, sempre estiveram lá por mim, à vocês dois a minha eterna gratidão.

Agradeço também a todos os professores e técnicos da Engenharia Mecânica que me fizeram evoluir muito, tanto pessoalmente quanto profissionalmente. Em especial quero agradecer ao Prof. Dr. Kléber Mendes de Figueiredo por me auxiliar com muita paciência nessa trajetória final do curso.

Também agradeço a todos os meus amigos por estarem comigo em tantas etapas da minha vida, principalmente aos meus grandes amigos do “Engenharia Raíz” por tantos momentos incríveis compartilhados.

RESUMO

O estudo realizado foi motivado pela importância crítica da esterilização realizada por autoclaves para o tratamento adequado e seguro de pacientes em ambientes hospitalares. Visando melhorar o plano de manutenção de uma autoclave Baumer HI VAC MX II B0112 utilizada para esterilização em ambiente hospitalar, classificada como vaso de pressão de Categoria V pela NR 13. A metodologia incluiu análise do histórico de manutenção (2022-2023), identificação de componentes críticos, implementação de técnicas de manutenção preditiva (ensaios não destrutivos e inspeção visual), otimização do cronograma de manutenção, melhoria na gestão de estoque e implementação de um sistema de registro e análise de dados. Os resultados mostraram um aumento nos indicadores de manutenção de 23,4% no MTBF (Tempo médio entre falhas), de 255,5 para 315,22 horas. Também mostraram uma redução de 29% no MTTR (Tempo médio de reparo), de 18,65 para 13,25 horas, e aumento na disponibilidade do equipamento de 92,37% para 95,97%. As melhorias incluíram manutenção preditiva, otimização do cronograma baseado no desgaste real, gestão de estoque integrada e conformidade com regulamentações como a RDC 15. Apesar do curto período de análise pós-melhorias (6 meses), o projeto demonstrou potencial para aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a segurança. Recomenda-se monitoramento contínuo, implementação completa das ações propostas e expansão do plano de manutenção preditiva. O projeto contribuiu para a otimização dos processos de esterilização, impactando positivamente a qualidade do atendimento ao paciente e a segurança dos procedimentos médicos.

Palavras chave: Esterilização, Ensaios não destrutivos, Indicadores de manutenção, NR 13.

ABSTRACT

The study was motivated by the critical importance of sterilization performed by autoclaves for the proper and safe treatment of patients in hospital environments. It aimed to improve the maintenance plan for a Baumer HI VAC MX II B0112 autoclave used for sterilization in a hospital setting, classified as a Category V pressure vessel under NR 13. The methodology included an analysis of the maintenance history (2022–2023), identification of critical components, implementation of predictive maintenance techniques (non-destructive testing and visual inspection), optimization of the maintenance schedule, improvement in inventory management, and the implementation of a data recording and analysis system. The results showed an increase in maintenance performance indicators, with a 23.4% improvement in MTBF (Mean Time Between Failures), rising from 255.5 to 315.22 hours. Additionally, there was a 29% reduction in MTTR (Mean Time to Repair), decreasing from 18.65 to 13.25 hours, and an increase in equipment availability from 92.37% to 95.97%. Improvements included predictive maintenance, schedule optimization based on actual wear, integrated inventory management, and compliance with regulations such as RDC 15. Despite the short post-improvement analysis period (6 months), the project demonstrated potential to enhance operational efficiency, reduce costs, and improve safety. Continuous monitoring, full implementation of the proposed actions, and expansion of the predictive maintenance plan are recommended. The project contributed to the optimization of sterilization processes, positively impacting the quality of patient care and the safety of medical procedures.

Keywords: Sterilization, Non-destructive testing, Maintenance indicators, NR 13.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Objetivos.....	8
1.2 Objetivos específicos.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Esterilização.....	10
2.1.1 Esterilização a vapor.....	11
2.2 Autoclave.....	11
2.2.1 Sistemas base da autoclave.....	11
2.2.1.1 Câmara de esterilização.....	12
2.2.1.2 Sistema de vapor.....	12
2.2.1.3 Sistema de vácuo.....	13
2.2.2 Processo de esterilização em autoclave.....	14
2.2.3 Ciclos de esterilização.....	14
2.2.4 NR 13.....	16
2.2.4.1 Classificação dos equipamentos.....	16
2.2.4.2 Inspeções e manutenções periódicas.....	17
2.2.4.3 Responsabilidade técnica.....	18
2.2.4.4 Requisitos de segurança.....	18
2.3 Testes de desempenho.....	19
2.3.1 Teste hidrostático.....	19
2.3.2 Teste de estanqueidade.....	19
2.3.3 Teste Bowie and Dick.....	20
2.4 Manutenção.....	21
2.4.1 Tipos de manutenção.....	22
2.4.1.1 Manutenção corretiva.....	22
2.4.1.2 Manutenção preventiva.....	23
2.4.1.3 Manutenção preditiva.....	23
2.4.2 Monitoramento de condição.....	24
2.4.3 Ensaio Não Destrutivos (END).....	25
2.4.3.1 Ultrassom.....	25
2.4.3.2 Termografia.....	25
2.4.3.3 Inspeção visual.....	26
2.5 Qualificação.....	26
2.5.1 Calibração.....	26
2.5.2 Qualificação de Instalação (QI).....	27
2.5.3 Qualificação de Operação (QO).....	27
2.5.4 Qualificação de Performance (QP).....	27
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 Classificação da autoclave.....	28

3.2	Análise do manual do fabricante e do histórico do plano de manutenção anterior.....	34
3.3	Estudo das técnicas de ensaios não destrutivos aplicáveis a autoclaves.....	35
3.4	Desenvolvimento de protocolos de inspeção e manutenção preditiva com foco nas principais falhas da autoclave.....	35
3.5	Plano de manutenção proposto.....	35
3.6	Avaliação do impacto potencial das melhorias propostas.....	36
4.	DISCUSSÃO E RESULTADOS.....	38
4.1	Dados técnicos e classificação da autoclave.....	38
4.1.1	NR 13.....	38
4.1.2	Criticidade.....	39
4.2	Análise do histórico de manutenção.....	39
4.3	Componentes de desgaste.....	42
4.4	Técnicas de ensaios não destrutivos propostas.....	42
4.5	Inspeção visual.....	43
4.6	Proposta de melhoria para o plano de manutenção.....	43
4.6.1	Gestão de estoque.....	45
4.6.2	Otimização do cronograma de manutenção.....	46
4.7	Melhoria contínua.....	49
4.8	Impacto das melhorias propostas no plano.....	50
5.	CONCLUSÃO.....	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Médica Brasileira, cerca de 45 mil indivíduos perdem a vida anualmente no Brasil devido a complicações decorrentes de infecções hospitalares. Entretanto, a Organização Mundial de Saúde sugere que esse dado real pode chegar a 100 mil mortes (ANS, 2021). Essas infecções hospitalares são denominadas Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS) que representam um problema muito grande de saúde pública, em detrimento de serem uma das principais causas de mortes em hospitais (Miranda; Campos; Vieira, 2020).

As IRAS, além de aumentar consideravelmente o tempo de hospitalização dos pacientes, elevam os custos de tratamento e ainda comprometem a segurança dos pacientes e equipe assistencial, assim como a qualidade dos serviços de saúde (Anvisa, 2016; Anvisa, 2013).

Um dos fatores que promovem a origem das IRAS são os agentes externos, como a equipe de saúde ou materiais hospitalares contaminados (Gil et al., 2018). Estes aspectos corroboram que a esterilização adequada desses materiais hospitalares é imprescindível, onde a esterilização é um processo que provoca a destruição de todos os microrganismos, eliminando até mesmo esporos bacterianos (Rutala; Weber, 2013).

Nesse processo, a Central de Material e Esterilização (CME) é vital, onde são utilizadas autoclaves (Figura 1) para esterilizar materiais como instrumentos médicos, roupas de cama e outros materiais que entram em contato com pacientes, por meio de agentes físicos, como o vapor, controlando rigorosamente fatores críticos como temperatura, pressão e tempo de exposição (Hayman, 2003).

Visto que as autoclaves em hospitais precisam estar disponíveis 24 horas por dia, é ainda mais essencial garantir o bom funcionamento para que elas operem de forma adequada e segura. Para isso, de acordo com Farrero, Tarrés e Losilla (2002) é necessário um plano de manutenção com uma combinação entre manutenções corretivas, preventivas e preditivas, que serão determinadas com base nos dados obtidos de cada item e da frequência de falha.

De acordo com Marcorin e Lima (2003), uma das finalidades do programa de manutenção é melhorar a eficiência dos equipamentos visando à redução de gastos. Além disso, a realização de reparos sem planejamento adequado pode acarretar em

falhas e problemas, ressaltando a importância de uma gestão eficiente e constante revisão com base em informações atualizadas para evitar danos financeiros . Por isso, para garantir a segurança nos processos de esterilização e prevenir contaminações, é essencial que o plano de manutenção seja otimizado ao máximo (Marcorin; Lima, 2003).

Figura 1: Autoclave



Fonte: Borini, 2019b

1.1 Objetivos

A finalidade deste projeto foi elaborar e apresentar uma proposta de aprimoramento para o plano de manutenção da autoclave Baumer HI VAC MX II (Figura 1). Onde, o intuito é garantir a máxima eficiência e segurança operacional da autoclave, tanto para os operadores quanto para os pacientes e a equipe de assistência. Dessa forma, busca-se reduzir os riscos de falhas e interrupções nos serviços de esterilização, além de diminuir o tempo dedicado à manutenção.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar análise de Dados Históricos de Manutenção
- Realizar análise das normas e manuais do fabricante
- Analisar estudos de caso de Ensaios não Destrutivos em autoclaves
- Implementar inspeção visual
- Otimizar do Cronograma de Manutenção
- Avaliar o Impacto das Melhorias utilizando Indicadores de desempenho

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Esterilização

Lachman (2010) descreve a esterilização como o procedimento de erradicação ou destruição completa de todos os microrganismos de um objeto ou superfície, incluindo bactérias, vírus, fungos e esporos, sendo este procedimento crucial para prevenir infecção e contaminação em ambientes que têm presença de microrganismos que é prejudicial. A esterilização pode ser alcançada por métodos físicos, químicos ou uma combinação de ambos, onde, os agentes esterilizantes são substâncias ou métodos utilizados para realizar a esterilização que podem ser classificados em físicos e químicos (Lachman, 2010). O autor complementa que, entre os agentes físicos, destacam-se o calor (seco ou úmido), radiação (ionizante e não ionizante) e filtração. Onde, o calor úmido, geralmente na forma de vapor, é amplamente utilizado devido à sua eficácia e rapidez. Entre os agentes químicos, incluem-se o óxido de etileno, formaldeído, peróxido de hidrogênio e ácido peracético (Rutala; Weber, 2015).

Na medicina a esterilização é crucial para prevenir infecções hospitalares e garantir a segurança de procedimentos cirúrgicos e diagnósticos. Sem a esterilização adequada, pode ocorrer a transmissão de infecções e contaminações, podendo levar a graves consequências para a saúde pública e a qualidade dos produtos (Rutala; Weber, 2015).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 15 (Anvisa, 2012) classifica os produtos que serão esterilizados em três tipos: críticos, semicríticos e não críticos, com base nos níveis de risco de infecção. Itens críticos são aqueles que estão em contato direto com tecidos estéreis ou com o sistema vascular, incluindo instrumentos cirúrgicos e cateteres. Esses itens devem ser cuidadosamente limpos e desinfetados, seguindo as orientações da RDC 15 (Anvisa, 2012), para garantir que todos os microrganismos sejam destruídos e proteger o paciente. Produtos semi críticos entram em contato com mucosas ou pele não saudável, como endoscópios ou termômetros. Eles precisam passar por um protocolo de desinfecção profunda, não sendo necessário que o equipamento passe por esterilização. Por fim, produtos não críticos são aqueles que apenas tocam a pele limpa e íntegra, como

estetoscópios e monitores de pressão arterial. Sendo que, nesses casos, basta apenas limpeza e desinfecção de baixo nível.

2.1.1 Esterilização a vapor

Rutala e Weber (2015) destacam a autoclavagem como uma das técnicas mais eficazes e amplamente utilizadas para esterilização. Esse método utiliza vapor sob pressão para eliminar diversos microrganismos e esporos. Além disso, o vapor é um esterilizador ambientalmente seguro, evitando a poluição. No entanto, a esterilização a vapor possui limitações, já que alguns materiais não resistem bem à umidade e altas temperaturas, sendo restritos para uso em itens específicos. Para garantir a eficácia do processo, é essencial utilizar equipamentos adequados, como autoclaves, e manter um controle rigoroso dos parâmetros de tempo, temperatura e pressão (Rutala; Weber, 2015).

2.2 Autoclave

No processo de esterilização realizado pela autoclave o agente esterilizador é o vapor de água sob pressão (121°C à 134°C) para realizar a esterilização completa (Rutala; Weber, 2015). Este esterilizador é dividido em duas categorias, sendo elas: Autoclaves Gravitacionais e Autoclaves de Pré-vácuo. Elas são diferenciadas pela forma de retirada do ar da câmara, onde a autoclave gravitacional retira com auxílio da gravidade e a autoclave de pré-vácuo utiliza uma bomba de vácuo, propiciando uma melhor penetração de vapor (Rutala; Weber, 2015).

2.2.1 Sistemas base da autoclave

De acordo com o folheto técnico do fabricante (Baumer S.A.; 2020), os sistemas base da autoclave são divididos em 3: Sistema de vácuo; Sistema de vapor; Câmara. Sendo que, todos os componentes da autoclave são derivados da relação entre esses sistemas, como exemplo o sistema de controle que é utilizado para controle de temperatura e pressão da câmara.

2.2.1.1 Câmara de esterilização

A fabricante Baumer S.A. (2020) define a câmara de esterilização como o espaço onde os materiais a serem esterilizados são colocados, onde o mesmo é projetado para suportar altas temperaturas e pressões necessárias para a esterilização e é composta pelo corpo da câmara e vedação da porta (guarnições). A porta da câmara é selada para manter a pressão e a temperatura dentro da câmara. A estrutura é revestida por uma camada externa que tem a função de armazenar o vapor, condensar a água e garantir o aquecimento uniforme da estrutura. Ela possui sistemas de trava de segurança para garantir que não seja aberta enquanto o autoclave estiver sob pressão, evitando acidentes.

Para garantir a vedação da porta, é utilizada uma guarnição que é conectada à tubulação de ar comprimido e vácuo. Onde, para ocorrer a vedação, essa guarnição é preenchida com ar para ocupar mais espaço e vedar completamente, e para abrir a porta é feito um pulso de vácuo para diminuir a guarnição e permitir a abertura da porta. A câmara e as portas possuem uma camada de manta de fibra mineral para o isolamento térmico, evitando perda de energia por calor (Pereira; Santos; Albuquerque, 2016).

2.2.1.2 Sistema de vapor

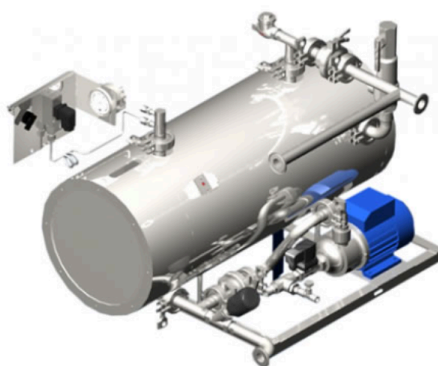
O sistema de vapor (Figura 2) é encarregado de gerar o vapor essencial para a esterilização, no qual a água passa por aquecimento até se transformar em vapor, sendo então direcionado para a câmara de esterilização (Baumer S.A., 2022a). Conta com um abastecimento automático provido por uma bomba centrífuga de água, além de possuir uma resistência blindada em aço inoxidável. O nível de água é regulado por um sistema de boia que controla a entrada de água e as resistências.

A resistência é feita de aço inoxidável para evitar problemas de corrosão, visto que estarão em contato com umidade o tempo todo. Além disso, a manutenção da resistência é fundamental para evitar falhas no gerador de vapor. Problemas comuns incluem acúmulo de calcário, que pode reduzir a eficiência da resistência e aumentar o consumo de energia. É recomendável realizar limpezas periódicas e verificar a integridade da resistência, substituindo-a quando necessário para garantir o funcionamento adequado da autoclave .

A fabricante ainda comenta que a pressão e temperatura são monitoradas por um pressostato e um termostato. Ao término do ciclo, é realizada uma drenagem automática controlada por um temporizador, visando eliminar a água com maior concentração de minerais gerada no processo de vaporização para esterilização. Também está equipado com uma chave seletora para a drenagem completa do gerador a fim de possibilitar a limpeza do fundo. Uma válvula de segurança em aço inoxidável AISI 316, calibrada, selada e com mecanismo de verificação de funcionamento, protege o conjunto do gerador.

Para evitar acúmulo de resíduos como o calcário, o sistema de vapor deve ser abastecido com água desmineralizada. Além disso, é essencial para prevenir a corrosão das tubulações e do gerador de vapor, assim como a contaminação do vapor que pode comprometer a esterilização (Miranda, 2018).

Figura 2: Sistema gerador de vapor borini



Fonte: Borini, 2019a

2.2.1.3 Sistema de vácuo

O sistema utiliza uma bomba de vácuo (Figura 3) para remover o ar da câmara antes da introdução do vapor, participando dos ciclos de pré e pós vácuo. A criação de um vácuo na câmara permite uma melhor penetração do vapor nos materiais a serem esterilizados, garantindo uma esterilização eficaz (Baumer S.A., 2022a). O sistema é composto por uma bomba de vácuo, válvulas de controle e um condensador.

Figura 3: Bomba de vácuo.



Fonte: Baumer S.A., 2022a

2.2.2 Processo de esterilização em autoclave

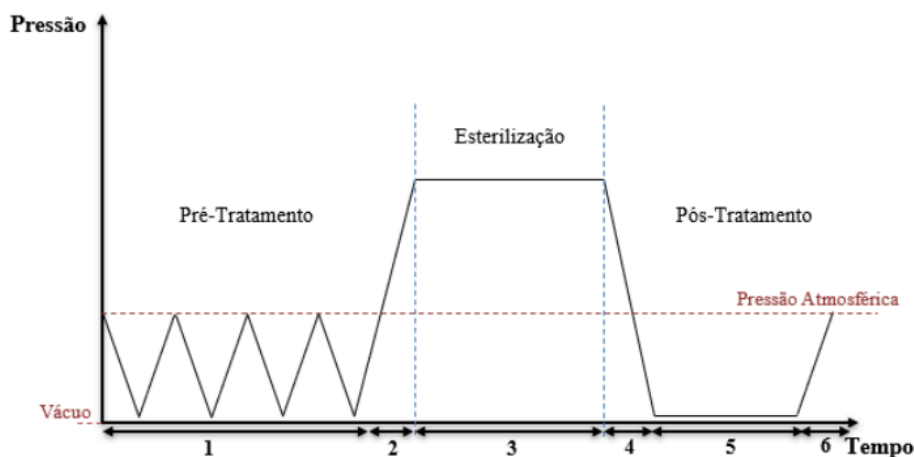
Nesse processo, os materiais são colocados dentro da câmara da autoclave e o ciclo é iniciado, onde provoca o contato direto do vapor com a superfície dos materiais (Baumer S.A., 2022a). Durante o processo, a temperatura, a pressão e o tempo são constantemente monitorados para garantir que os parâmetros de esterilização sejam alcançados, pois é fundamental criar alta pressão para atingir e manter a temperatura necessária por um determinado período, para eliminar completamente os microrganismos (Rutala; Weber, 2015).

Quando o processo é concluído, os itens são retirados da autoclave e armazenados estéreis até o uso. A autoclave funciona utilizando vapor saturado como agente esterilizante, removendo o ar com vácuo pulsante. Este método garante uma esterilização eficaz e segura de materiais porosos e líquidos contidos em frascos de vidro (Baumer S.A., 2022a).

2.2.3 Ciclos de esterilização

De acordo com o manual de instruções de uso da fabricante Baumer S.A. (2020) e com Novak (2015), o processo de esterilização em uma autoclave envolve seis fases principais: Ciclo de pulsos, aquecimento, esterilização, exaustão, secagem e resfriamento (Figura 4).

Figura 4: Etapas do ciclo de esterilização



Fonte: Monteiro, 2022

Inicialmente, são realizados ciclos onde é alternada a produção de vácuo e introdução de vapor para eliminar todo o ar da câmara. Este processo impede que o ar sirva como obstáculo prejudicando o contato do vapor com as superfícies dos itens a serem esterilizados e ele retira o ar até mesmo de materiais porosos ou com cavidades, onde o ar pode ficar preso e dificultar a esterilização completa. A pressão durante o pulso de vácuo é de 0,3 bar absoluto, sendo o bar absoluto uma unidade de pressão que mensura a pressão em relação ao vácuo absoluto (Pressão = 0) (Cassiolato, 2008). Durante a introdução de vapor, a pressão aumenta para 1,15 bar absoluto (Baumer S.A., 2020) e o número de pulsos pode ser ajustado de 1 a 99.

Na próxima etapa, o aquecimento, o vapor é introduzido na câmara aumentando sua temperatura interna para um intervalo de temperatura necessário para realizar a esterilização (121 a 134°C). A temperatura e pressão são cuidadosamente controladas favorecendo que o vapor entre em contato com todas as superfícies dos objetos que estão sendo esterilizados, provocando assim uma distribuição de vapor uniforme. É crucial elevar a temperatura, pois a efetividade da esterilização está diretamente relacionada à habilidade do vapor de alcançar e manter a temperatura adequada por um período adequado para a eliminação de todos os microrganismos (Rutala; Weber, 2015). Ao preservar essa temperatura por um tempo específico, cria-se um ambiente impróprio para a sobrevivência dos microrganismos, assegurando sua total eliminação.

O terceiro processo é a esterilização, onde a pressão e a temperatura interna do recipiente são mantidas estáveis por um tempo estipulado, que varia de acordo com o tipo de material e o grau de contaminação por microrganismos. Normalmente, a desinfecção é feita a temperaturas que variam de 121°C a 134°C, com períodos de exposição que variam de 15 a 30 minutos (Baumer S.A., 2020).

Após a esterilização, ocorre a exaustão que é um procedimento onde o vapor será liberado da câmara, podendo ser realizado de forma lenta ou rápida. Sendo que, nas duas formas a pressão final será 0,3 bar absoluto. Geralmente, materiais mais resistentes ao calor e pressão são esterilizados no processo rápido, reduzindo o tempo do processo. Enquanto a fase com a liberação de vapor lenta é utilizada nos materiais que são mais delicados.

O penúltimo processo é a secagem, onde a autoclave elimina qualquer umidade remanescente dos materiais esterilizados, normalmente através de vácuo à pressão constante de 0,3 bar absoluto. A eliminação da umidade assegura a esterilidade dos materiais e previne a proliferação de microrganismos, bem como evita danos ao material esterilizado.

Por fim, é feito o resfriamento, onde a temperatura dos materiais é reduzida e a pressão retorna para o nível atmosférico para permitir a abertura da porta diminuindo a possibilidade de haver danos térmicos aos materiais e evitando a formação de condensação.

2.2.4 NR 13

A normativa NR 13 (Brasil, 2022), intitulada “Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações”, abrange as exigências mínimas para a administração da integridade estrutural de caldeiras, vasos de pressão e tubulações, visando exclusivamente a proteção e prevenção de acidentes.

2.2.4.1 Classificação dos equipamentos

Segundo a NR 13 (Brasil, 2022), vasos de pressão são todos os equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa maior que 0,5 kgf/cm². As autoclaves, por operarem com vapor sob pressão elevada (superior a 1 kgf/cm²) e calor, se enquadram nessa definição. Ainda segundo a norma, os vasos

de pressão devem ser classificados em categorias com base na classe de fluido que contém e no potencial de risco associado. Sendo, essa classificação essencial para determinar os requisitos de projeto, operação e manutenção dos vasos.

2.2.4.2 Inspeções e manutenções periódicas

A NR 13 solicita que as autoclaves sejam inspecionadas regularmente para garantir a proteção e vida útil do equipamento. Revisões e manutenções com intervalos regulares devem ser realizadas para garantir que defeitos potenciais e acidentes aconteçam. As principais inspeções exigidas são:

- Inspeção Inicial: Realizada antes da entrada em operação, verifica a instalação adequada e a conformidade com as especificações técnicas, como a presença de válvulas de segurança, manômetros e sistemas de controle de pressão.
- Inspeção Periódica Externa: Deve ser realizada periodicamente para avaliar as condições visíveis do equipamento, como carcaça, conexões e válvulas. É fundamental para detectar sinais de desgaste que possam comprometer a integridade do sistema.
- Inspeção Periódica Interna: Verifica a integridade das partes internas do vaso de pressão, incluindo a detecção de corrosão, incrustações ou outros danos.
- Teste de Pressão Hidrostática (Tópico 2.3.1): Esse procedimento submete a autoclave a uma pressão de teste mais elevada do que a utilizada normalmente, a fim de assegurar que o equipamento seja capaz de suportar as condições de trabalho sem falhar ou apresentar vazamentos.
- Verificação das Válvulas de Segurança: As válvulas de segurança das autoclaves devem ser testadas regularmente para garantir que abram automaticamente caso a pressão ultrapasse os limites seguros, evitando sobrepressão e falhas graves.

A periodicidade de cada um dos itens está representada abaixo (Tabela 1), onde o teste hidrostático é realizado na instalação do equipamento e após manutenções ou falhas críticas.

Tabela 1: Periodicidade de inspeções de vasos de pressão NR 13

Categoria	Tempo (anos)		
	Inspeção periódica interna	Inspeção periódica externa	Verificação válvulas de segurança
I	1	3	1
II	2	4	2
III	3	6	3
IV	4	8	4
V	5	10	5

2.2.4.3 Responsabilidade técnica

A NR 13 exige que todo equipamento regido por ela seja operado e mantido sob a supervisão de um profissional habilitado, um engenheiro mecânico registrado no CREA. Esse profissional deve assinar os relatórios de inspeção e garantir que todas as intervenções estejam de acordo com as especificações de segurança da NR 13. Assim, se mostra necessário a documentação técnica detalhada, a qual deve incluir registros de inspeção, relatórios de manutenção, laudos de testes de pressão, diagramas do sistema e demais documentos que comprovem a conformidade com a norma.

Para autoclaves, isso significa a manutenção de registros completos sobre todas as intervenções realizadas, além do acompanhamento contínuo dos dados operacionais para detectar sinais de desgaste ou falhas iminentes. A documentação de tudo que acontece na autoclave é inserida no prontuário.

2.2.4.4 Requisitos de segurança

Por fim, a norma exige que as autoclaves estejam equipadas com dispositivos de segurança, como válvulas de alívio de pressão e sistemas de corte automático em caso de sobrepresão ou falhas no sistema de controle. Esses dispositivos devem ser testados regularmente e calibrados conforme as especificações do fabricante e da NR 13 (Brasil, 2022).

2.3 Testes de desempenho

2.3.1 Teste hidrostático

Segundo Silva (2022), o teste hidrostático é um método crucial utilizado para garantir a segurança e a integridade de um recipiente, avaliando se está em boas condições e devidamente vedado. O autor enfatiza que esse processo é essencial em conformidade com as regulamentações que regem os vasos de pressão (NR 13), assegurando que esses dispositivos funcionem de maneira segura e eficiente. Pereira (2004) comenta que o teste hidrostático garante a estanqueidade do equipamento e ainda promove o alívio de tensões residuais da soldagem.

O exame é efetuado preenchendo por completo a câmara da autoclave com um líquido (geralmente água) até atingir uma pressão correspondente a 1,5 vezes a pressão máxima permitida durante a operação (Fould; Andrew; Viswanathan, 2004). Caso não sejam encontradas evidências de vazamentos ou distorções, a autoclave é considerada apta para uso. Esse procedimento assegura que a autoclave possa funcionar conforme os parâmetros de segurança estipulados, protegendo tanto os operadores quanto os materiais a serem esterilizados.

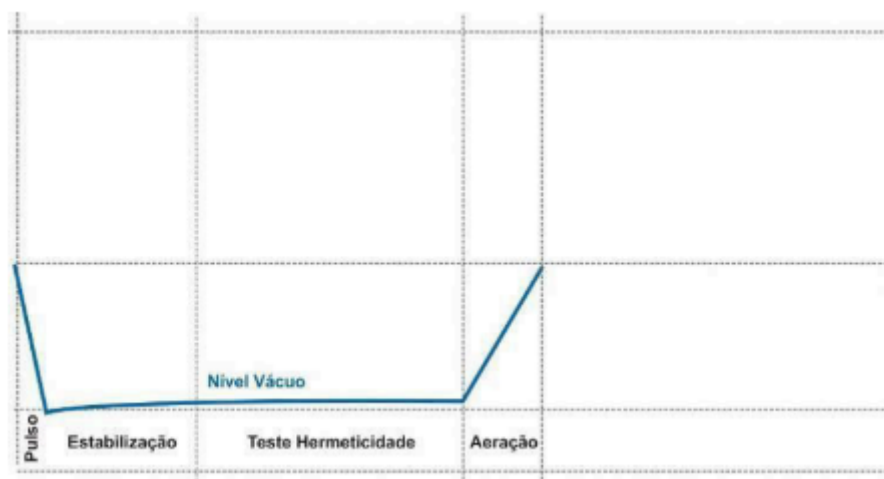
2.3.2 Teste de estanqueidade

De acordo com a NR 34 (Brasil, 2022b), o teste de estanqueidade é definido como um ensaio não destrutivo que consiste na aplicação de pressão em peças, compartimentos ou tubulações com o objetivo de identificar possíveis vazamentos. Também pode ser utilizado para medir a quantidade de material vazando, tanto em sistemas que operam com pressão positiva ou que trabalham com vácuo. Na autoclave, o teste de estanqueidade é feito por meio do teste de vácuo, também conhecido como Leak-Test (Baumer S.A., 2020).

Este teste atende aos requisitos da norma EN-285 e é realizado com a câmara vazia. De acordo com o manual de instruções (Baumer S.A., 2020), o ciclo inicia-se com um pulso profundo de vácuo, atingindo 0,20 bar absolutos. Após alcançar este nível, o equipamento mantém todas as válvulas fechadas por um período de estabilização de 5 minutos. Durante este intervalo, a pressão não deve variar mais que 0,050 bar, garantindo a estabilidade do sistema. Em seguida, o nível

de vácuo é monitorado por um período adicional de 10 minutos, que constitui a fase de teste propriamente dita. Nesta etapa, é crucial que a variação da pressão não exceda 0,013 bar. A Figura 5 mostra um gráfico apresentando a variação da pressão ao longo de todo o processo do teste de estanqueidade na autoclave.

Figura 5: Gráfico Pressão da autoclave x Tempo - Leak Test



Fonte: Baumer S.A., 2020

2.3.3 Teste Bowie and Dick

O teste de Bowie-Dick tem como objetivo garantir a eficácia da eliminação de ar e da entrada de vapor em substâncias porosas, garantindo que a esterilização em hospitais seja segura e eficaz. De acordo com a regulamentação NBR ISO 11140-3:2020 (ABNT, 2020), essa verificação deve ser feita diariamente, antes do início do ciclo de esterilização.

Para realizar o teste, é necessário utilizar um conjunto de materiais que contenham um marcador químico sensível ao vapor, imitando uma carga porosa. Esse conjunto passa por um ciclo específico de esterilização, normalmente a 134°C por 3,5 minutos (Baumer S.A., 2020). Depois desse ciclo, o marcador é inspecionado para verificar se houve alguma mudança de cor. Caso a mudança seja uniforme, significa que o ar foi removido completamente e o vapor conseguiu se infiltrar de maneira adequada. Por outro lado, se a coloração for inconsistente ou não houver alterações, isso sugere que ocorreram falhas durante o processo,

indicando que ajustes ou manutenção na autoclave são necessários para assegurar seu funcionamento adequado.

2.4 Manutenção

Segundo a norma NP EN 13306:2007 (IPQ, 2007), a manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, com a finalidade de mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa executar as funções requeridas”. Em outras palavras, consiste em um conjunto de ações voltadas para garantir a funcionalidade de um equipamento de modo que ele atenda às necessidades de atendimento, especialmente em ambientes hospitalares, onde deve operar com segurança e eficiência.

De acordo com Dhillon (2002), a manutenção adequada tem um impacto significativo na segurança e eficiência dos equipamentos, assegurando que operem dentro dos parâmetros ideais e reduzindo a probabilidade de falhas catastróficas que possam comprometer a segurança dos operadores e pacientes. A detecção precoce de falhas permite intervenções antes que ocorra um colapso, prevenindo acidentes e garantindo a continuidade dos serviços essenciais (Dhillon, 2002). Além disso, a Engenharia de Manutenção, com sua abordagem proativa, aumenta a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, minimizando o tempo de inatividade e garantindo que estejam sempre prontos para uso, especialmente em situações de emergência (Kardec, A.; Nascif, J, 2009).

A manutenção hospitalar possui características específicas devido à natureza crítica dos equipamentos médicos. Visto que, enquanto a indústria petroquímica ou de manufatura pode tolerar uma certa quantidade de tempo de inatividade, a falha de um equipamento hospitalar pode ter consequências imediatas e graves, colocando vidas em risco (Almeida, 2020). A norma da Anvisa RDC nº 15/2012 (Anvisa, 2012), por exemplo, estabelece requisitos para a esterilização de produtos para saúde, incluindo práticas de manutenção. Almeida (2020) também diz que outros setores podem focar mais em otimizar a eficiência operacional e reduzir custos, sem o mesmo nível de urgência em termos de segurança pessoal e imediata, o que torna a manutenção hospitalar uma prática extremamente crítica e diferenciada.

2.4.1 Tipos de manutenção

Como evidenciado no estudo apresentado por Neto (2022), os diversos tipos de manutenção (Figura 6) são essenciais para assegurar o funcionamento eficaz e contínuo de equipamentos e ativos, onde essa manutenção consiste em uma série de medidas para corrigir ou prevenir falhas e defeitos, garantindo o desempenho otimizado e seguro dos sistemas. A relevância desse procedimento está diretamente relacionada aos custos operacionais, onde uma abordagem eficiente de manutenção não apenas estende a vida útil dos equipamentos, mas também resulta em economias significativas (Kardec, A.; Nascif, J, 2009).

Figura 6: Tipos de manutenção



Fonte: Kardec, A.; Nascif, J, 2009

2.4.1.1 Manutenção corretiva

A Manutenção Corretiva engloba ações focadas na correção de defeitos ou no aprimoramento do rendimento de equipamentos. Segundo Kardec e Nascif (2009), este processo é dividido em duas principais linhas de ação: Manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada.

Onde, a manutenção corretiva não planejada, também conhecida como manutenção de emergência, se distingue por intervenções realizadas de forma reativa e, frequentemente, aleatória. Geralmente, a ausência de previsibilidade nesse tipo de manutenção acarreta em custos elevados, devido à natureza imprevista das falhas.

Já a manutenção corretiva planejada, diferentemente da abordagem reativa, se baseia em decisões gerenciais baseadas em informações prospectivas sobre o estado dos equipamentos. Esta tática possibilita a organização prévia de recursos, levando à redução de despesas e ao aprimoramento da qualidade das intervenções. Ainda que se escolha operar o equipamento até o momento do problema, a preparação antecipada assegura uma reação rápida e eficiente quando a intervenção se torna essencial.

2.4.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva assume um papel fundamental na preservação do desempenho e na extensão da vida útil dos equipamentos em ambientes industriais. De acordo com as observações de Kardec e Nascif (2009), essa abordagem visa evitar falhas e assegurar a eficiência dos equipamentos por meio de intervenções planejadas, realizadas em intervalos previamente estabelecidos.

Recentemente, um estudo conduzido por Onyeabo, Anah e Obananya (2023) reforçou essa perspectiva, descrevendo a manutenção preventiva como uma "manutenção planejada ou programada que é executada ao primeiro sinal de falha, com o intuito de prevenir ou retardar avarias e minimizar os impactos de uma quebra". Os autores ressaltam que essa estratégia se fundamenta no princípio de que "prevenir é melhor do que remediar".

As vantagens proporcionadas pela manutenção preventiva são notáveis. Conforme observado por Onyeabo, Anah e Obananya (2023), essa prática não apenas diminui a taxa de avarias, mas também aumenta a disponibilidade dos ativos, assegura a manutenção da eficiência ideal dos equipamentos e alivia a carga de trabalho da equipe de manutenção. Ademais, os autores indicam que a implementação da manutenção preventiva contribui para a melhoria da produtividade e da segurança dos trabalhadores, criando um ambiente industrial mais robusto e confiável.

2.4.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva, conforme delineado por Dhillon (2002), representa uma abordagem inovadora e sofisticada na gestão de ativos. Onde, essa prática se

fundamenta na avaliação contínua da condição dos equipamentos, permitindo a antecipação de falhas potenciais e a otimização das intervenções de manutenção. O autor ainda comenta que o principal objetivo da manutenção preditiva é aprimorar o desempenho e a durabilidade dos equipamentos. Isso se traduz na capacidade de identificar com precisão quando componentes defeituosos requerem atenção, evitando desmontes desnecessários durante as inspeções.

Além disso, essa estratégia visa aumentar a disponibilidade dos ativos, reduzir a ocorrência de manutenções corretivas não programadas e prevenir danos mais severos tanto nos componentes com problemas quanto em outras partes do sistema. Dessa forma, maximiza-se o aproveitamento da vida útil das máquinas, eleva-se a confiabilidade dos equipamentos e contribui-se para uma definição mais eficaz das prioridades nas atividades de manutenção durante as paradas no processo produtivo (Cyrino, 2015). Dhillon (2002) diz que os fundamentos da manutenção preditiva englobam a supervisão de situações, a execução de testes não invasivos, verificações visuais e a análise das condições de operação.

A manutenção preditiva pode incluir a manutenção corretiva planejada quando detecta uma possível falha ou desgaste significativo que, mesmo sem causar uma parada imediata, precisa ser corrigido para evitar danos maiores ou interrupções. Dessa forma, a manutenção corretiva planejada prevê a falha com base em dados e análises preditivas, possibilitando uma intervenção programada e controlada, melhorando a gestão de recursos e reduzindo o impacto nas operações, assegurando a resolução de problemas antes que se tornem críticos (Viana, 2012).

2.4.2 Monitoramento de condição

O monitoramento de condição emprega diversas estratégias para analisar a situação dos equipamentos. Segundo Dhillon (2002), algumas das principais estratégias incluem: Monitoramento e análise de vibrações e o monitoramento de parâmetros operacionais.

Onde, o monitoramento e análise de vibrações é frequentemente utilizada para verificar o funcionamento de maquinários que se movem em círculos e a resistência de estruturas, como em motores, bombas, compartimentos de transmissão, suportes e turbinas.

Já o monitoramento de parâmetros operacionais foca na avaliação constante de indicadores como pressão, temperatura, fluxo e composição química que pode identificar divergências em relação aos valores habituais de funcionamento, agindo como um aviso precoce para potenciais problemas no maquinário ou na produção.

2.4.3 Ensaios Não Destrutivos (END)

Estas técnicas determinam as propriedades e a qualidade de fabricação de peças de alto valor sem danificar o produto. Eles são fundamentais na manutenção preditiva, especialmente para equipamentos críticos onde a falha pode ter consequências graves. Os principais métodos de END incluem (Zolin, 2011):

2.4.3.1 Ultrassom

O ensaio por ultrassom utiliza ondas sonoras de alta frequência para detectar discontinuidades internas em materiais, podendo detectar vazamentos em sistemas sob pressão eficientemente. Zolin (2011) explica que o ensaio por ultrassom utiliza ondas mecânicas que se propagam através de um material e um transdutor que emite essas ondas. O aparelho conta o tempo desde quando a onda foi enviada e se a onda encontra uma discontinuidade no material, ela é refletida de volta ao transdutor, gerando um sinal elétrico. Esse sinal é processado e exibido na tela do equipamento, indicando a posição do eco, que corresponde à distância percorrida pela onda até a discontinuidade na peça ou material.

2.4.3.2 Termografia

Através do uso de radiação infravermelha, a termografia consegue identificar mudanças de temperatura em partes mecânicas e elétricas, tornando-se uma excelente ferramenta para a detecção de locais com alta temperatura em circuitos.

O isolamento térmico é totalmente necessário em equipamentos que utilizam calor, visto que se esse calor é perdido para o ambiente, diminui a eficiência da máquina. Onde, esse isolamento térmico pode ser danificado durante as manutenções nas tubulações (Pereira; Santos; Albuquerque, 2016), tornando a termografia uma ferramenta valiosa na verificação desse isolamento.

2.4.3.3 Inspeção visual

De acordo com Dhillon (2002), além das técnicas de monitoramento de condição e ensaios não destrutivos, a manutenção preditiva também se baseia em inspeções visuais. Estas inspeções complementam os dados obtidos por sensores e outras ferramentas, fornecendo uma visão abrangente do estado do equipamento.

As inspeções visuais abrangem a verificação de desgaste visível em componentes, identificação de vazamentos, observação de alterações na cor ou textura de superfícies e detecção de anomalias sonoras ou vibratórias durante a operação (Dhillon, 2002). Onde, a avaliação das condições operacionais envolve a análise de parâmetros de desempenho, como eficiência e consumo energético, a comparação de dados atuais com históricos de referência e a avaliação de tendências temporais.

Dhillon (2002) também diz que essas metodologias são essenciais para a identificação de problemas não detectáveis por sensores automatizados e para a contextualização dos dados coletados por outras técnicas preditivas. D

2.5 Qualificação

De acordo com a RDC 17/2010 (Anvisa, 2010), a qualificação é utilizada como forma de validação de processo de esterilização. Ainda de acordo com a RDC 17/2010, a qualificação é um “conjunto de ações realizadas para atestar e documentar que quaisquer instalações, sistemas e equipamentos estão propriamente instalados e/ou funcionam corretamente e levam aos resultados esperados”. Sendo assim uma parte crucial do plano de manutenção que valida todos os processos feitos no plano.

2.5.1 Calibração

A calibração é um processo que assegura que a medida aferida pelos instrumentos de medição estão corretas ao comparar com um padrão de referência sob determinadas condições (RDC 17/2010). É um procedimento necessário para a realização da qualificação de forma correta, visto que os manovacuômetros e sensores de temperatura serão calibrados e assim garantindo que os valores

aferidos serão os reais durante os ciclos. A calibração é realizada por uma empresa que possui os padrões de referência que possuem o selo do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), onde esse selo garante que aquele padrão de referência faz a medição de forma precisa e assertiva. O selo precisa ser renovado com determinada frequência, dependendo do padrão para garantir a qualidade de medição.

2.5.2 Qualificação de Instalação (QI)

É o processo crítico presente em ambientes de produção e sistemas computadorizados, assegurando que todos os elementos, como os equipamentos, instrumentos de medição e a infraestrutura estejam corretamente selecionados e instalados conforme as especificações estabelecidas, de acordo com a RDC 17/2010 da Anvisa (2010). A QI garante que todos os componentes essenciais estejam preparados para operar dentro dos parâmetros definidos, assegurando um ambiente de produção seguro e eficaz.

2.5.3 Qualificação de Operação (QO)

Na qualificação de operação são feitos testes para validação, onde garantem que o sistema esteja operando de forma correspondente ao esperado em todas as áreas de atuação do equipamento. Nos testes em questão, há a necessidade de todos os dispositivos envolvidos estarem plenamente calibrados.

2.5.4 Qualificação de Performance (QP)

A Qualificação de Performance assegura que o sistema continue entregando resultados consistentes e seguros ao longo do tempo, sendo fundamental para a segurança e eficácia do produto final. Conforme a RDC 17/2010 da Anvisa (2010), em alguns casos, pode-se utilizar o termo "validação de processo", reforçando a necessidade de uma análise contínua e detalhada dos equipamentos e sistemas envolvidos.

3. METODOLOGIA

Para propor uma melhoria no plano de manutenção da autoclave Baumer HI VAC MX II, foram realizados vários passos desde busca de dados até comparação entre o plano proposto e o anterior. Sendo estes passos:

3.1 Classificação da autoclave

Durante a análise da NR 13 foi realizada a classificação da autoclave conforme os requisitos da norma para determinar os tópicos da norma que a autoclave se encaixava, a fim de ajustar o plano de manutenção. Essa classificação é para determinar o potencial de risco associado, onde dois fatores principais são utilizados: Pressão Máxima de Trabalho Aceitável (PMTA) e capacidade volumétrica. A PMTA é a pressão máxima que o equipamento pode operar em condições normais de funcionamento, enquanto a capacidade volumétrica é a quantidade de volume presente no equipamento. Com isso, se utiliza o produto PV (pressão x volume) para obter um valor que deve ser encaixado nos critérios definidos pela norma, sendo eles divididos em 5 grupos (Tabela 2) (Brasil, 2022):

Tabela 2: Classificação dos grupos de vasos de pressão

Categoria	Requisitos
Grupo 1	$P.V \geq 100$
Grupo 2	$100 > P.V \geq 30$
Grupo 3	$30 > P.V \geq 2,5$
Grupo 4	$2,5 > P.V \geq 1$
Grupo 5	$P.V < 1$

O outro critério utilizado para classificação dos vasos de pressão pela NR 13 é o fluido de trabalho (Brasil, 2022). Onde são separados em (Tabela 3):

- Classe A: Fluidos inflamáveis e combustíveis com temperatura igual ou superior a 200°C, gases como hidrogênio e acetileno, e fluidos tóxicos com limite de tolerância a 20 ppm. Esses fluidos estão entre os mais perigosos devido ao alto potencial de combustão e toxicidade;
- Classe B: Fluidos combustíveis com temperatura abaixo de 200°C e fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 ppm;
- Classe C: Vapor de água, gases asfixiantes simples e ar comprimido.
- Classe D: Outros fluidos que não se enquadram nas demais categorias.

Tabela 3: Classificação vasos de pressão quanto ao fluido de trabalho

Classe A	Fluidos inflamáveis e combustíveis com temperatura igual ou superior a 200°C, gases como hidrogênio e acetileno, e fluidos tóxicos com limite de tolerância a 20 ppm
Classe B	Fluidos combustíveis com temperatura abaixo de 200°C e fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 ppm
Classe C	Vapor de água, gases asfixiantes simples e ar comprimido
Classe D	Outros fluidos que não se enquadram nas demais categorias

Com a classificação do fluido de trabalho e o potencial de risco obtidos, é utilizada uma tabela (Tabela 4) apresentada pela NR 13 para obter a classificação do vaso de pressão, separados em 5 grupos: I, II, III, IV, V. Onde, quanto menor o número do grupo, maior o risco do vaso de pressão.

Tabela 4: Classificação de vasos de pressão segundo a NR 13

Classe de Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V \geq 100	2 P.V < 100 P.V \geq 30	3 P.V < 30 P.V \geq 2,5	4 P.V < 2,5 P.V \geq 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A - Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200°C - Todos com limite de tolerância \leq 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno	I	I	II	III	III
- Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200°C - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
- Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
- Outro fluido	II	III	IV	V	V

Fonte: Norma Regulamentadora n.º 13 (Brasil, 2022)

Uma outra classificação para a autoclave foi utilizada, porém essa em relação à criticidade do equipamento. Visto que, as autoclaves são equipamentos de extrema importância nos hospitais devido ao seu papel essencial no processo de esterilização a vapor e sua operação contínua, 24 horas por dia. Contudo, para estabelecer essa criticidade, é necessário seguir critérios bem definidos. Uma análise cuidadosa permite identificar quais equipamentos demandam maior atenção na manutenção, prevenindo interrupções nos serviços do equipamento.

O método adotado neste trabalho é baseado em uma metodologia da Equipacare (2022), que foi adaptada a partir da RDC nº 185/2001. Estudos anteriores, como os de Correia (2018) e Silva (2018), demonstraram que essa abordagem é eficaz para classificar grandes volumes de equipamentos. Essa metodologia atribui uma pontuação de criticidade a cada equipamento com base em três fatores principais: sua função, o risco associado a eventuais falhas, e sua relevância dentro da classificação ABC.

O conceito central por trás da regra 80/20, também conhecido como Princípio de Pareto, que afirma que uma pequena parcela das causas é responsável pela maior parte dos efeitos (Salgado, 2022). No contexto da gestão de equipamentos, isso significa que a maioria dos recursos e atenção devem ser direcionados para uma minoria de equipamentos mais críticos.

De acordo com Equipacare (2022), a classificação ABC divide os itens em três categorias: A, B e C, de acordo com sua importância. Para realizar essa classificação, vários critérios são analisados, como o valor de aquisição do equipamento, seu impacto na receita da instituição, a criticidade para a continuidade das operações, a facilidade de substituição em caso de falha, e o tempo necessário para manutenção.

Assim, o processo inicia-se com a definição destas categorias e a atribuição de pontos correspondentes. O primeiro critério avaliado de acordo com a Equipacare (2022) é a função do equipamento, que pode ser enquadrada em uma das seguintes categorias (Tabela 5):

- Suporte a Vida: Equipamentos essenciais para manter as funções vitais do paciente após a falha ou insuficiência de um ou mais órgãos.
- Terapia: Equipamentos destinados ao tratamento de doenças e patologias, muitas vezes envolvendo a aplicação de energia ou substâncias ao corpo do paciente para modificar ou substituir a anatomia ou processos fisiológicos.
- Diagnóstico: Equipamentos utilizados para detectar informações do organismo humano e auxiliar em procedimentos clínicos, como monitores multiparamétricos.
- Análise: Equipamentos de laboratório e relacionados, como centrífugas, que são importantes para a realização de testes e análises laboratoriais, mas cuja falha não é imediatamente fatal.

- Equipamento de Apoio: Equipamentos que fornecem suporte a procedimentos diagnósticos, cirúrgicos e terapêuticos, como macas hospitalares. Embora importantes, sua falha não costuma ser diretamente fatal.

Tabela 5: Pontuação por função

Função	Pontuação
Suporte à vida	10
Terapia	8
Diagnóstico	6
Análise	4
Equipamento de apoio	2

Fonte: Equipacare (2022)

Continuando a metodologia da Equipacare (2022), os equipamentos também podem ser classificados com base no risco de acidentes (Tabela 6):

- Risco de Morte: Equipamentos cuja falha pode resultar diretamente no óbito do paciente. Este é o nível mais crítico de risco. Exemplo: Cardioversor, utilizado em situações de parada cardiorrespiratória.
- Risco de Injúria: Dispositivos que, em caso de mau funcionamento, podem causar danos permanentes ao paciente ou ao operador. Estes danos, embora graves, não são imediatamente fatais. Exemplo: Bisturi elétrico, cujo uso inadequado pode provocar queimaduras severas.
- Risco de Terapia ou Diagnóstico Falho: Equipamentos cuja falha pode levar a decisões clínicas incorretas, seja por diagnóstico impreciso ou terapia inadequada. Embora potencialmente graves, as consequências destes erros geralmente não são imediatas. Exemplo: Eletrocardiógrafo, cujas leituras incorretas podem resultar em interpretações clínicas equivocadas.

- Sem Risco: Equipamentos cuja falha não apresenta risco direto à saúde do paciente ou do operador. Estes dispositivos geralmente desempenham funções de suporte ou conforto. Exemplo: Cama hospitalar elétrica, onde uma falha pode causar inconveniência, mas não representa um risco imediato à saúde.

Tabela 6: Pontuação por risco de falha

Risco de falha	Pontuação
Morte	7
Injúria	5
Terapia ou diagnóstico falho	3
Sem risco significativo	1

Fonte: Equipacare (2022)

Por fim, de acordo com Equipacare (2022), os equipamentos também são classificados com base na importância do equipamento em relação à operação hospitalar e à credibilidade da instituição (Tabela 7):

- Grau A: Equipamentos cuja falta impacta diretamente na interrupção do serviço, perda de receita, ou credibilidade da instituição, como equipamentos de hemodinâmica. São os mais críticos em termos de operação hospitalar.
- Grau B: Equipamentos que podem impactar diretamente o cuidado ao paciente ou a receita da instituição, como aparelhos de anestesia. Embora menos críticos que os de Grau A, ainda são fundamentais para a operação eficiente do hospital.
- Grau C: A falta do equipamento não acarreta paralisação nos serviços de assistência. Ex: Oxímetro

Tabela 7: Pontuação por grau de importância

Importância ABC	Pontuação
Grau A	10
Grau B	5
Grau C	1

Fonte: Equipacare (2022)

Cada categoria recebe uma pontuação que, somada, resulta no valor da Equação 1, onde essas pontuações são representadas nas Tabelas 5, 6 e 7.

$$C = F + RF + ABC \quad \text{Equação 1}$$

Onde F, RF e ABC são, respectivamente, Função, Risco Físico e Grau de importância ABC.

3.2 Análise do manual do fabricante e do histórico do plano de manutenção anterior

Nesta etapa, foi realizada uma análise detalhada dos manuais do fabricante da autoclave Baumer HI VAC MX II, obtendo informações sobre os processos de manutenção e informações técnicas da autoclave, e feita uma comparação com o plano de manutenção atualmente em uso. O foco da análise foi em aspectos de manutenção como frequência de inspeções e vida útil dos componentes, bem como a procura de pontos de melhoria e verificação das diferenças entre o plano de manutenção anterior com o manual. Com isso, foram obtidos dados de falha e histórico de manutenção da autoclave, permitindo a análise aprofundada das tendências e a identificação de padrões de avarias e componentes críticos de desgaste.

3.3 Estudo das técnicas de ensaios não destrutivos aplicáveis a autoclaves

Uma pesquisa abrangente foi realizada para identificar e avaliar as técnicas de ensaios não destrutivos (END) mais adequadas para a autoclave em questão. Os métodos considerados incluíram ultrassom e termografia. Cada técnica foi avaliada com base em critérios como eficácia na detecção de falhas comuns em autoclaves, facilidade de implementação no ambiente hospitalar, custo, necessidade de treinamento especializado e confiabilidade dos resultados. Onde, a seleção final das técnicas foi baseada em sua eficácia para detectar falhas críticas como trincas, corrosão, vazamentos, falhas no isolamento térmico e desgaste de componentes.

3.4 Desenvolvimento de protocolos de inspeção e manutenção preditiva com foco nas principais falhas da autoclave.

Os protocolos de inspeção visual e manutenção preditiva foram elaborados com base nas informações coletadas nas fases anteriores. Esses procedimentos foram criados para garantir a detecção antecipada de falhas, empregando métodos de ensaios não destrutivos previamente escolhidos, como ultrassom e termografia, para acompanhar a condição dos componentes vitais da autoclave.

O plano de inspeção foi organizado para estabelecer intervalos regulares de verificação com base na criticidade de cada componente e na frequência das falhas detectadas. Esses intervalos foram ajustados através de uma avaliação do histórico de falhas e de uma comparação com estudos de caso sobre manutenção em autoclaves, assegurando que as ações sejam executadas de maneira proativa e eficaz.

3.5 Plano de manutenção proposto

O plano de manutenção foi ajustado tendo como base os manuais do fabricante, normas e RDC's analisados anteriormente. Onde, neste processo, foram alteradas as periodicidades de algumas atividade e incluído técnicas preditivas. O plano de manutenção proposto incluiu manutenções separadas por periodicidade,

testes de funcionamento, calibração de instrumento, qualificação térmica e requisitos da NR 13 organizados em forma de tabela.

3.6 Avaliação do impacto potencial das melhorias propostas.

Segundo Azevedo (2021), os indicadores de manutenção são ferramentas essenciais para medir e avaliar a eficiência dos processos de manutenção de equipamentos, como autoclaves, que são amplamente utilizados em ambientes hospitalares e laboratoriais para a esterilização de materiais. Continuando, o autor fala que entre os principais indicadores estão o MTTR (Tempo médio de reparo), o MTBF (Tempo médio entre falhas) e a disponibilidade, que fornecem informações valiosas sobre o desempenho, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

a) MTTR (Tempo médio de reparo):

Para fazer uma relação entre o tempo de inatividade e a produtividade de um equipamento, calcula-se o tempo médio necessário para reparar um equipamento ou sistema e restaurá-lo ao estado de operação após uma falha. Ele é importante para verificar e minimizar o tempo de inatividade com o objetivo de manter uma produtividade alta e avaliar a capacidade de uma equipe de corrigir uma falha. Sendo calculado da seguinte forma:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de reparos}} \quad \text{Equação 2}$$

b) MTBF (Tempo médio entre falhas):

Para este indicador, é utilizado o tempo médio entre falhas sucessivas de um equipamento ou sistema durante a operação normal para verificar a confiabilidade do equipamento. Onde, MTBF altos indicam tempos longos sem falhas, tendo um custo menor de manutenção. Esse indicador é calculado da seguinte forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Número de falhas}} \quad \text{Equação 3}$$

c) Disponibilidade

A disponibilidade é uma métrica que reflete a porcentagem de tempo em que o equipamento está operacional. Sendo que, para calcular a disponibilidade, será utilizado os valores de MTBF e MTTR obtidos, de modo que:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100\% \quad \text{Equação 4}$$

Assim, para avaliar o impacto potencial do novo plano de manutenção, foram utilizados o Tempo Médio entre Falhas (MTBF), Tempo Médio de Reparo (MTTR) e Disponibilidade do Equipamento. Essas métricas foram utilizadas como indicadores-chave para medir a eficácia e a eficiência do plano de manutenção proposto, permitindo uma análise objetiva dos benefícios alcançados em comparação com o plano anterior.

A avaliação foi realizada através do monitoramento e registro sistemático das atividades de manutenção e do desempenho operacional da autoclave ao longo de um período de 6 meses. O MTBF foi analisado para verificar se houve um aumento no intervalo entre falhas, indicando uma maior confiabilidade do equipamento. O MTTR foi monitorado para verificar se o tempo de reparo foi reduzido, evidenciando uma maior eficiência das equipes de manutenção. A disponibilidade do equipamento foi calculada para assegurar que o novo plano resultasse em menor tempo de inatividade, garantindo a continuidade das operações hospitalares.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1 Dados técnicos e classificação da autoclave

A classificação da autoclave quanto à NR 13 tem impacto direto na definição dos intervalos de manutenção e nas exigências de segurança, uma vez que cada categoria impõe níveis específicos de controle, inspeção e procedimentos a serem seguidos para garantir a integridade do equipamento e a segurança dos operadores do equipamento. Também é importante a classificação da autoclave entre os equipamentos do hospital para verificar a sua prioridade.

4.1.1 NR 13

A autoclave Baumer HI VAC MX II B0112 é classificada como um vaso de pressão segundo a Norma Regulamentadora NR 13 devido à sua função e características de operação. Onde, vasos de pressão são definidos como equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna, sendo utilizados para diversas finalidades, como a geração de vapor para processos de esterilização, que é o caso dessa autoclave.

Para classificar a autoclave no grupo de vasos de pressão, segundo a NR 13, foi necessário calcular o Grupo de Potencial de Risco (P.V), que é dado pela multiplicação da pressão de operação em MPa pelo volume em metros cúbicos. Sendo os valores da autoclave deste trabalho:

- Pressão Máxima de Trabalho Permitida (PMTA): 3 kgf/cm² (0,294 MPa)
- Volume interno: 542 litros (0,542 m³)

O produto da pressão e do volume é:

$$0,294 \times 0,542 \approx 0,159 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$$

Com base na combinação entre o grupo de risco ($P.V < 1$) e a classe de fluido (Classe C), a autoclave foi classificada na Categoria V, conforme a tabela 4 de categorias de vasos de pressão da NR 13. Essa classificação indica que o equipamento possui um potencial de risco relativamente baixo em comparação com

outros tipos de vasos de pressão de maior capacidade ou pressão, como aqueles que operam com fluidos inflamáveis ou tóxicos. No entanto, mesmo sendo classificada na Categoria V, a autoclave ainda deve seguir um plano de inspeção e manutenção adequado, de acordo com os requisitos da norma, para garantir a segurança operacional e evitar possíveis falhas durante o uso em ambiente hospitalar.

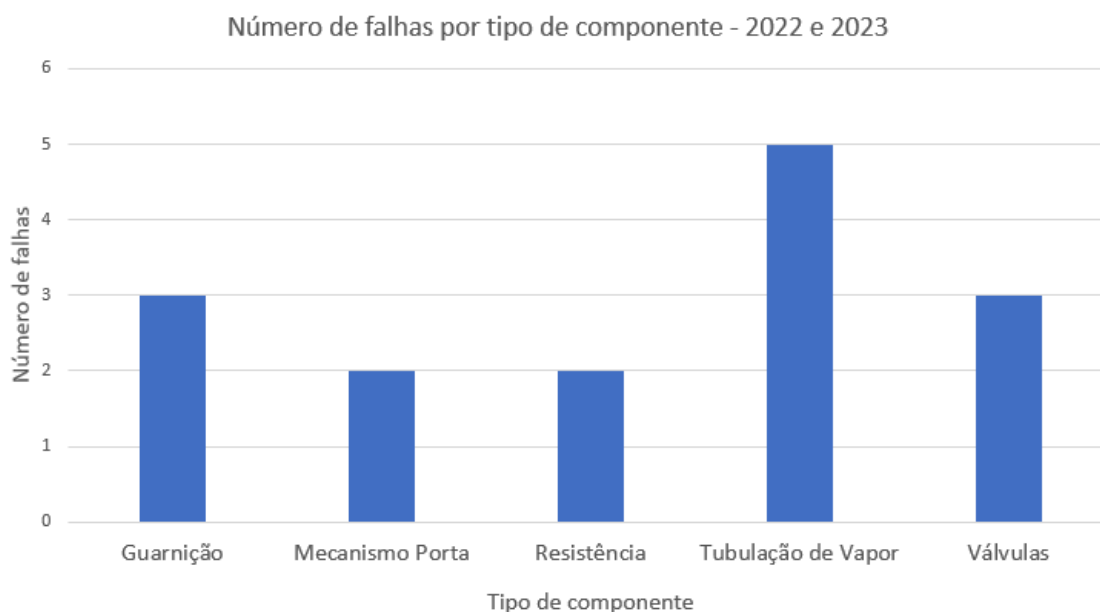
4.1.2 Criticidade

Com base nos critérios estabelecidos no tópico 2.4, a autoclave é classificada como de alta criticidade. Em termos de função, risco e grau de importância, ela apresenta, respectivamente, as seguintes pontuações: 2 pontos como equipamento de apoio, 7 pontos devido ao risco de morte, e 10 pontos, uma vez que a inatividade da autoclave impacta diretamente diversas áreas do hospital. Assim, com um total de 19 pontos, a autoclave é reconhecida como um elemento de alta criticidade, reforçando sua relevância na manutenção da segurança e eficiência nos cuidados de saúde.

4.2 Análise do histórico de manutenção

O plano de manutenção anterior tem como responsável um engenheiro mecânico com CREA ativo e aplicado desde a instalação da autoclave, seguindo os prazos apresentados no manual do equipamento e os requisitos da NR 13. Assim, para dar andamento na elaboração da proposta de melhoria do plano de manutenção foi necessário analisar as manutenções realizadas para identificar falhas e pontos de melhoria junto ao responsável. Com isso, foram obtidos dados de manutenção dos anos de 2022 e 2023 para realizar a análise e assim separar as principais falhas (Figura 7).

Figura 7: Relação dos componentes com maior número falhas



Fonte: Próprio autor

Analisando os dados apresentados na Figura 7, nota-se que houve um total de 15 falhas desses componentes mais críticos, onde em 11 falhas houve a interrupção da operação da autoclave. Todas as falhas na tubulação de vapor, válvulas e resistência causam a parada do equipamento, visto que a tubulação pode causar vazamento que é uma falha grave, enquanto problemas na resistência pode acarretar em uma esterilização ineficiente e nas válvulas pode interromper o ciclo por travamento da mesma. Por outro lado, o mecanismo da porta, em falhas mais simples, causa apenas dificuldade de abertura e fechamento da mesma, assim como os problemas mais simples da guarnição que provocam dificuldade na verificação de vedação da própria autoclave. Observa-se também que a Tubulação de Vapor registrou o maior número de falhas, com um total de 5 ocorrências. Essa alta taxa se deve à presença de várias conexões com anéis e juntas de vedação que se desgastam ao longo do tempo. E ainda, as 5 falhas foram pequenos vazamentos detectados no teste de estanqueidade, mostrando a eficácia do teste.

A guarnição e válvulas também apresentaram um número significativo de defeitos, sendo 3 falhas cada durante os 2 anos da análise. Onde, as falhas da guarnição estão relacionadas à necessidade de uma lubrificação adequada,

realizada por profissionais especializados. Além disso, é fundamental que a guarnição utilizada seja original, pois o não cumprimento dessas condições pode levar ao ressecamento e comprometer seu funcionamento. Em relação às válvulas, elas podem falhar devido à contaminação do ar comprimido por sujeira e óleo, além da umidade causada por vazamentos de vapor, que podem oxidar e desgastar suas partes móveis.

Por outro lado, as resistências e mecanismo da porta apresentaram uma incidência menor de quebras, com 2 ocorrências cada. A resistência pode sofrer corrosão se a água não for devidamente desmineralizada, o que pode resultar em uma vida útil reduzida. Enquanto o mecanismo da porta pode sofrer desgaste natural de uso devido seus contatos serem mecânicos e pneumáticos.

Um outro fator relevante é que houve outras 5 falhas na autoclave nesse período. A primeira foi na bomba de vácuo que causou queda de desempenho, onde a pressão não diminuiu o suficiente para continuar o ciclo, provocando o cancelamento do mesmo. Houve também falhas no sistema de nível de água e contatora elétrica do mesmo, assim como uma falha no pressostato e um vazamento de ar comprimido devido à mangueira estar com um pequeno furo. Sendo que, nos três primeiros casos houve a parada do equipamento.

Quando a autoclave não está em operação, processos produtivos essenciais são interrompidos. Falhas durante um ciclo de operação podem comprometer os produtos internos, levando a descartes ou reprocessamentos, o que gera desperdício e aumento nos custos operacionais. Além disso, a manutenção corretiva, frequentemente necessária após falhas inesperadas, tende a ser mais cara do que a manutenção preventiva. Em caso de falha na Tubulação de Vapor ou Guarnição, componentes mais vulneráveis, é necessário mobilizar equipes de manutenção, adquirir peças de reposição e, às vezes, realizar testes adicionais para assegurar que o equipamento retorne a um estado seguro de operação. Além disso, paradas frequentes aumentam a necessidade de um estoque maior de peças sobressalentes, resultando em custos adicionais.

4.3 Componentes de desgaste

Na Tabela 8, serão apresentados os componentes que sofrem desgaste natural devido ao uso do equipamento, assim como seu tempo de troca de acordo com o fabricante:

Tabela 8: Componentes de desgaste

Componente	Tempo de Troca
Guarnições	6 meses
Reparos de válvulas	1 ano
Filtros	6 meses
Selos das bombas	1 ano
Rolamentos, roldanas, mancais e acoplamentos	1 ano
Resistência	1 ano

Fonte: Adaptada do Manual Baumer S.A. (2022a)

Para o cronograma de manutenção proposto, foi realizada uma análise do histórico de troca de peças para avaliar a adequação da frequência de substituição dos componentes em uma autoclave. Onde, foi determinado que a frequência de troca será mantida, mas será frequente a inspeção visual destes componentes.

4.4 Técnicas de ensaios não destrutivos propostas

No presente estudo não foi possível realizar os ensaios não destrutivos de ultrassom e termografia propostos devido à falta dos equipamentos para a realização destes ensaios. Assim, foram analisados estudos de caso (Da Silva, 2020) para validá-lo e inseri-lo no cronograma. Onde, a termografia e a análise por ultrassom se destacam como técnicas não destrutivas valiosas, permitindo a detecção precoce de falhas e o monitoramento contínuo da integridade dos

equipamentos, onde de acordo com Da Silva (2020), esses tipos de ensaio foram bastante eficazes na manutenção preditiva.

A termografia foi proposta no plano de manutenção para fazer a identificação de superaquecimento que pode indicar falhas de isolamento ou problemas nas vedações, que provocam o vazamento de vapor (Dos Santos, 2012). Por outro lado, a análise por ultrassom permite a verificação da integridade estrutural do equipamento, detecção de trincas, descontinuidades, corrosão e também identificação de falhas em soldas ou juntas (Da Silva, 2020). Visto que testes mais avançados para verificar a integridade do equipamento tem uma frequência muito baixa, a análise por ultrassom permite fazer essa verificação de forma mais rápida e mais frequente.

4.5 Inspeção visual

A inspeção visual aplicada na proposta de melhoria do plano de manutenção foi utilizada para verificar tubulações, guarnições, gerador de vapor, bomba de vácuo, bomba d'água e válvulas enquanto a autoclave estava desligada e fria para uma melhor análise. Com isso, eram realizadas análises para determinar se era necessária a parada do equipamento para a troca imediata, como no caso de algum componente com vazamento de vapor, ou se poderia realizar o planejamento de troca quando o componente chegasse no estoque fazendo uma corretiva planejada caso o componente não fosse crítico. Dessa forma, a inspeção visual foi a principal análise que determinava a realização das corretivas planejadas ou troca conforme preventiva, desde que estivesse dentro do prazo máximo definido pela norma ou manual para aquele componente. A inspeção visual no plano de manutenção foi considerada de duas formas, onde a primeira era uma inspeção mais superficial, podendo acontecer até mesmo com a autoclave funcionando e uma inspeção mais profunda para verificar desgaste de equipamentos, corrosão, rachaduras e acúmulo de minerais.

4.6 Proposta de melhoria para o plano de manutenção

O plano de manutenção anterior seguia rigorosamente as diretrizes dos manuais do fabricante, abrangendo manutenções preventivas, corretivas,

qualificações térmicas e calibrações. Apesar de parecer uma abordagem segura, essa metodologia apresentava limitações que afetavam a eficácia e o desempenho dos equipamentos.

Os manuais oferecem diretrizes genéricas que não levam em consideração as características específicas de cada instalação, como variações na qualidade da água, intensidade de uso, condições ambientais e horários de operação. Seguir essas orientações de forma inflexível pode resultar em manutenções insuficientes, aumentando a probabilidade de falhas. Assim, o plano de manutenção proposto é mais rígido com os prazos propostos pelo manual do equipamento e pela NR 13, onde nenhum dos critérios é descumprido, o plano é mais rígido ou equivalente aos prazos.

O novo plano de manutenção proposto incorpora a manutenção preditiva e técnicas como ensaios não destrutivos e inspeções visuais regulares. Dessa forma, uma avaliação mais precisa do estado dos equipamentos e a identificação de problemas antes que se agravem é possível. Como destacado por Pires e Okada (2020), a aplicação da manutenção preditiva aumenta a previsibilidade de falhas, reduzindo o risco de danos significativos à produção e diminuindo os custos de manutenção e o tempo de reparo. Essa abordagem auxilia as equipes de manutenção a definir prioridades e planejar intervenções de maneira mais eficaz.

Outro fator importante na manutenção preditiva implementada foi a análise da qualidade da água utilizada pela autoclave. O esterilizador utiliza água desmineralizada que é tratada por uma osmose reversa para evitar a formação de depósitos minerais que podem prejudicar seu funcionamento, causar corrosão e reduzir a eficiência do equipamento. A água desmineralizada protege os componentes internos, melhora a qualidade do vapor para uma esterilização mais eficaz, mantém a precisão dos sensores de temperatura e pressão e aumenta a eficiência energética. Isso garante uma maior durabilidade do equipamento e processos de esterilização mais seguros e eficazes. Assim, era necessário verificar a condutividade da água na saída da osmose reversa frequentemente para garantir essa desmineralização e fazer o controle. Visto que, uma água desmineralizada possui uma baixa condutividade elétrica, assim no medidor de condutividade deve possuir um valor baixo.

O cronograma de manutenção foi ajustado para garantir que as intervenções fossem realizadas em intervalos que equilibrassem a eficiência operacional e a

necessidade de paradas para manutenção, evitando interrupções desnecessárias no uso do equipamento. A gestão de estoque foi aprimorada com a implementação de um sistema de controle de peças sobressalentes e consumíveis, assegurando que os itens essenciais para a manutenção estivessem sempre disponíveis. Foram definidos níveis mínimos e máximos de estoque para cada componente, com base na criticidade do item e no tempo de reposição. Além disso, o sistema de gestão de estoque foi integrado ao cronograma de manutenção, possibilitando o planejamento antecipado da reposição de componentes que apresentam desgaste mais frequente. Os níveis mínimos do estoque foram definidos de forma empírica analisando o histórico de quebra das peças e avaliando o valor das peças para que o cliente, nesse caso o hospital, concorde em fazer a compra dos mesmos. Esses níveis mínimos serão avaliados a cada 3 meses para verificar se há necessidade de alteração.

A melhoria contínua também foi incorporada ao plano de manutenção integrado por meio da implementação de um processo de avaliação periódica das práticas adotadas. Indicadores de desempenho, como MTTR e MTBF, foram monitorados continuamente para identificar oportunidades de aprimoramento. Observações relevantes durante as inspeções foram registradas para facilitar a identificação de tendências de desgaste e a previsão de possíveis falhas, permitindo intervenções planejadas e evitando paradas inesperadas da autoclave.

4.6.1 Gestão de estoque

Com base na análise do histórico de manutenção do equipamento, foi definido que era necessário estoque de guarnições, componentes do gerador de vapor, componentes da tubulação de vapor e válvulas pneumáticas. Os componentes do gerador de vapor considerados para o estoque foram os anéis de vedação da resistência, visto que a deterioração da resistência pode ser detectado durante a inspeção e seu valor é elevado. Por fim, os componentes da tubulação de vapor vão desde anéis de vedação até conexões, filtros e válvulas. Assim, o estoque foi focado em anéis de vedação, juntas e filtros devido ao valor mais elevado dos outros itens e variações de tamanho dos outros itens.

Entretanto, os outros itens são comprados conforme a preventiva, onde independente se o componente está com vida útil para continuar rodando ou não, ele é comprado para a data prevista de troca e fica em estoque caso o antigo tenha vida útil suficiente para ser utilizado e é programada uma manutenção corretiva planejada.

4.6.2 Otimização do cronograma de manutenção

Assim, foi implementado manutenção preditiva, testes de verificação do equipamento e testes de qualidade de esterilização conforme as normas e resoluções estudadas. Além disso, o cronograma também contém a calibração periódica dos instrumentos de medição presentes na autoclave, assim como a qualificação térmica para verificar a qualidade de esterilização dos instrumentos.

Com isso, o cronograma foi dividido por periodicidade, tipo de manutenção, e ação a ser executada (Tabela 9):

Tabela 9: Cronograma de manutenção proposto

Plano de Manutenção		
Atividades	Periodicidade	Tipo de Manutenção
Testes de qualidade de funcionamento		
Teste Bowie & Dick	Diário	Teste
Leak Test (Estanqueidade)	Diário	Teste
Teste Bowie & Dick com câmara vazia	Mensal	Teste
Manutenção Diária		
Verificação dos instrumentos do painel da autoclave	Diário	Preditiva
Manutenção Semanal		
Limpeza do dreno	Semanal	Preventiva

Limpeza da câmara interna da autoclave	Semanal	Preventiva
Verificação da condutividade da água	Semanal	Preditiva
Lubrificação das guarnições	Semanal	Preventiva
Ensaio de Termografia	Semanal	Preditiva
Manutenção Mensal		
Inspeção das avarias nas guarnições	Mensal	Preditiva
Inspeção do sistema da porta	Mensal	Preditiva
Inspeção dos componentes do gerador de vapor	Mensal	Preditiva
Inspeção do sistema Pneumático (mangueiras, conexões e válvulas)	Mensal	Preditiva
Inspeção de filtros do sistema de vapor	Mensal	Preditiva
Teste bomba de vácuo e bomba d'água	Mensal	Preditiva
Inspeção das válvulas	Mensal	Preditiva
Inspeção do quadro elétrico	Mensal	Preditiva
Manutenção Trimestral		
Limpeza câmara do gerador de vapor	Trimestral	Preventiva
Inspeção de toda a tubulação (Incluindo ensaio de ultrassom)	Trimestral	Preditiva

Troca das juntas de vedação do gerador de vapor	Trimestral	Preventiva
Inspeção dos assentos e reparos das válvulas	Trimestral	Preditiva
Inspeção do sistema de controle de nível de água no gerador de vapor	Trimestral	Preditiva
Troca do filtro de entrada de ar	Trimestral	Preventiva
Manutenção Semestral		
Troca das guarnições	Semestral	Preventiva
Inspeção de todos os componentes da autoclave	Semestral	Preditiva
Inspeção do sistema de controle (Pressão e temperatura)	Semestral	Preditiva
Manutenção Anual		
Troca do reparo das válvulas	Anual	Preventiva
Troca do selo das bombas de vácuo e vapor	Anual	Preventiva
Troca das resistências	Anual	Preventiva
Troca de rolamentos, roldanas, mancais e acoplamentos	Anual	Preventiva
Verificação de qualidade de operação		
Calibração dos instrumentos de medição e controle	Anual	Qualidade

Qualificação Térmica	Anual	Qualidade
Requisitos NR 13		
Inspeção de segurança externa	5 anos	Preventiva
Inspeção de segurança interna	10 anos	Preventiva
Teste Hidrostático	10 anos	Preventiva

Fonte: Próprio autor.

As periodicidades estabelecidas no plano de manutenção proposto foram definidas com base no histórico de falhas dos componentes, de forma a realizar a verificação ou substituição antes do tempo médio de vida útil do componente. Em outras palavras, caso o componente apresente falhas a cada 2 meses, a troca será programada para ocorrer mensalmente. Já para um componente que falhe a cada 5 meses, a verificação será realizada a cada 3 meses. Porém, essa determinação foi apenas inicial, onde a ideia é continuar o monitoramento dessa vida útil dos componentes e ajustar o plano de manutenção frequentemente a fim de aprimorá-lo ao máximo.

Também, durante a inspeção, se o profissional responsável identificar que o componente não está em condições adequadas para continuar o funcionamento, mesmo que não esteja na data de troca pela preventiva, a troca é adiantada e o componente é trocado ou agendado uma corretiva planejada para quando a peça nova chegar, desde que esteja dentro dos prazos da nr 13 e do manual da autoclave.

4.7 Melhoria contínua

A melhoria contínua é um aspecto fundamental do plano de manutenção. Através de avaliações periódicas das práticas adotadas, o plano se mantém atualizado e eficaz. Indicadores de desempenho, como disponibilidade, MTBF e MTTR são monitorados constantemente para identificar oportunidades de

aprimoramento. Os dados de falhas e substituição de peças também são essenciais para esse monitoramento, pois ajudam a identificar a frequência ideal para a realização de determinadas ações de manutenção. Além disso, feedbacks das equipes de manutenção e operadores são considerados para ajustar os protocolos e procedimentos, garantindo que o plano se mantenha alinhado com novas tecnologias, mudanças normativas e experiências operacionais adquiridas.

Para complementar esse monitoramento, foi implementado um sistema de registro e análise de dados que permite um acompanhamento detalhado das condições da autoclave. As informações coletadas durante as inspeções preditivas e preventivas são registradas e analisadas ao longo do tempo, possibilitando a identificação de tendências de desgaste e o monitoramento contínuo do equipamento.

4.8 Impacto das melhorias propostas no plano

Para a verificação do impacto das melhorias propostas, foram calculados os indicadores de disponibilidade, Tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparo (MTTR) do equipamento no período de 6 meses que foi realizado o estudo. E para comparar o resultado, também foram calculados os mesmos indicadores para o período de 2022 e 2023. Para os cálculos do MTBF, foi necessário obter o tempo médio que a autoclave efetivamente estava em operação. Para encontrar esse valor, foi obtida a média de ciclos realizados em 1 dia e também o tempo médio dos ciclos, onde foi encontrado o valor de 7 ciclos por dia com média de 53 minutos cada (6,18 horas por dia).

Assim, a equação foi adaptada, onde o tempo total de operação em unidade de tempo foi substituído pelo número de ciclos para realizar a análise por tempo e por número de ciclos, onde em ambos os casos foi multiplicado o valor por 730 dias (2 anos). Dessa forma, utilizando a equação 3:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Número de falhas}} = \frac{4513,84 \text{ horas}}{20 \text{ falhas}} = 225,69 \frac{\text{horas}}{\text{falha}} = 255,5 \frac{\text{ciclos}}{\text{falha}}$$

Agora, para o MTTR foi necessário obter o tempo de reparo de manutenções corretivas realizadas no equipamento. Assim, utilizando a equação 2, temos que:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de falhas}} = \frac{373 \text{ horas}}{20} = 18,65 \frac{\text{horas}}{\text{reparo}}$$

Com isso, é possível calcular a disponibilidade por meio da equação 4 utilizando os valores de MTBF e MTTR. Dessa forma, temos:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100 = \frac{225,69}{(225,69 + 18,65)} * 100 = 92,37\%$$

Agora, para realizar a comparação entre os dados e verificação do impacto da implementação do plano de manutenção de forma parcial, foram calculados os indicadores para o período dos 6 meses de manutenção monitorados. Onde:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Número de falhas}} = \frac{1260,87}{4} = 315,22 \frac{\text{horas}}{\text{falha}}$$

Continuando, para o cálculo do MTTR, temos que:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de falhas}} = \frac{53 \text{ horas}}{4} = 13,25 \frac{\text{horas}}{\text{reparo}}$$

Concluindo, a disponibilidade foi calculada da seguinte forma:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100 = \frac{315,22}{(315,22 + 13,25)} * 100 = 95,97\%$$

Tabela 10: Comparação dos indicadores de manutenção

Indicadores de manutenção	Plano de manutenção anterior	Plano de manutenção proposto
MTBR (horas)	255,5	315,22
MTTR (horas)	18,65	13,25
Disponibilidade	92,37%	95,97%

Para facilitar a análise, foi feita uma tabela compilando os resultados dos indicadores (Tabela 10). Analisando a tabela, nota-se que houve uma melhora nos valores de MTBF, MTTR e Disponibilidade do período com o plano de manutenção

proposto. Onde, o MTBF apresentou um aumento de 225,7 horas para 315,22 horas, o que representa uma melhora de 39,67%. Sendo que, essa alteração indica uma melhora na confiabilidade do equipamento, sugerindo que falhas serão menos frequentes e também que a empresa terá menor custo com esse equipamento pois reduz o tempo de parada e o custo de peças.

Quanto ao MTTR, nota-se uma redução de 18,65 horas para 13,25 horas, o que representa uma diminuição de cerca de 29% no tempo médio de reparo. Assim, isso reflete uma maior eficiência nas ações de manutenção corretiva, possivelmente resultante de melhorias nos processos de diagnóstico, disponibilidade de peças de reposição ou capacitação da equipe de manutenção.

Como consequência direta das melhorias no MTBF e MTTR, a disponibilidade do equipamento/sistema, calculada através destes 2 indicadores, aumentou de 92,37% para 95,97%. Este aumento de 3,6 pontos percentuais na disponibilidade representa uma otimização significativa no tempo útil de operação, o que pode se traduzir em maior produtividade e redução de custos associados a paradas não programadas.

Entretanto, é importante ressaltar que, embora os resultados apresentem uma melhoria significativa nos indicadores de MTBF, MTTR e disponibilidade, deve-se interpretar esses dados com cautela devido à diferença substancial nos períodos de análise.

O primeiro conjunto de dados foi coletado ao longo de 730 dias (aproximadamente 2 anos), proporcionando um espaço amostral robusto e mais representativo do desempenho do sistema a longo prazo. Este período extenso permite a captura de uma variedade maior de condições operacionais, sazonalidades e eventos que podem afetar o desempenho do equipamento.

Em contraste, o segundo conjunto de dados, obtido após a implementação parcial do plano de manutenção, abrange apenas um período de 6 meses. Este intervalo mais curto, embora mostre resultados promissores, pode não ser suficiente para estabelecer uma tendência definitiva ou capturar todos os possíveis cenários que o sistema pode enfrentar ao longo do tempo. Outro fator é que o plano de manutenção proposto engloba ações realizadas semestralmente e anualmente, assim não foi possível verificar a viabilidade prática dessas ações e coletar seus resultados devido ao período de apenas 6 meses de estudo.

Por fim, como Pires e Okada (2020) concluíram em seu trabalho, a implementação de manutenção preditiva pode reduzir as falhas nos equipamentos em até 60% e reduzir o tempo de máquina parada em até 80%. Ou seja, ainda há possibilidade de melhorar mais o plano de manutenção por meio da finalização da implementação do plano de manutenção proposto e do refino dele por meio de melhoria contínua.

5. CONCLUSÃO

Este projeto teve como objetivo propor melhorias no plano de manutenção de uma autoclave utilizada em ambientes hospitalares, visando aumentar sua confiabilidade, disponibilidade e eficiência operacional. A partir da análise do histórico de manutenção e da implementação de novas técnicas e abordagens, foi possível observar resultados significativos em período de 6 meses.

As principais melhorias propostas incluíram a sugestão de periodicidade de técnicas de manutenção preditiva, como ensaios não destrutivos de termografia e ultrassom, com base nos estudos de caso. Além disso, o cronograma de manutenção foi otimizado, integrando inspeções visuais mais frequentes e ajustando os intervalos de manutenção com base no desgaste real dos componentes, ao invés de seguir estritamente as recomendações do fabricante. A gestão de estoque foi integrada de forma mais estratégica, contribuindo para reduzir o tempo de inatividade do equipamento durante as manutenções. Um foco na melhoria contínua foi estabelecido através da implementação de um sistema de registro e análise de dados, permitindo um monitoramento mais eficaz do desempenho do equipamento e a identificação de oportunidades de melhoria.

Os resultados iniciais, embora baseados em um período relativamente curto de 6 meses e também em uma implementação parcial do plano de manutenção proposto, demonstraram melhorias significativas nos principais indicadores de desempenho. O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) aumentou em 39,67%, passando de 225,7 para 315,22 horas. O Tempo Médio de Reparo (MTTR) diminuiu em 29%, de 18,65 para 13,25 horas. Conseqüentemente, a disponibilidade do equipamento aumentou de 92,37% para 95,97%, um acréscimo de 3,6 pontos percentuais. Estas melhorias indicam um aumento na confiabilidade do equipamento, maior eficiência nas ações de manutenção corretiva e uma otimização significativa no tempo útil de operação.

No entanto, é importante ressaltar que o período de análise após a implementação das melhorias (6 meses) é relativamente curto em comparação com o período anterior de 2 anos. Para uma avaliação mais robusta e representativa, recomenda-se continuar o monitoramento e coleta de dados por um período mais extenso para validar a sustentabilidade das melhorias observadas. Além disso, é

necessário implementar completamente todas as ações propostas no plano de manutenção, incluindo aquelas programadas para intervalos semestrais e anuais.

A proposta de melhoria do plano de manutenção da autoclave hospitalar demonstrou resultados promissores, indicando um caminho potencial para aumentar significativamente a eficiência operacional, reduzir custos e, mais importante, melhorar a segurança e confiabilidade deste equipamento crítico em ambientes hospitalares. A continuidade da implementação, monitoramento e refinamento deste plano tem o potencial de trazer benefícios substanciais a longo prazo para a instituição de saúde e, por extensão, para a qualidade do atendimento ao paciente. O sucesso inicial deste projeto destaca a importância de uma abordagem proativa e baseada em dados para a manutenção de equipamentos médicos críticos, abrindo caminho para futuras melhorias e inovações nesta área vital para o cuidado da saúde.

Sugere-se como trabalhos futuros um estudo de longo prazo para avaliar a eficácia completa do plano de manutenção proposto. Isso permitiria uma análise mais robusta dos indicadores de desempenho (MTBF, MTTR e disponibilidade) ao longo de um período mais extenso, capturando variações sazonais e tendências de longo prazo. Assim como fazer uma análise de custos de manutenção, comparando o plano anterior e o plano de manutenção proposto e também analisar o custo reduzido ao longo do mês.

Pesquisas adicionais também poderiam focar na implementação das técnicas de ensaios não destrutivos propostas aplicadas às autoclaves (termografia e ultrassom), onde iriam seguir o cronograma de ensaios não destrutivos propostos (Tabela 9)

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 11140-3:2020: Esterilização de produtos para saúde - Indicadores químicos - Parte 3: Indicadores de classe 2 para ensaios de penetração de vapor. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ALMEIDA, L. Manutenção hospitalar: como fazer o planejamento e controle de forma eficiente. Nexxto, 2020. Disponível em: <https://nexxto.com/manutencao-hospitalar-como-fazer-o-planejamento-e-controle-de-forma-eficiente/>. Acesso em: 20 set. 2024.

ANS - AGÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE SUPLEMENTAR. ANS alerta sobre o controle das infecções hospitalares. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ans/pt-br/assuntos/noticias/qualidade-da-saude/ans-alerta-sobre-o-controle-das-infecoes-hospitalares>. Acesso em: 20 set. 2024.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Critérios diagnósticos de infecções relacionadas à assistência à saúde. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2013. (Série - Segurança do Paciente e Qualidade em Serviços de Saúde).

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Programa nacional de prevenção e controle de infecções relacionadas à assistência à saúde (PNPCIRAS) 2021 a 2025. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/pnpciras_2021_2025.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Programa Nacional de Prevenção e Controle de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (PNPCIRAS) 2016 – 2020. 2016. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33852/3074175/PNPCIRAS+2016-2020/f3eb5d51-616c-49fa-8003-0dcb8604e7d9>. Acesso em: 20 ago. 2024.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 15, de 15 de março de 2012. Dispõe sobre requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 mar. 2012. Seção 1. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0015_15_03_2012.html. Acesso em: 21 jun. 2024.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 17, de 16 de abril de 2010. Dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 abr. 2010. Seção 1. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/res0017_16_04_2010.html. Acesso em: 21 jun. 2024.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 185, de 22 de outubro de 2001. Dispõe sobre o registro de produtos médicos no Brasil. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 out. 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

AZEVEDO, T. C. et al. Engenharia de manutenção: uma revisão de indicadores de manutenção e suas inter-relações. Anais, 2021.

BAUMER, S. A. Manual de instruções de uso autoclave Baumer HI VAC MX II. Blumenau: Baumer, 2020.

BAUMER, S. A. Manual do usuário autoclave Baumer HI VAC MX II. 2. ed. Blumenau: Baumer, 2022a. 45 p.

BAUMER, S. A. Manual técnico de manutenção autoclave Baumer HI VAC MX II. Blumenau: Baumer, 2022b. 47 p.

BAUMER, S. A. Folheto técnico autoclave Baumer Hi Vac MX II. Blumenau: Baumer, 2020. Disponível em: https://baumer-front.s3.amazonaws.com/aceso_restrito/1600354021ft.01.09.0009__folheto_tecnico_hi_vac_mx_ii_1.001.pdf. Acesso em: 20 jul. 2024.

BORINI. Geradores de vapor. 2019a. Disponível em: <https://www.borini.com.br/categoria-produto/baumer/esterilizacao-e-controle-de-infeccao/geradores-de-vapor/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

BORINI. Hi-Vac MX II. Curitiba, 2019b. Disponível em: <https://www.borini.com.br/produto/hi-vac-mx-ii/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora nº 13: caldeiras, vasos de pressão e tubulações. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, atualizada em 01 de julho de 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora nº 34: Condições de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-34-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

CASSIOLATO, C. Medição de pressão: tudo o que você precisa conhecer. Sertãozinho: Smar Equipamentos Industriais, 2008. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-1-543ebf8b1e0a2.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

CORREIA, A. L. T. Avaliação do grau de criticidade dos equipamentos médico-hospitalares das UTIs da Maternidade Escola Januário Cicco. 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

CYRINO, L. Manutenção Preditiva, conceito e aplicação. 2015. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

DA SILVA, E. R. Estudo do uso da técnica de termografia associada ao medidor de espessura ultrassônico como método de manutenção preditiva em tubulações industriais de carregamento de grãos. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2020. Disponível em: <https://ppgemec.furg.br/dissertacoes-e-teses/47-publicacoes-de-2020/198-12672dissertacao-everton-rodrigues-da-silva>. Acesso em: 15 set. 2024.

DHILLON, B. S. Engineering Maintenance: A Modern Approach. Boca Raton: CRC Press, 2002.

DOS SANTOS, C. M. R. M.; VOLL, L. G. O emprego da termografia na inspeção preditiva. Bolsista de Valor, v. 2, p. 113-120, 2012.

EQUIPACARE. Como priorizar a manutenção de equipamentos médicos pelo método criticidade. 2015. Elaborado por Rodrigo Santos. Disponível em: <https://equipacare.com.br/manutencao-de-equipamentos-criticidade/>. Acesso em: 09 ago. 2024.

FARRERO, J. C.; TARRÉS, L. G.; LOSILLA, C. B. Optimization of replacement stocks using a maintenance programme derived from reliability studies of production systems. Industrial Management & Data Systems, v. 102, n. 4, p. 188-196, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/02635570210423226>

FOULD, J.; ANDREW, S.; VISWANATHAN, R. Hydrotesting of Fossil Plants Components. International Journal of Pressure Vessels & Pipping, v. 81, 2004.

GIL, A. C. et al. Avaliação microbiológica de superfícies em terapia intensiva: reflexões sobre as estratégias preventivas de infecções nosocomiais. Revista Enfermagem UERJ, v. 26, e26388, 2018.

HAYMAN, W. A. The Theory and Practice of Preventive Maintenance. Journal of Clinical Engineering, p. 31-36, jan/fev, 2003.

IPQ - Instituto Português da Qualidade. NP EN 13306:2007: Manutenção – Terminologia de manutenção. Lisboa: IPQ, 2007.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KHAN, S. H. et al. Eddy current detection of changes in stainless steel after cold reduction. Computational Materials Science, v. 43, n. 4, p. 623-628, Oct 2008.

LACHMAN, L.; LIEBERMAN, H. A.; KANIG, J. Teoria e prática na indústria farmacêutica. 2. ed. Portugal: Calouste Gulbenkian, 2010. 1517 p.

MARCORIN, R. W.; LIMA, C. R. C. Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. 2003.

MARQUES, V. D. Apostila – Ensaios Mecânicos Destrutivos e Não Destrutivos. Universidade Federal de Pelotas, 2022.

MIRANDA, V. B.; CAMPOS, A. C. V.; VIEIRA, A. B. R. Infecções relacionadas à assistência à saúde nos hospitais de Belém, Pará, Brasil. Revista Saúde & Ciência, v. 9, n. 2, p. 53-63, 2020.

MIRANDA, B. O. A. P. Análise de falha de um gerador de vapor utilizado em autoclave. 2018.

MONTEIRO, J. S. Manual de Utilização - Esterilizador Horizontal. São Mamede de Infesta, 2022.

MOREIRA, H. A. Avaliação do desempenho de técnicas não destrutivas: um estudo de caso na inspeção de componentes para molas pneumáticas. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

NETO, F. M. M. A.; DE ARAUJO, J. E. Processo de melhoria evidenciado na manutenção preventiva em equipamentos hospitalares. RCMOS-Revista Científica Multidisciplinar O Saber, v. 2, n. 1, p. 329-337, 2022.

NOVAK, F. R. Autoclavagem. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2015. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material13.htm>. Acesso em: 18 ago 2024.

ONYEABO, L. I.; ANAH, S. A.; OBANANYA, C. G. Preventive Maintenance Practices and Organizational Performance of Selected Tissue Firms in Anambra States. International Academy Journal of Management Annals, v. 8, n. 5, p. 42-54, agosto 2023. DOI: 2721425621854.

PEREIRA, J. A. V. Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos. 2013. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

PEREIRA, J. S. F. Análise de efeito de teste hidrostático em vasos de pressão. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PEREIRA, W. A. A.; SANTOS, B. N.; ALBUQUERQUE, R. L. de. A importância do isolamento térmico em caldeiras para geração de energia em termoeletricas. In: MOSTRA DE PESQUISA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DEVRY BRASIL, 7., 2016, Belém; Caruaru; Fortaleza; João Pessoa; Manaus; Recife; Salvador; São Luís; São Paulo; Teresina. Anais [...]. [S. l.]: DeVry Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/viimostradevry/29683-a-importancia-do-isolamento-termico-em-caldeiras-para-geracao-de-energia-em-termoeletricas>. Acesso em: 24 set. 2024.

PIRES, C. A.; OKADA, R. H. Manutenção Preditiva: estratégia de produção e redução de custos. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 635-647, 2020.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Disinfection and sterilization: an overview. *American Journal of Infection Control*, v. 41, n. 5, p. S2-S5, 2013.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Disinfection, sterilization, and control of hospital waste. In: BENNETT, J. E.; DOLIN, R.; BLASER, M. J. (Eds.). *Mandell, Douglas, and Bennett's principles and practice of infectious diseases*. 8. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2015. p. 3294-3309.

SALGADO, A. A. R. Produção científica dos professores de cursos de Geografia das universidades federais de Minas Gerais analisada sob a ótica da Teoria das Elites (Princípio de Pareto). *Revista Geografias*, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Produção-científica-dos-professores-de-cursos-de-de-Salgado/5bca37bfbfcd9fe23905384e078aa83bff0fec61>. Acesso em: 28 jul. 2024.

SILVA, D. C. Avaliação da criticidade de equipamentos em uso no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia. 2018. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SILVA, J. P. B. Verificação da estrutura de suporte de vaso de pressão submetido a um teste hidrostático: estudo de caso. 2022. TCC (Graduação) - Curso não especificado, Instituição não especificada, Local não especificado, 2022.

VIANA, H. R. G. PCM – Planejamento e Controle de Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

ZOLIN, I. *Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas*. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 102 p.