

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Filipe de Paula Lopes

**ELABORAÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM
UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM HOSPITAL PÚBLICO
FEDERAL**

Juiz de Fora

2019

Filipe de Paula Lopes

**ELABORAÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM
UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM HOSPITAL PÚBLICO
FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves

Juiz de Fora

2019

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

ELABORAÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM
UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM HOSPITAL PÚBLICO
FEDERAL / Filipe de Paula Lopes. – 2019.

59 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves

Dissertação – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA,
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA.
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 2019.

Filipe de Paula Lopes

**ELABORAÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM
UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM HOSPITAL PÚBLICO
FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 8 de novembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Carlos Renato Pagotto
Universidade Federal de Juiz de Fora

Eng. Marco Aurélio Müller
Engenheiro mecânico e mestrando em ambiente
construído

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por guiar meu caminho pautado no amor ao próximo.

Aos meus pais, Adão e Sebastiana, por todo o apoio, amor, dedicação e paciência durante minha formação pessoal e acadêmica.

À minha namorada, Pricila, por estar comigo em todos os momentos, me ajudando, apoiando minhas decisões e construindo um futuro junto comigo.

Aos meus irmãos Márcio e Ana Paula, por sempre me apoiarem nos estudos, desde minha infância.

Agradeço ao meu orientador Luiz Alves, pela disponibilidade de me orientar, pelo tempo e auxílio, além de todos os professores do curso, que ajudaram em minha formação.

Agradeço aos meus amigos Lucas e Tales por compartilharem essa jornada comigo desde o princípio, sempre me ajudando nas dificuldades encontradas, e a todos os colegas de curso que me ajudaram e compartilharam diversas experiências.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora e seus funcionários, por toda a estrutura fornecida, possibilitando um ensino público, gratuito e de excelência a todos os alunos e pela grande contribuição para a comunidade.

*"A manutenção é isto:
quando tudo vai bem,
ninguém se lembra que existe,
quando tudo vai mal,
dizem que não existe,
quando é para gastar,
acha-se que não é preciso que exista,
porém, quando realmente não existe,
todos comentam que deveria existir."*

(Celso Casarin Henriques)

RESUMO

A gestão da manutenção de equipamentos é de grande importância para manter a disponibilidade dos mesmos. A manutenção preventiva é uma das práticas mais utilizadas atualmente, quando o objetivo é evitar as falhas, mantendo o melhor desempenho do equipamento por meio de ações periódicas como inspeções, limpeza, lubrificação e troca de elementos. Neste trabalho, foi elaborado um plano de manutenção preventivo para uma central de refrigeração de um hospital público, com o objetivo de manter o correto funcionamento do equipamento, garantindo a qualidade do ar dos ambientes refrigerados. O equipamento é responsável pela climatização de três andares do hospital, que incluem salas de cirurgia, de recuperação, de exames e laboratórios. Os resultados foram obtidos com auxílio de dados do equipamento, manuais e normas, utilizando também a matriz de Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA), para determinar os componentes mais críticos do sistema.

Palavras-chave: Plano de Manutenção. Central de Refrigeração. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

Managing equipment maintenance is of great importance to maintain equipment availability. Preventive maintenance is one of the most commonly used practices today, when the goal is to prevent failures by maintaining the best performance of the equipment through periodic actions such as inspections, cleaning, lubrication and element replacement. In this work, a preventive maintenance plan was elaborated for a refrigeration center of a public hospital, with the objective of maintaining the correct functioning of the equipment, allowing the quality of the cooled air. The equipment is responsible for the air conditioning of three floors of the hospital, operating rooms, recovery, exams and laboratories. The results were used with the aid of equipment data, manuals and standards, also using a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) matrix to determine the most critical system components.

Key-words: Maintenance plan. Cooling Center. Preventive maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo plano de manutenção de um trem laminador	24
Figura 2 – Esquema de representação de um sistema de refrigeração central tipo <i>fan-coil</i>	26
Figura 3 – Esquema ciclo de refrigeração.	28
Figura 4 – Ciclo teórico Pressão-Entalpia de refrigeração por compressão de vapor.	28
Figura 5 – Esquema ciclo de refrigeração de um <i>Chiller</i>	30
Figura 6 – Dados físicos do equipamento estudado.	32
Figura 7 – Dimensões e espaçamentos do equipamento estudado.	33
Figura 8 – Pressão estática disponível do sistema.	34
Figura 9 – Instruções para uso do Plano de Manutenção.	42
Figura 10 – Plano de Manutenção <i>Chiller</i>	43
Figura 11 – Plano de Manutenção <i>Chiller</i> - Continuação.	44
Figura 12 – Plano de Manutenção <i>Chiller</i> - Continuação 2.	45
Figura 13 – Plano de Manutenção Elementos externos (Bombas e tubulação).	46
Figura 14 – Plano de Manutenção Fancoils - Salas de cirurgia.	47
Figura 15 – Plano de Manutenção Fancoils - Salas de cirurgia - Continuação.	48
Figura 16 – Plano de Manutenção Fancoils - 2º Pavimento.	49
Figura 17 – Plano de Manutenção Fancoils - 2º Pavimento - Continuação.	50
Figura 18 – Plano de Manutenção Fancoils - 3º Pavimento.	51
Figura 19 – Plano de Manutenção Fancoils - 3º Pavimento - Continuação.	52
Figura 20 – FMEA dos principais componentes do sistema de climatização.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de manutenção no Brasil	17
Tabela 2 – Escala para ponderações de Severidade na FMEA	20
Tabela 3 – Escala para ponderações da Ocorrência na FMEA	21
Tabela 4 – Escala para ponderações da Detecção na FMEA	21
Tabela 5 – Classificação do risco de acordo com o peso encontrado no seu índice .	21
Tabela 6 – Médias do Índice de Risco para cada componente	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
DLIH	Divisão de Logística e Infraestrutura Hospitalar
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise do Modo e Efeito de Falha)
GA	Gerência Administrativa
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
NBR	Norma Técnica Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> (Planejar, Fazer, Verificar e Agir)
SFI	Setor de Infraestrutura Física
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	ESCOPO DO TRABALHO	13
1.4	OBJETIVOS	13
1.5	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	13
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	15
2.2	TIPOS DE MANUTENÇÃO	16
2.2.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA	17
2.2.1.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA	17
2.2.1.2	MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA	18
2.2.2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	18
2.2.3	MANUTENÇÃO PREDITIVA	18
2.2.4	MANUTENÇÃO DETECTIVA	19
2.2.5	ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO	19
2.3	MATRIZ FMEA - UMA FERRAMENTA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE	19
2.4	INDÚSTRIA 4.0 E O FUTURO DA MANUTENÇÃO	21
2.5	PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA	22
2.6	CLIMATIZAÇÃO EM HOSPITAIS	25
2.7	CENRAL DE REFRIGERAÇÃO: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	26
2.7.1	CONCEITOS BÁSICOS DA REFRIGERAÇÃO	26
2.7.2	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CENTRAL DE ÁGUA GELADA	29
2.8	EQUIPAMENTO ESTUDADO	30
2.8.1	MANUTENÇÃO RECOMENDADA	35
2.8.1.1	CONEXÕES DE ÁGUA	35
2.8.1.2	MANUTENÇÃO ELÉTRICA	36
2.8.1.3	SERPENTINA DO CONDENSADOR	36
2.8.1.4	MANUTENÇÃO GERAL	36
2.8.1.5	MANUTENÇÃO DE ACORDO COM NORMAS	36
3	CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA	38
3.1	O HOSPITAL	38
3.2	PRELIMINARES DO TRABALHO	38

3.3	FUNDAMENTOS PARA A EXECUÇÃO	39
3.4	ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVO . .	39
4	RESULTADOS	41
5	CONCLUSÕES	55
5.1	SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A manutenção pode ser definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, para recolocar ou manter um item em funcionamento (NBR 5462-1994). A manutenção também pode ser abordada como a tentativa de evitar falhas em suas instalações físicas, por parte das organizações. Além disso, em diversos setores, as atividades de manutenção são responsáveis por parte significativa do tempo e da atenção da gerência de produção (SLARK, 2002).

Uma das maneiras mais eficientes de se evitar falhas em equipamentos é a utilização da manutenção preventiva. Segundo Xenos (2014), esta pode ser caracterizada por um conjunto de ações preventivas praticadas em um intervalo fixo ou conforme critérios preestabelecidos, com função de reduzir ou eliminar a ocorrência de falhas ou degradação do equipamento.

Equipamentos de climatização são responsáveis por manter o conforto térmico das pessoas, mas além disso tem o papel de satisfazer condições requeridas em diversos ambientes, mantendo a qualidade da atividade realizada. De acordo com Passos, Leite, Siqueira e Marques (2012), apud Brito, (2006) o ar condicionado é responsável por manter valores pré-estabelecidos de temperatura, umidade, limpeza, ventilação, pressão e ruído. Estes são quantificados de acordo com sua aplicação, necessidade de equipamentos, conforto humano, processo produtivo e necessidade de ambiente limpo.

Visto isso, o tema proposto pelo trabalho foi motivado devido à grande importância dos equipamentos de climatização e a falta de um bom gerenciamento da manutenção deles, em muitos casos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo dados da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (Abraman), a manutenção preventiva recebeu a maior aplicação de recursos no Brasil em 2013, com uma média de 36,55 % em relação às outras práticas. Esse dado mostra que cada vez mais as organizações estão valorizando e investindo nesse tipo de manutenção.

No hospital que será objeto de estudo, a manutenção preventiva é muito bem estruturada e valorizada em relação aos equipamentos clínicos. Porém, quando se trata dos equipamentos de climatização, a manutenção ainda não está muito estruturada, sendo aplicadas muitas vezes apenas soluções corretivas.

A manutenção eficiente nos sistemas de climatização, além de garantir a disponibilidade, é essencial para manter a qualidade do ar e prevenção de riscos à saúde. De acordo com

a Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998 e a lei 13.589, de 4 de janeiro de 2018, em ambientes climatizados de uso coletivo, todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle. A manutenção deve preservar as características de desempenho técnico dos componentes ou sistemas de climatização. O não cumprimento desse regulamento é considerado infração sanitária, podendo ser aplicadas penalidades.

Por essas razões, pode-se dizer que o estudo e aplicação da manutenção preventiva em uma central de refrigeração de um hospital público tem muito a contribuir em diversos fatores com a instituição.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O presente trabalho pretende responder o porquê da importância em aplicar a manutenção preventiva em uma central de ar condicionado. Para isso serão utilizadas diversas referências para atingir os melhores resultados.

Respondida à pergunta, ao final será desenvolvido um plano de manutenção preventiva que possa ser aplicado a um central de refrigeração de um hospital, com a finalidade de melhorar a sua gestão da manutenção.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é elaborar um plano de manutenção preventiva, de fácil aplicação, para uma central de refrigeração responsável pela climatização de três andares de um hospital público federal.

Para atingir o resultado esperado, serão considerados os seguintes objetivos específicos:

- analisar os históricos de manutenção disponíveis;
- levantar os elementos mais críticos do equipamento;
- fazer uma análise dos dados contidos no manual e normas vigentes;
- estipular a frequência de manutenção necessária.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Para realização do trabalho, será realizada uma pesquisa de natureza aplicada, pois seu objetivo é gerar conhecimentos para aplicação prática, solucionando problemas específicos (GERHARDT e SILVEIRA, 2009). Para garantir sucesso da aplicação, será realizada uma revisão da bibliografia em artigos, livros, revistas, teses e monografias relacionados ao tema.

Pode se dizer que a pesquisa possui abordagem quantitativa, sendo possível traduzir informações em números, buscando a relação causa-efeito entre os fenômenos (PRODAVOV e FREITAS, 2013).

O método utilizado será de pesquisa-ação, por se tratar de um estudo dentro de uma instituição, analisando um problema e propondo uma ação. Segundo Gil (2002), este método também pode ser caracterizado por uma pesquisa de base empírica, que é constituída e realizada, associada com uma ação ou resolução de um problema.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho será composto por cinco capítulos, sendo eles: Introdução, Fundamentação teórica, Contextualização e Metodologia, Resultados e Conclusões.

No Capítulo 1 é apresentada a introdução, destacando os objetivos do trabalho, justificativa, escopo e metodologia.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, abordando os principais conceitos sobre o tema, como a definição e histórico da manutenção, os principais tipos, o futuro da manutenção, conceitos básicos da refrigeração e dados do equipamento estudado.

O Capítulo 3 abordará a contextualização e metodologia, com uma breve introdução sobre o hospital, a importância do equipamento para a instituição e as estratégias para o desenvolvimento do plano de manutenção.

No Capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos, bem como o plano de manutenção estruturado, que estará em anexo.

No Capítulo 5, o trabalho será encerrado com as conclusões sobre o trabalho, analisando se os objetivos iniciais foram alcançados e recomendações para possíveis trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a conservação de ferramentas e instrumentos é uma prática observada historicamente, porém, apenas quando surgem as primeiras máquinas têxteis, a vapor, no século XVI, que a função manutenção surge. Naquela época, o próprio projetista da máquina treinava as pessoas para operarem e consertarem sua criação (WYREBSKI, 1997).

Para Tavares (1998), no entanto, a manutenção surgiu com o avanço técnico-industrial da humanidade, onde os primeiros reparos ocorreram no final do século XIX, com a mecanização das indústrias. Esses reparos eram realizados pelos próprios operadores e a manutenção tinha importância secundária até 1914.

Com a implantação da produção em série, durante a Primeira Guerra Mundial, foram criadas equipes responsáveis em efetuar reparos nas máquinas no menor tempo possível (TAVARES, 1998). Kardec e Nascif (2009) complementam que naquela época a manutenção era fundamentalmente corretiva não planejada e que a competência básica buscada era a habilidade do executante em realizar os reparos necessários.

O cenário pós Segunda Guerra Mundial aumentou a demanda da produção, ao mesmo tempo em que houve diminuição de mão de obra industrial; tal fato contribuiu para o aumento da mecanização e maior complexidade nas instalações industriais (KARDEC e NASCIF, 2009). Com isso, a alta administração passou a se preocupar com a prevenção das falhas e não apenas corrigir, surgindo as primeiras equipes responsáveis por planejar e controlar a manutenção, dando origem ao órgão de Engenharia da Manutenção (TAVARES, 1998).

A partir da década de 70, o processo de mudança nas indústrias acelerou e as paralisações da produção geravam cada vez mais custos e afetavam a qualidade dos produtos. O aumento da automação e mecanização fez com que conceitos como confiabilidade e disponibilidade ganhassem destaque em diversos setores como saúde, processamento de dados, telecomunicação e gerenciamento das edificações. Além disso, maior automação também resulta em falhas com maior frequência, afetando a capacidade de manter os padrões de qualidade estabelecidos (KARDEC e NASCIF, 2009).

Visto esses avanços nas indústrias e as exigências ligadas às condições de segurança e meio ambiente como consequência das falhas, o conceito e utilização da manutenção preditiva foi reforçado. O avanço da informática contribuiu para o desenvolvimento de potentes *softwares* para o planejamento, acompanhamento e controle da manutenção. O conceito de confiabilidade começa a ser aplicado e o processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) começa sua implantação no Brasil na década de 90 (KARDEC e

NASCIF, 2009).

A última década pode ser caracterizada pelo aumento da manutenção preditiva, o aprimoramento da contratação ou terceirização, buscando principalmente contratações por resultado. Além disso, técnicas de manutenção corretiva e preventiva começaram a ser minimizadas e projetos voltados à confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida receberam maior atenção (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem diversos tipos e nomenclaturas para caracterizar a atuação da manutenção. Nesse trabalho serão abordadas as cinco principais práticas consideradas por diversos autores; são elas: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia da manutenção.

De acordo com o Documento Nacional 2017 gerado pela Abraman, as três primeiras práticas citadas são as mais usadas no Brasil, onde respectivamente a manutenção preventiva, corretiva e preditiva são mais aplicadas, como pode ser visto na Tabela 1.

De acordo com Xenos (2014), não existe uma melhor prática ou tipo de manutenção, pois ambas têm seus pontos positivos e negativos. A maneira mais eficaz é a que combina adequadamente vários métodos de acordo com a qualidade de cada equipamento e sua criticidade para a produção.

Tabela 1 – Tipos de manutenção no Brasil

Setores	Trabalho em manutenção corretiva (%)	Trabalho em manutenção preventiva (%)	Trabalho em manutenção preditiva (%)	Outras atividades de manutenção (%)
Açúcar e Alcool, Alimentos e Bebidas	42%	40%	18%	0%
Aeronáutico e Automotivo	42%	48%	4%	5%
Eletroeletrônicos - Energia Elétrica	28%	44%	12%	16%
Químico e Saneamento	25%	50%	20%	5%
Mineração e Siderúrgico	60%	23%	13%	5%
Petróleo e Petroquímico	47%	39%	14%	0%
Papel e Celulose e Plástico	24%	31%	31%	14%
Predial e Prestação de serviços	45%	44%	5%	6%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	25%	48%	7%	20%
Média Geral	38%	41%	14%	8%

Fonte: ABRAMAN, 2017 (Adaptado).

2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva pode ser definida como o ato de devolver a um item sua função requerida após a ocorrência de uma avaria (NBR 5462, 1994). Slark (2002) ainda classifica como a ação de deixar as instalações continuarem a operar até sua quebra.

Apesar de parecer a ausência de uma política de manutenção, a manutenção corretiva é opção mais razoável quando os custos da indisponibilidade são menores do que o custo para se evitar a falha, condição encontrada geralmente em equipamentos que não interferem em um processo produtivo (MARCORIN e LIMA, 2003).

Kardec e Nascif (2009), dividem essa prática ainda em corretiva não planejada e corretiva planejada, tópicos que serão descritos na sequência.

2.2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

Este tipo pode ser caracterizado pela execução da manutenção devido a uma falha já ocorrida ou quando há um desempenho menor do que o esperado no equipamento. Devido à espera da avaria, não resta tempo para a preparação do serviço (KARDEC e NASCIF, 2009).

As quebras aleatórias podem implicar em elevados custos, pois pode provocar perdas de produção, perda de qualidade e excessivos custos indiretos de manutenção. Além

disso, essas quebras podem causar grandes danos a outros elementos do equipamento devido à interrupção abrupta de seu funcionamento (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.1.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

A manutenção corretiva planejada é caracterizada como a correção feita associada a um acompanhamento preditivo ou por decisão gerencial deixar que a falha ocorra. Os benefícios do seu planejamento a tornam mais rápida, mais segura, mais barata e garante melhor qualidade em relação à não planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

É o tipo de manutenção que tem como objetivo reduzir a probabilidade de falhas ou desgaste dos elementos, de acordo com a manutenção realizada em intervalos predeterminados ou de critérios pré estabelecidos (NBR 5462, 1994). Marcorin e Lima (2003, p.39), definem como "conjunto de ações que visam prevenir a quebra", nas quais são baseadas em intervenções periódicas geralmente programadas de acordo com dados fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos.

Segundo Xenos (2014), a manutenção preventiva deve ser a principal atividade de manutenção em qualquer empresa, envolvendo rotinas de inspeções, reformas e trocas de peças. Comparada com a corretiva, porém, apresenta maior custo, pois as peças e componentes das máquinas devem ser trocados antes de atingirem seu limite de vida. Em contrapartida, a disponibilidade dos equipamentos aumenta com a diminuição da frequência de falhas.

Esse tipo de política possui maior aplicação em equipamentos ou instalações que podem oferecer riscos à segurança pessoal em caso de falha, riscos ao meio ambiente, que possuem papel crítico para uma linha de produção e em sistemas complexos ou de operação contínua (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva tem como objetivo prever as falhas nos equipamentos por meio do acompanhamento de diversos parâmetros, garantindo a disponibilidade do equipamento por maior tempo possível. A verificação da situação do equipamento é feita através da medição, acompanhamento ou monitoramento dos parâmetros. Esses podem ser feitos por análise de vibração, temperatura, óleo, detecção de vazamentos, ferrografia, dentre outros (XAVIER, 2009).

Devido a esse controle, a equipe de manutenção pode se preparar para realizar a intervenção e programar melhor o estoque de peças, reduzindo custos. A mão de obra,

porém, deve ser mais qualificada, devido ao uso de sofisticados aparelhos ou instrumentos de medição (MARCORIN e LIMA, 2003).

O uso desse tipo de manutenção é justificado quando o equipamento, sistema ou instalação possibilite algum tipo de medição, possuam alto custo envolvido ou as falhas devem ser originadas de causas que podem ser monitoradas e controladas (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A manutenção detectiva é a atividade realizada em sistemas de proteção, comando e controle, que busca detectar falhas ocultas ou imperceptíveis às equipes de operação e manutenção. Essa é usada para verificar se um sistema de produção ainda está em funcionamento, garantindo a confiabilidade dos equipamentos (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2.5 ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO

A engenharia da manutenção consiste em sempre procurar e aplicar técnicas melhores e mais modernas de manutenção. Ela pode significar uma mudança cultural, pois é o suporte técnico da manutenção que está dedicado a consolidar a rotina e implantar a melhoria (KARDEC e NASCIF, 2009).

A busca pelas melhores técnicas tem como objetivo aumentar a confiabilidade, disponibilidade e segurança, melhorar a manutenibilidade, eliminar problemas crônicos, solucionar problemas tecnológicos, além de garantir diversos outros benefícios (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.3 MATRIZ FMEA - UMA FERRAMENTA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE

A matriz de Análise do Modo e Efeito de Falha, ou FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta que ajuda a identificar e evitar falhas em equipamentos. É um sistema que classifica possíveis falhas e propõem soluções para ações preventivas, se caracterizando por ser uma medida do risco de falha (KARDEC e NASCIF, 2009).

De acordo com Alves (2018), o habitual objetivo da utilização da matriz FMEA é na detecção de falhas, antes que elas ocorram. Ainda segundo ele, a construção da matriz e correta aplicação da ferramenta se dá pelas seguintes etapas:

1. definir a tabela de escalas para Severidade, Ocorrência e Detecção;
2. realizar o estudo e definição do objetivo;
3. identificar as potenciais falhas do equipamento;

4. determinar as consequências dessas falhas;
5. identificar a causa de cada falha;
6. definir os meios de detecção e prevenção das falhas.

Realizadas essas etapas, define-se a pontuação para a Severidade, Ocorrência e Detecção de cada equipamento e calcula-se seu Índice de Risco, possibilitando a melhor tomada de decisão (ALVES, 2018).

Segundo Kardec e Nascif (2009) e Alves (2018), o Índice de Risco ou NPR (Número de prioridade de risco) pode ser calculado por:

$$\text{NPR} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

Além disso, as escalas para Severidade, Ocorrência e Detecção podem ser determinadas de acordo com as Tabela 2, 3 e 4 adaptadas de Alves (2018). A Tabela 5 determina a classificação do risco devido a falha do componente de acordo com a grandeza do valor encontrado no Índice de Risco, de acordo com Kardec e Nascif (2009).

Tabela 2 – Escala para ponderações de Severidade na FMEA

Severidade	Descrição	Escala
Muito alta	Quando compromete a segurança e envolve infração governamental	9 a 10
Alta	Quando provoca insatisfação do cliente (Ex:Aparelho que não opera, etc)	7 a 8
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda de desempenho, mau funcionamento, etc.	5 a 6
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração	3 a 4
Muito Baixa	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema	1 a 2

Fonte: ALVES, 2018 (Adaptado).

Tabela 3 – Escala para ponderações da Ocorrência na FMEA

Ocorrência	Taxa de falhas	Escala
Muito alta	Falhas quase inevitáveis e de alta frequência	10 ou 9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	8 ou 7
Moderada	Falhas ocasionais	6, 5 ou 4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	3 ou 2
Muito Baixa	Falhas muito improváveis	1

Fonte: ALVES, 2018 (Adaptado).

Tabela 4 – Escala para ponderações da Detecção na FMEA

Possibilidade de detecção	de Chance da equipe de manutenção prevenir ou detectar	Escala
Muito remota	Não irá detectar	10
Remota	Provavelmente não irá detectar (Chance muito baixa)	9, 8 ou 7
Moderada	Há uma baixa probabilidade de detectar	6, 5 ou 4
Alta	Provavelmente irá detectar (Chance alta)	3 ou 2
Muito alta	É quase certo que irá detectar	1

Fonte: ALVES, 2018 (Adaptado).

Tabela 5 – Classificação do risco de acordo com o peso encontrado no seu índice

Classificação	Peso
Baixo	1 a 50
Médio	50 a 100
Alto	100 a 200
Muito Alto	200 a 1000

Fonte: KARDEC e NASCIF, 2009 (Adaptado).

Portanto, utilizando a Matriz FMEA é possível tomar as ações necessárias visando evitar problemas futuros e prejuízos, antes que aconteçam, sendo muitas vezes os gastos feitos no seu desenvolvimento pagos pela economia na prevenção das falhas (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.4 INDÚSTRIA 4.0 E O FUTURO DA MANUTENÇÃO

A quarta revolução industrial ou indústria 4.0 foi um termo surgido na Alemanha no ano de 2011 para descrever como as novas tecnologias revolucionarão a cadeia global. Ela pode ser caracterizada pela combinação de diversos tipos de tecnologia, fazendo uma

interação entre os domínios digitais, físicos e biológicos. Também pode ser qualificada por uma internet mais universal e móvel, por sensores menores, mais baratos e mais poderosos, pela inteligência artificial e aprendizado de máquina (SCHWAB, 2016).

Esse conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet tem como objetivo tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos. Com máquinas utilizando autoconfiguração, auto-otimização e inteligência artificial para completar tarefas complexas é possível obter uma produção de melhor qualidade e menor custo (SANTOS, ALBERTO, LIMA e CHARRRUA-SANTOS, 2018, apud BHRIN, 2016).

A grande implementação de sensores no ambiente de produção associados à Internet das Coisas (IoT), possibilita que sistemas interajam entre si, analisando dados para prever falhas e se adaptando às mudanças (SANTOS, ALBERTO, LIMA e CHARRRUA-SANTOS, 2018, apud *THE BOSTON CONSULTING GROUP*, 2015). Essas análises viabilizarão que ações de manutenção sejam automaticamente realizadas, prevenindo a falha das máquinas e reduzindo o custo da manutenção (BORLIDO, 2017).

Com a consolidação da Indústria 4.0, será possível uma máquina conferir a si mesma uma estratégia de manutenção, enviando aos técnicos seu histórico de manutenção e informações importantes como valores de temperatura, pressão, quantidades, dentre outras. Além disso, uma melhor descrição de problemas enviada pela máquina otimizará ou até eliminará visitas de técnicos (BORLIDO, 2017).

Acredita-se, ainda, que num futuro próximo, devido a correlação das políticas de manutenção preventiva e preditiva, será possível realizar uma intervenção virtualmente ou remotamente. Também será possível saber em que lugar está determinada equipe de manutenção e receber mensagens no *smartphone* avisando sobre variações bruscas nas condições de operação de determinado equipamento, ou até indicando que ele irá falhar em um curto intervalo de tempo (BORLIDO, 2017).

2.5 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é uma das principais atividades quando o objetivo é evitar falhas nos equipamentos. Esta pretende manter sob controle o desempenho dos equipamentos, por meio de ações específicas que são feitas para prevenir a degradação e a ocorrência de falhas durante toda a vida útil do equipamento. Também fazem parte funções rotineiras como limpeza, lubrificação e inspeções simples, com a finalidade de reduzir os desgastes no equipamento (XENOS, 2014).

Tal condição pode ser dividida como ações preventivas baseadas no tempo ou ações preventivas baseadas na condição, em que o objetivo é sempre atuar com antecedência para impedir as causas potenciais de falha nas máquinas (XENOS, 2014).

- Ações preventivas baseadas no tempo:

São tarefas específicas realizadas em intervalos de tempo fixos e preestabelecidos. Este tempo pode ser medido em horas de operação, ciclo de funcionamento, quilômetros rodados, anos, volume produzido, dentre outros (XENOS, 2014).

A função dessas ações é substituir ou restaurar, com periodicidade fixa, elementos do equipamento que se desgastam com o tempo e podem falhar à medida que o equipamento envelhece. Atingido o limite de vida especificado, os componentes devem ser trocados, não importando o seu estado atual (XENOS, 2014).

As ações baseadas no tempo apenas serão efetivas quando houver uma relação entre a idade do elemento e a probabilidade de sua falha. Logo, sempre que possível, é preciso identificar rigorosamente uma vida útil a partir da qual a ocorrência das falhas aumenta com o tempo. Com base nela, torna-se capaz de precisar um intervalo fixo para a realização das tarefas de manutenção preventiva (XENOS, 2014).

- Ações preventivas baseadas na condição:

São ações que levam em consideração a circunstância de que muitas falhas não são instantâneas, mas se desenvolvem com o tempo. Assim, são aplicadas quando as falhas não estão relacionadas com o tempo de vida do equipamento e seus componentes. Essas ações preventivas são baseadas nos resultados de inspeções periódicas (XENOS, 2014).

As ações preventivas baseadas na condição são mais eficazes quando podem ser identificados parâmetros mensuráveis relacionados com os sinais de falha ou valores limite para os parâmetros de medição (XENOS, 2014).

O planejamento e a padronização são as premissas para um bom gerenciamento da manutenção. Quando bem estruturados e aplicados, eles certificam a confiabilidade das ações preventivas e corretivas e a previsibilidade de recursos necessários, como mão de obra e peças de reposição, sendo possível gerenciar o orçamento da manutenção mais precisamente (XENOS, 2014).

Em síntese, um plano de manutenção compõe-se de um conjunto de ações preventivas e suas datas de execução, podendo ser comparado a um calendário de práticas preventivas. Um bom plano de manutenção descreve todas as ações preventivas que devem ser tomadas para impedir a falha e assegurar o bom funcionamento dos equipamentos. Conforme mais informações se tiver e melhor for o conhecimento sobre a necessidade da manutenção preventiva dos equipamentos, melhor será o conteúdo do plano (XENOS, 2014).

Para elaborar um plano de manutenção, as ações preventivas devem ser representadas como padrões de manutenção, que precisam conter instruções detalhadas sobre qual elemento trocar, inspecionar ou reformar, com qual frequência, por que e como a tarefa

realizar registros sobre quais tarefas foram realizadas e em que momento. Quando ocorrer uma falha poderá ser preciso aumentar temporariamente a periodicidade de determinada troca, inspeção ou reforma, até que contramedidas sejam realizadas e completamente implementadas (XENOS, 2014).

Portanto, o maior benefício da criação de um plano de manutenção é certificar a previsibilidade na utilização dos equipamentos. Essa previsibilidade permite gerenciar melhor os recursos de mão de obra e materiais. A ausência de um plano faz com que as atividades de manutenção oscilem entre estados de tranquilidade e estresse, ficando essas reféns da aleatoriedade das falhas (XENOS, 2014).

2.6 CLIMATIZAÇÃO EM HOSPITAIS

O condicionamento mecânico de ar foi inventado em 1902 pelo engenheiro estadunidense Willis Carrier, tornando possível o controle do clima. Tal invenção surgiu inicialmente como solução para o problema da alta umidade nos meses mais quentes nas indústrias gráficas, que causava problemas na impressão. O uso do condicionamento de ar para conforto térmico pessoal foi, porém, apenas empregado por volta de 1914 (SILVA, NAZARÉ, MUNIZ E CÂMARA, 2013).

Nos dias atuais, o uso do ar condicionado a fim de evitar o desconforto térmico é crescente. Seu uso propicia o esfriamento do ambiente, tornando-o mais agradável, através da umidificação e purificação do ar ambiente, gerando conforto, melhorando a produtividade, saúde e bem-estar (SILVA, NAZARÉ, MUNIZ E CÂMARA, 2013). Segundo a Norma Regulamentadora NR 17, para satisfazer essas condições o índice de temperatura efetiva do ambiente deve estar entre 20°C e 23°C, a velocidade do ar não deve superar 0,75 *m/s* e a umidade relativa do ar não deve ser inferior a 40%.

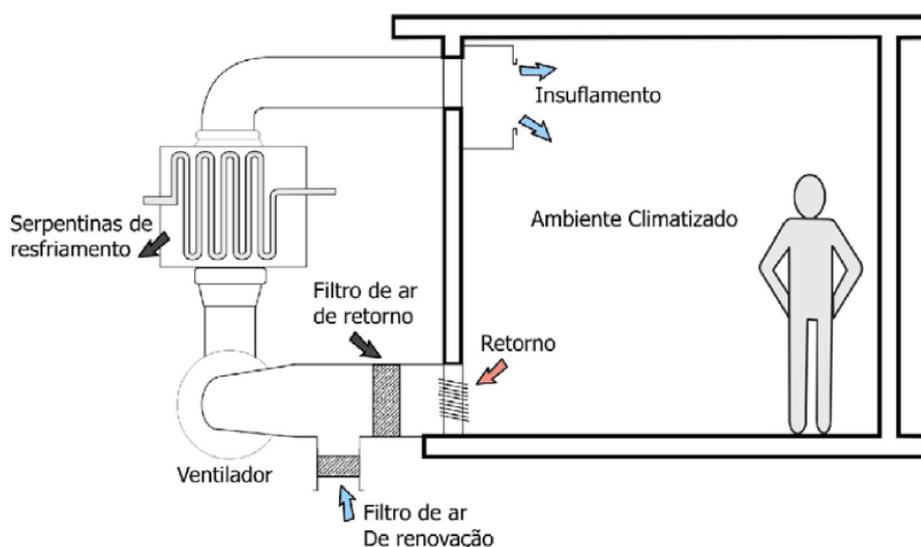
Em hospitais, além de contribuir para o conforto térmico, as instalações de ar condicionado tem o objetivo de controlar condições termoigrométricas, grau de pureza do ar e renovação e movimentação do ar. Ademais, tem a função de garantir a qualidade adequada do ar, principalmente reduzir os riscos biológicos e químicos transmissíveis pelo ar, de acordo com as atividades desenvolvidas nas áreas de instalação (ABNT NBR 7256, 2005).

Segundo Quadros, Lisboa, Oliveira e Schirmer (2009), em unidades de saúde a qualidade do ar pode desempenhar influência direta e de alta magnitude na velocidade de recuperação dos pacientes e na frequência da incidência de infecções hospitalares. Por esse motivo e pela presença de compostos químicos e agentes biológicos no ar interno, que além de poder comprometer a recuperação dos pacientes pode afetar a saúde e desempenho dos funcionários, estabelecimentos de saúde carecem de sistemas de climatização em pleno estado de funcionamento (SCHIRMER, GAUER E SZYMANSKI, 2010).

Visto a importância da climatização nos hospitais e unidades de saúde, salienta-se que a manutenção inadequada do sistema de ar condicionado provocará maior índice de contaminação em menor intervalo de tempo. Porém, a aplicação de uma correta manutenção preventiva proverá uma maior qualidade do ar por um longo período (TEIXEIRA, BRIONIZIO E PEREIRA, 2005).

Um dos equipamentos de climatização mais usados e indicados para diversos ambientes em hospitais é o sistema central, do tipo *fan-coil*. Ele inclui uma unidade de refrigeração, um ventilador e uma tubulação que permite a introdução e retirada do ar do ambiente climatizado. A unidade de resfriamento é composta por serpentinas, onde circula água fria, a qual absorve calor que passa pelo sistema. O sistema possibilita o controle da temperatura, umidade do ar, filtragem e taxa de renovação (QUADROS, 2008 apud BASTOS, 2005). A Figura 2 ilustra um sistema de refrigeração central tipo *fan-coil* e tal assunto será melhor explorado no próximo tópico.

Figura 2 – Esquema de representação de um sistema de refrigeração central tipo *fan-coil*



Fonte: QUADROS, 2008.

2.7 CENRAL DE REFRIGERAÇÃO: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

2.7.1 CONCEITOS BÁSICOS DA REFRIGERAÇÃO

A refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é pretendido, onde, ao longo dela, o calor não desejado é transferido para uma área que não seja prejudicial (MILLER e MILLER, 2006).

Alguns conceitos básicos da termodinâmica muito usados na refrigeração são definidos por Stoecker e Jones (1985) e Silva (2005):

- Temperatura: é o estado térmico de uma substância e sua capacidade de trocar

energia com outra substância que esteja em contato térmico.

- Pressão: é a força normal por unidade de área da superfície a qual a força atua. Destaca-se a pressão manométrica, que é a pressão medida em relação à pressão atmosférica e à pressão absoluta, que é o valor medido a partir do vácuo absoluto.
- Entalpia: expressa a taxa de transferência de calor em processos onde ocorre mudança de fase. Quando ocorre um processo a pressão constante, a variação da entalpia é igual ao calor adicionado ou removido por unidade de massa. Além disso, o valor da entalpia de inúmeras substâncias pode ser encontrado em tabelas ou ábacos.
- Entropia: sua definição é muitas vezes divergente entre autores ou até abstrata. Porém, pode-se considerar como a propriedade que representa a desordem molecular da substância ou a grandeza da probabilidade de um dado estado da substância.
- Título: é a relação entre a massa de vapor e a massa total, quando a substância se encontra em parte líquida e parte vapor, na temperatura de saturação.

As Figuras 3 e 4 representam o ciclo teórico da refrigeração, onde a partir dele torna-se mais fácil compreender o funcionamento real de diversos equipamentos de refrigeração.

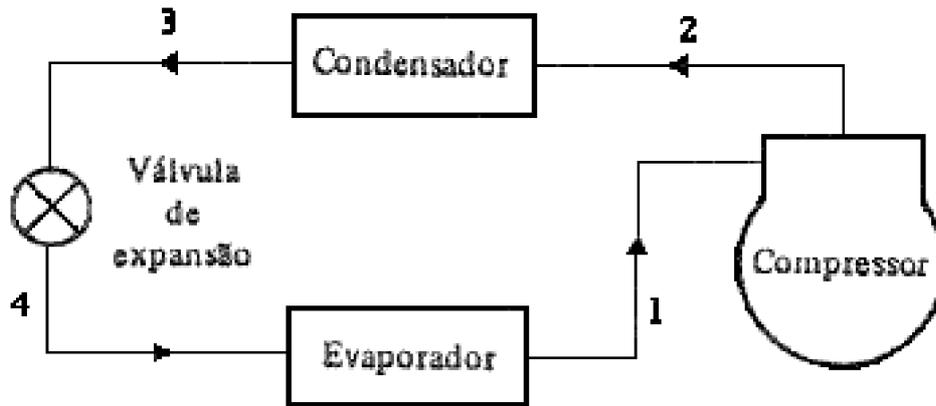
O processo de 1 para 2 (Figuras 3 e 4), ocorre no compressor, sendo uma compressão isentrópica (entropia constante), por se tratar de um processo adiabático (quando não ocorre troca de calor). O fluido refrigerante entra no compressor no estado de vapor saturado, com título igual a 1, sendo comprimido até atingir a pressão de condensação, saindo a uma temperatura de superaquecimento, maior do que a temperatura de condensação (STOECKER E JONES, 1985, SILVA, 2005).

O processo de 2 para 3 ocorre no condensador, com uma diminuição da temperatura, devido a uma rejeição de calor do refrigerante para o meio. O processo é seguido de uma condensação à pressão constante, até o fluido se tornar líquido saturado (STOECKER E JONES, 1985, SILVA, 2005).

O processo de 3 para 4 ocorre na válvula de expansão, sendo uma expansão irreversível isentálpica (entalpia constante), saindo da pressão de condensação e líquido saturado, com título igual a 0, até atingir a pressão de vaporização (STOECKER E JONES, 1985, SILVA, 2005).

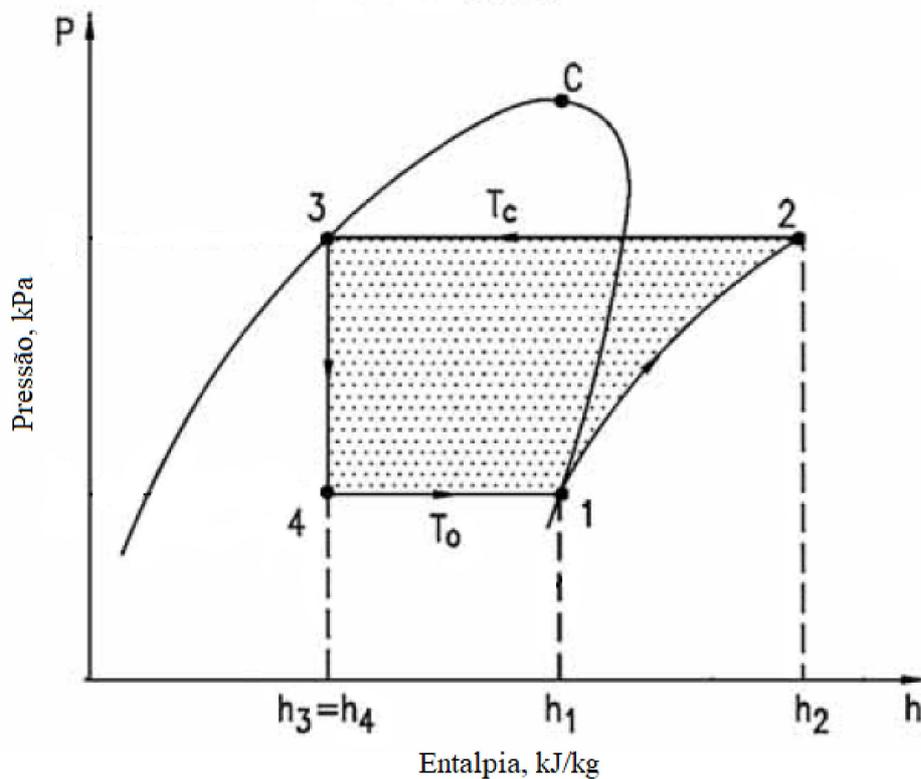
O processo de 4 para 1 ocorre no evaporador, sendo uma transferência de calor do meio para o refrigerante, a uma pressão e temperatura constante. Esse calor transferido não altera a temperatura do refrigerante, mas apenas o seu título (SILVA, 2005).

Figura 3 – Esquema ciclo de refrigeração.



Fonte: STOECKER E JONES, 1985.

Figura 4 – Ciclo teórico Pressão-Entalpia de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: SILVA, 2005 (Adaptado).

No ciclo real de refrigeração por compressão de vapor ocorrem algumas diferenças em relação ao ciclo teórico. Uma diferença está na queda de pressão nas linhas de descarga, no condensador e evaporador, devido a perdas de carga. Outra diferença está no sub-resfriamento do refrigerante na saída do condensador, que pode ocorrer em alguns equipamentos e o superaquecimento na sucção do compressor, meio que evita a entrada de

líquido no compressor, evitando danificações. Pode-se observar também que o processo de compressão não é isentrópico como no ciclo teórico (SILVA, 2005).

2.7.2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR CENTRAL DE ÁGUA GELADA

O uso da água gelada para climatização do ambiente é empregado em grandes empreendimentos. O resfriamento da água é realizado por meio de *chillers*, que funcionam pelos princípios de troca de calor (FERREIRA, BERNTO E MORALES, 2018).

Apesar de a transferência de calor no ambiente condicionado ser realizada através do ar, esse tipo de sistema utiliza a água como agente de refrigeração ou aquecimento (STOECKER E JONES, 1985). Esta é conduzida, por meio de tubulações distribuídas no edifício, da central de água até os *fancoils*, que são ventiladores que auxiliam a troca de calor entre o ar ambiente e a água (BARBOSA, 2013).

Os *fancoils* devem ser localizados nas adjacências dos ambientes a serem climatizados, com o objetivo de reduzir as perdas de carga interna do sistema de dutos, que são responsáveis por distribuir o ar refrigerado (BARBOSA, 2013).

O *chiller* é o principal equipamento de uma central de água gelada, sendo responsável pelo resfriamento da água, através do ciclo de compressão de vapor (semelhante ao visto no tópico 2.6.1), mostrado na Figura 5. Além desse, outros componentes compõem uma central de refrigeração como bombas, torres de resfriamento, válvulas, quadros elétricos e os já citados dutos, tubulações e *fancoils* (BARBOSA, 2013).

No ciclo realizado pelo *chiller*, podemos destacar os evaporadores, que possuem quatro tipos principais segundo Silva (2005):

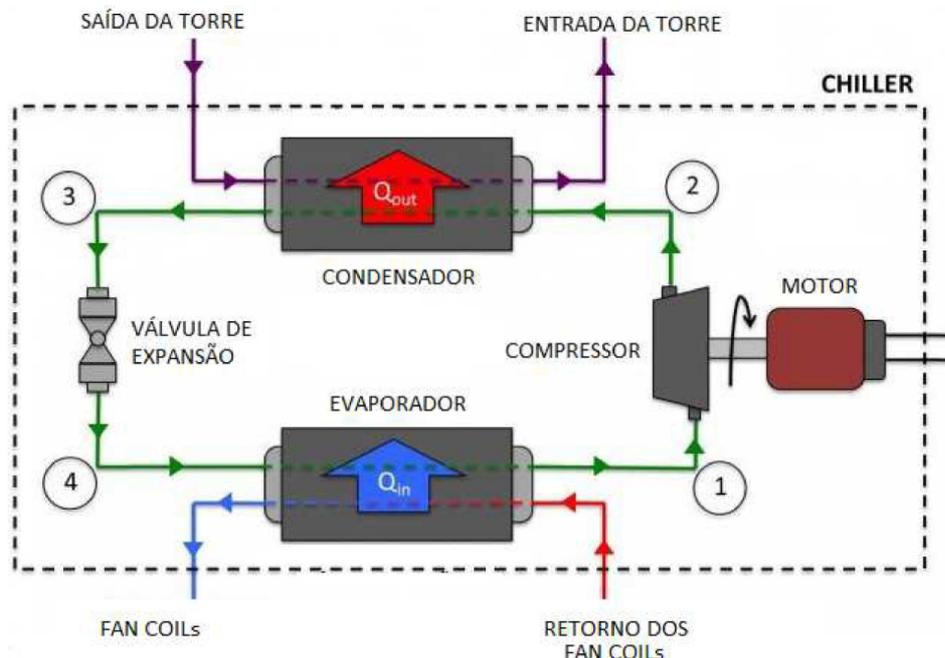
- Carcaça e tubo: é um dos evaporadores mais utilizados para a refrigeração de líquidos. Pode ser do tipo inundado, com alimentação por gravidade, onde o refrigerante evapora por fora dos tubos e o líquido passa por dentro dos tubos, de expansão direta ou recirculação por bomba, no qual o refrigerante passa por dentro dos tubos e o líquido escoar na parte de fora. Ele é composto por chapas calandradas com cabeçotes fundidos, espelhos de aço e tubos de cobre ou aço, podendo possuir aletas.
- Carcaça e Serpentina: este tipo de evaporador não é muito utilizado devido a sua baixa eficiência e dificuldades de limpeza da serpentina. Nele o refrigerante passa por dentro do tubo, que é dobrado em forma de serpentina, e o líquido circula por fora.
- Cascata ou baudelot: é utilizado para resfriamento de líquidos até 0,5°C acima de seu ponto de solidificação. Sua composição é feita por chapas estampadas de aço inoxidável, com ondulações que possibilitam a passagem do refrigerante. Além disso,

possibilita melhor controle da distribuição do líquido e fácil limpeza. São muito utilizados em fábricas de bebidas, como cerveja e para o resfriamento de leite.

- Evaporadores de placas: está sendo cada vez mais utilizado devido sua alta eficiência na transferência de calor. Assim como o de carcaça e tubo, pode ser utilizado com alimentação por gravidade, recirculação por bomba ou expansão direta, com uso de válvulas termostáticas. É composto por lâminas planas de metal conectadas por curvas de tubo soldadas a placa adjacentes. Também podem ser feitos de placas rebaixadas ou ranhuras e soldadas entre si.

Na Figura 5 podemos entender melhor o funcionamento da refrigeração pelo *Chiller*, onde são representados três fluxos diferentes de fluido. O fluxo em verde representa o fluido refrigerante que circula no ciclo de compressão vapor. No evaporador o refrigerante absorve calor da água, representada pelas setas de fluxo vermelha e azul, possibilitando sua refrigeração. No condensador pode-se observar que o fluido refrigerante perde calor para a água do condensador, representada pela seta roxa, que é encaminhada para a torre de arrefecimento. Este fluxo é responsável por auxiliar a perda de calor no condensador (BARBOSA, 2013).

Figura 5 – Esquema ciclo de refrigeração de um *Chiller*.



Fonte: BARBOSA, 2013.

2.8 EQUIPAMENTO ESTUDADO

O equipamento estudado trata-se de um resfriador de água modelo Aquasnap 30RAB075386U da marca Carrier. De acordo com o Catálogo Técnico disponibilizado pela

Carrier, o sistema é descrito por resfriadores de líquido refrigerado a ar, compressores scroll, ventiladores de baixo ruído, controlador microprocessado auto-adaptável e funcionamento com refrigerante R-407C. Além disso, grandes painéis facilmente removíveis e a porta articulada da caixa de controle possibilitam um fácil acesso a todos os componentes. Possui também acesso total pela parte superior em caso de operações de manutenção, por meio de uma tampa que pode ser facilmente removida.

As características dos produtos que compõem o *Chiller* são listadas abaixo, segundo o Catálogo Técnico da Carrier.

- Compressor: o compressor é do tipo scroll hermético, possuindo apenas três partes móveis, motor elétrico bipolar e resfriado a gás de sucção, permitindo até 12 partidas por hora, protegido contra sobrecarga a partir de um termostato interno. Possui também um visor de vidro para aferir nível e carga de óleo. Uma válvula de segurança permite a rotação reversa do motor, em caso de instalação incorreta da fiação. Ainda, esses compressores não necessitam de manutenção.
- Trocador de calor da água: é composto por um evaporador de palcas, possuindo placa de aço inoxidável com conexões de cobre soldadas, o que maximiza as propriedades termodinâmicas e melhora sua eficiência. É composto por dois circuitos refrigerantes independentes, espuma térmica isolante de células fechadas e proteção anti-congelante.
- Trocador de calor do ar/ventilador: o equipamento possui quatro ventiladores verticais com aletas de alumínio expandidas em tubos de cobre ranhurados. Os ventiladores possuem tecnologia de baixo ruído fabricado com material composto reciclável, *design* de lâminas múltiplas, difusor rotativo, motor trifásico de duas velocidades e proteção contra sobrecarga por relé térmico. Possui ainda vazão de ar vertical com grade de proteção de fios de aço.
- Circuito refrigerante: este circuito é composto por uma válvula na linha de líquido, visor de líquido para umidade, dispositivo de expansão termostática, sensores de pressão e temperatura, chave *reset* manual de alta pressão e abastecido com refrigerante R-407C. Todos os componentes são soldados garantindo segurança contra vazamentos.
- Caixa de controle de força: este componente inclui uma chave seletora, fusíveis e disjuntores, contadores do compressor, ventiladores e bomba d'água, relés térmicos, transformador do circuito de controle e sistema de controle. A caixa se encontra acessível por uma porta articulada de fácil acesso.
- Chassi/Gabinete: são feitos de aço galvanizado, pintado com tinta de poliéster na cor cinza clara. Possui painéis removíveis com fechos rotativos de 1/4.

A Figura 6 apresenta os dados físicos dos componentes, de acordo com o Catálogo Técnico do equipamento.

Figura 6 – Dados físicos do equipamento estudado.

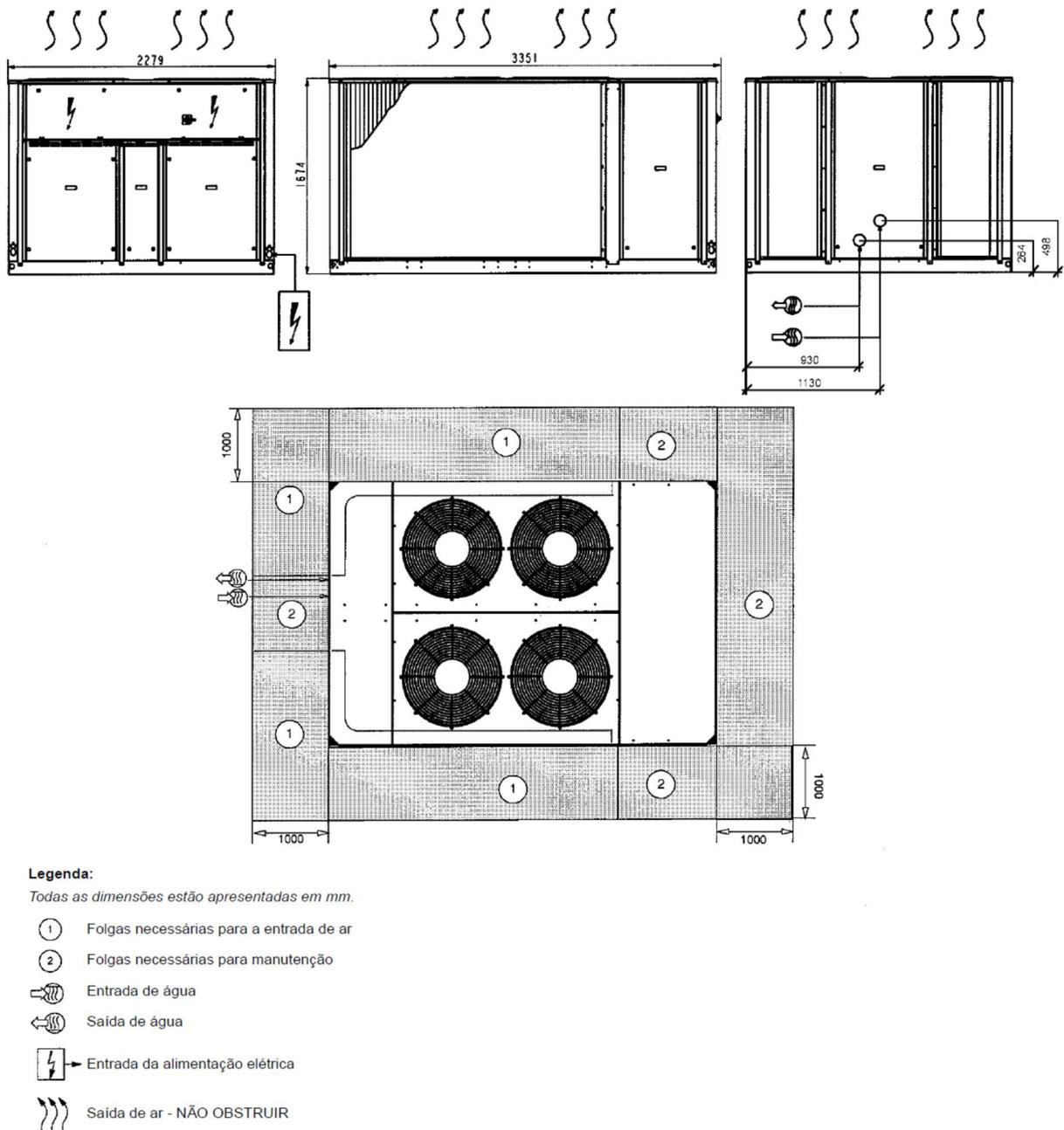
DADOS FÍSICOS 60Hz R-407												
30RA	12	15	18	20	24	27	30	35	40	50	65	75
Capacidade nominal	TR	11.9	14.4	17.1	18.8	23.4	26.3	29.1	35.4	37.2	46.8	74.4
Capacidade nominal	kW	4.2	50.6	60.3	65.4	82.3	92.6	102.4	124	130.7	164	260.1
Peso em operação com módulo hidrônico	kg	538	595	610	625	642	1100	1112	1157	1224	1262	2056
Carga de refrigerante	kg	R-407C										
Circuito A		10	13	14	12.5	18	10	10	10	12.5	18	21
Circuito B		X	X	X	X	X	X	13	14	18	12.5	18
Compressores		Compressor Scroll hermético										
Quantidade, circuito A		1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2
Quantidade, circuito B		X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	3
Número de estágios de capacidade		1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5
Capacidade mínima	%	100	50	42	50	50	26	27	33	25	25	20
Tipo de controle		PRO-DIALOG Plus										
Condensadores		Tubos de cobre ranhurados internamente, aletas de alumínio										
Ventiladores		Ventiladores axiais Flying Bird com difusor rotativo										
Quantidade		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4
Vazão total de ar (velocidade alta)	m³/h	16650	15910	17858	22285	25200	32560	34505	41850	44570	50400	75130
Velocidade (alta/baixa velocidade)	rpm	810/420	810/420	810/420	1128/558	1128/558	810/420	810/420	1128/558	1128/558	1128/558	1128/558
Evaporador		Trocador de calor de expansão direta com placa soldada (inox)										
Volume de água	l	3.8	4.8	5.9	6.5	7.8	8.2	9.5	11.2	13.0	15.2	22
Pressão máxima em operação no lado água (unidade sem módulo hidrônico)	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Módulo hidrônico		Bomba, filtro de tela, válv. segurança, tq. expansão (opcional), manômetro, válv. purga, chave de fluxo e válv. redução do controle de vazão										
Bomba		Bomba única unicelular centrífuga, 3500 rpm										
Quantidade		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Volume do tanque de expansão (opcional)	l	12	12	12	12	12	35	35	35	35	35	50
Pressão máxima em operação no lado água (unidade com módulo hidrônico)	kPa	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400
Conexões de água		Conexões de rosca macho										
Diâmetro da rosca para tubulação	in	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Diâmetro do tubo externo	mm	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	76.1	76.1

* Temperatura da água de entrada/saída do evaporador de 12°C/7°C, temperatura do ar exterior de 35°C.

Fonte: Catálogo Técnico Carrier (Adaptado).

A Figura 7 representa as dimensões do equipamento e os espaçamentos necessários para sua correta instalação e funcionamento.

Figura 7 – Dimensões e espaçamentos do equipamento estudado.

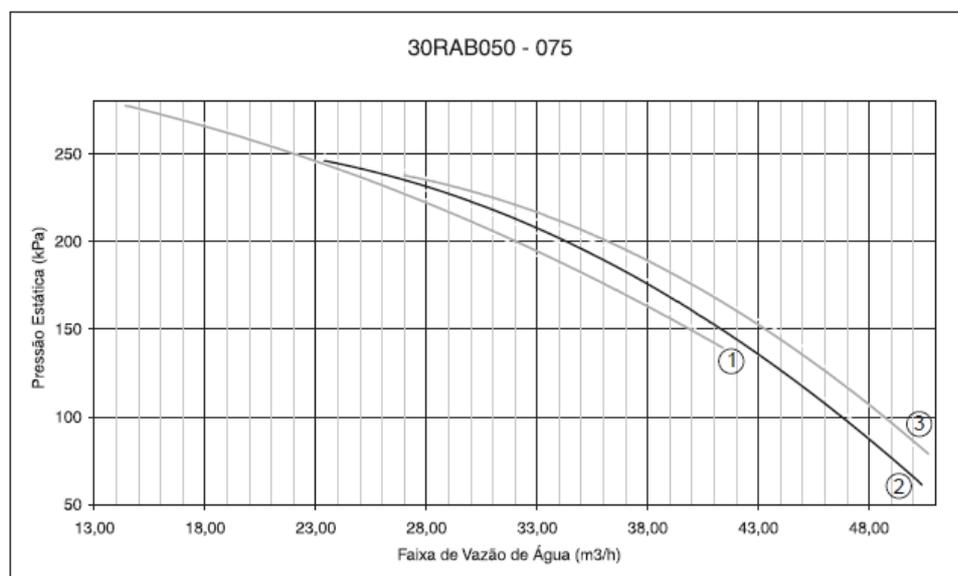


Fonte: Instruções Gerais Carrier.

O equipamento trabalha nos limites operacionais de vazão de água no evaporador de 7,6 L/s de vazão mínima de água e 23,9 L/s de vazão máxima de água. Em relação à temperatura máxima de água na entrada do evaporador seus limites são de 30°C no *start-up* e 55°C no desligamento (CARRIER).

O gráfico representado na Figura 8 mostra a curva da pressão estática (kPa) em função da faixa de vazão de água (m^3/h) do equipamento, representado pela curva número 3, de acordo com o Catálogo Técnico da Carrier.

Figura 8 – Pressão estática disponível do sistema.



Fonte: Catálogo Técnico Carrier.

Além do *Chiller*, outros equipamentos são importantes para sistema de climatização do local e merecem atenção. Esses equipamentos são descritos no projeto de climatização do hospital, por Engenheiros Associados Projeto e Consultoria.

- Bombas de água gelada: o sistema possui duas bombas (sendo uma reserva) centrífugas acionadas por motor elétrico trifásico. A ligação das bombas com a tubulação apresenta conexões flexíveis de borracha com anéis internos de aço. Seus rotores são de ferro fundido com bases antivibrante e o sistema de selo é do tipo gaxeta.
- *Fancoil*: seus gabinetes metálicos são compostos de chapa de aço fosfatizado, pintado com pintura eletrostática esmaltada para acabamento. A bandeja de água condensada é isolada e impermeabilizada, com caimento para o lado de drenagem. Os ventiladores das salas de cirurgia são do tipo *Limit-Load* de dupla aspiração e os demais do tipo sirocco de dupla aspiração, acionados por motor trifásico, com polias reguláveis e correias. Além disso, possuem mancais auto lubrificantes.
- *Fancoiletas*: dispõem ventiladores do tipo centrífugo, com motor sirocco de dupla aspiração acionado por motor elétrico, monofásico de 220 V e 60 Hz.

- Filtros de ar: com filtros do tipo descartável classe G3 com eficiência mínima de 85%, para os fancoils e filtro do tipo lavável com eficiência mínima de 75% para os fancoiletos.
- Umidificador: é constituído por um reservatório de água, resistência elétrica, chave bóia e ponto de alimentação. É instalado dentro do equipamento, sendo comandada por um umidostato.

2.8.1 MANUTENÇÃO RECOMENDADA

Antes de iniciar qualquer manutenção ou reparo, o manual de instruções gerais da Carrier faz considerações importantes sobre segurança.

- Nunca trabalhe com o equipamento ainda energizado.
- Sempre trave o circuito de alimentação elétrica em posição aberta, na dianteira da máquina, antes de executar qualquer operação de manutenção.
- Para suspender ou movimentar equipamentos pesados, como os compressores ou trocadores de calor, ou equipamentos leves com risco de perda de equilíbrio ou deslizamento, utilize equipamentos mecânicos, como guinchos.
- Utilize apenas peças originais para substituição de componentes, correspondendo às especificações do equipamento original.
- Feche as válvulas de interrupção de água de entrada e saída antes de trabalhar nos componentes da unidade.
- Inspeccione periodicamente todas as válvulas, acessórios e tubos, certificando que eles não possuem corrosão ou sinais de vazamento.
- Verifique uma vez por ano se o pressostato de alta pressão está conectado corretamente e se desliga na pressão correta.
- Inspeccione válvulas de segurança e fusíveis pelo menos uma vez por ano.
- Faça regularmente testes de vazamento, reparando imediatamente, caso necessário.

2.8.1.1 CONEXÕES DE ÁGUA

De acordo com o manual de instruções gerais da Carrier, a alimentação da água deve ser analisada e devidamente tratada e filtrada, além dos dispositivos de controle, o isolamento e as válvulas de drenagem, com objetivo de prevenir a corrosão, sujeiras e deterioração dos componentes da bomba.

Ainda segundo o manual, para a conservação e bom funcionamento do equipamento, deve-se instalar um filtro de tela, com malha de 1,2 mm, na frente da bomba no caso de existirem partículas no fluido que possam bloquear o trocador de calor.

2.8.1.2 MANUTENÇÃO ELÉTRICA

Recomenda-se trocar os fusíveis das unidades a cada 15000 horas de funcionamento ou a cada 3 anos. Além disso, é aconselhado verificar se todas as conexões elétricas estão ajustadas ao menos uma vez por ano (CARRIER).

2.8.1.3 SERPENTINA DO CONDENSADOR

Recomenda-se que as serpentinas aletadas sejam regularmente inspecionadas para evitar o acúmulo de sujeira. A periodicidade da inspeção dependerá do ambiente onde está instalado o equipamento. Feito a inspeção, limpar as serpentinas, sempre que necessário, removendo primeiramente fibras e poeira acumuladas e depois limpar a serpentina com agentes de limpeza adequados (CARRIER).

Segundo o manual de instruções gerais do equipamento, realizando a limpeza correta e frequente, aproximadamente a cada 3 meses, prevenirá 2/3 dos problemas de corrosão.

2.8.1.4 MANUTENÇÃO GERAL

- Limpar regularmente a tubulação exposta, retirando todo o pó e sujeira. Tal procedimento possibilita a descoberta de vazamentos de água mais fácil (CARRIER).
- Conferir se todas as juntas e conexões estão devidamente atarraxadas e seguras, evitando assim vazamentos e vibrações (CARRIER).
- Verificar o correto fechamento das juntas de isolamento e se todo o isolamento está fixo no local, verificando também todos os trocadores de calor e tubulação (CARRIER).
- Verificar regularmente a carga de refrigerante, observando que em caso de baixa carga no sistema aparecerão bolhas de gás no visor de líquido (CARRIER).
- Limpar mensalmente todas as serpentinas com produto de limpeza adequado (CARRIER).

2.8.1.5 MANUTENÇÃO DE ACORDO COM NORMAS

Além das recomendações de inspeção, limpeza e manutenção enunciadas pelo fabricante no manual do equipamento, também devem ser seguidas orientações elaboradas por órgãos regulamentadores.

A NBR 7256 (2005), faz importantes considerações sobre a importância da correta limpeza, troca e controle da umidade relativa dos filtros de ar. As resoluções da Anvisa nº 176 (2000), resolução RE nº 9 (2003) e NBR 13971 (2014), junto com a Portaria nº 3523 (1998) e lei 13.589 (2018), definem diversas atividades periódicas a serem realizadas para o bom funcionamento dos sistemas de refrigeração e condicionamento de ar.

Todas as orientações desses órgãos existem para evitar contaminações e proliferação de doenças e podem configurar infração sanitária em caso de descumprimento, podendo acarretar em punições financeiras que podem variar entre R\$ 2000,00 e R\$ 1500000,00, de acordo com a Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA

Neste capítulo será feita uma contextualização do hospital onde se encontra o equipamento estudado, bem como os métodos, materiais e ferramentas utilizados para a elaboração do plano de manutenção do *Chiller* e dos componentes responsáveis pela climatização dos ambientes.

3.1 O HOSPITAL

De acordo com o site da instituição, o hospital foi fundado na década de 1960, com o objetivo de desenvolver as atividades clínicas dos cursos de Medicina, Farmácia e Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Hoje, conta com duas unidades na cidade e é referência na região em atendimento pelo Sistema Único e Saúde (SUS), além de contribuir largamente para a formação dos universitários da área da saúde.

As duas unidades do hospital universitário atendem juntas em torno de 12 mil pessoas por mês, atuando em tratamentos e prevenção de doenças, cirurgias e transplantes, segundo o site da instituição. A excelência dos serviços prestados pelo hospital foi comprovada de acordo com uma pesquisa realizada entre hospitais universitários do país, na qual o hospital atingiu a primeira colocação da lista, segundo o portal de notícias do site da UFJF. Na pesquisa, foram realizadas entrevistas de pesquisa de satisfação aos usuários de 32 hospitais universitários federais do país no segundo semestre do ano de 2018, sendo coletadas 18718 respostas.

A climatização dos espaços do hospital e a garantia de seu correto funcionamento são de responsabilidade do Setor de Infraestrutura Física (SIF), que é parte da Divisão de Logística e Infraestrutura Hospitalar (DLIH), gerenciada pela Gerência Administrativa (GA). Para a realização do trabalho foi mantido contato com o responsável pela DLIH e com o engenheiro mecânico do SIF.

3.2 PRELIMINARES DO TRABALHO

Para a definição de como seria a aplicação do trabalho na instituição de saúde, foi feita uma reunião com o responsável pela DLIH sobre qual área os conhecimentos de Engenharia Mecânica aprendidos durante a graduação poderiam contribuir melhor com a realização de um trabalho. Assim, foi expresso que a área de climatização poderia ser aprimorada e realizado um trabalho de maior valor para o hospital, sendo que a área inicialmente pensada, de Engenharia Clínica, já está muito bem estruturada e organizada.

Para o maior alinhamento do que seria abordado, também foi feita uma reunião com o engenheiro mecânico do Setor de Infraestrutura Física, que expressou a deficiência do controle da manutenção dos equipamentos de climatização, devido terceirização desse

serviço, com um contrato de obrigações da empresa muito pouco abrangente, que já estava vigente há anos.

Com isso, por ser um dos equipamento mais complexos e que atendia a uma grande parte dos ambientes climatizados do hospital, foi escolhido elaborar um plano de manutenção para controle interno da instituição, de uma central de refrigeração.

A central de refrigeração estudada atende três andares do hospital, sendo mais de 19 repartições refrigeradas pela máquina. Dentre os ambientes estão salas de cirurgia, salas de exame, salas de recuperação e laboratoriais.

3.3 FUNDAMENTOS PARA A EXECUÇÃO

Para fundamentar o trabalho, foi feita uma pesquisa em artigos, livros e teses sobre as melhores práticas de manutenção e as novas tendências para o futuro. Além disso, com o objetivo de aprofundar e apoiar o planejamento da manutenção foram consultados livros de autores renomados no tema, o que possibilitou a elaboração de um bom plano baseado nos melhores métodos.

A fim de entender melhor a climatização em hospitais e embasar a justificativa da importância da atenção à climatização desses ambientes, foi feita uma pesquisa em artigos sobre o tema. Também, devido ao fato de o equipamento se tratar de uma máquina térmica de refrigeração, pesquisou-se sobre os princípios básicos da refrigeração, elucidando melhor sobre o funcionamento desse tipo de equipamento.

Por último, a fundamentação teórica culmina no detalhamento do equipamento estudado, consultando catálogos e manuais do fabricante e o projeto de todo aparato utilizado para a climatização dos ambientes no hospital, disponibilizado pelo mesmo. Essa consulta permitiu, além de entender melhor o funcionamento do equipamento, coletar informações sobre recomendações da manutenção do equipamento que, junto com a pesquisa em normas vigentes, possibilitou a elaboração do plano de manutenção.

3.4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVO

A elaboração do plano de manutenção, como já dito, foi baseada nas recomendações contidas no manual do equipamento e em normas. Utilizou-se, principalmente, informações contidas na ABNT NBR 13971, que trata de "Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento - Manutenção programada". Também foram utilizadas informações contidas na Resolução da Anvisa nº 176 e Portaria nº 3523, ambas com conteúdo sobre procedimentos para manter a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados e evitar a proliferação de doenças.

Para a construção do plano foi utilizado o *software* Microsoft Excel, devido a sua

facilidade de construção de planilhas e tabelas e seu amplo uso em diversos setores. Nele foram criados cinco planos de manutenção, baseado nos diversos componentes responsáveis pela climatização dos ambientes.

O modelo utilizado foi adaptado de modelos pesquisados na fundamentação teórica e contém principalmente as atividades que devem ser executadas para cada componente, sua periodicidade e campos de preenchimento com os meses, para controlar quando foram executadas as tarefas. A periodicidade da realização das atividades também foi embasada no manual do equipamento e nas normas, e devem ser ajustadas de acordo com a ocorrência de falhas, excesso de sujeira, corrosão, falta de lubrificação, dentre outros danos, no período entre as atividades. Além disso, a periodicidade pode ser aumentada no caso da boa conservação dos elementos verificados, sempre buscando um ponto ótimo. Tais recomendações são expressas por autores citados no referencial teórico e foram disponibilizadas em um manual criado para o correto uso plano de manutenção.

4 RESULTADOS

O resultado alcançado no trabalho, como previsto nos objetivos, foi o plano de manutenção preventivo de todo o sistema de climatização, representado pelas Figuras 9 a 19. Tal plano foi entregue ao engenheiro responsável pela área no hospital, para a realização de um controle interno da manutenção em paralelo com a empresa terceirizada, de acordo com a possibilidade.

O plano apresenta-se no formato do Microsoft Excel, onde é exposto grande facilidade de manuseio e edição de dados, podendo também ser impresso, caso necessário.

Em sua primeira aba foi enunciado as instruções para o correto preenchimento e sobre quando alterar a periodicidade de cada tarefa, podendo ser aumentada ou diminuída, sempre com o objetivo de melhora contínua do plano de manutenções.

Na segunda aba encontra-se o plano de manutenção para o *Chiller*. Em sua extremidade superior esquerda é reservado espaço para o preenchimento do ano vigente, além de conter a denominação do equipamento. A tabela do plano é dividida em "Componente", "Tarefa" e "Periodicidade", campos já preenchidos, e por "Última realização", "Próxima realização" e os meses de janeiro a dezembro, sendo campos a preencher pelo usuário.

Nas outras abas encontram-se os planos de manutenção dos elementos da parte externa (tubulações e bombas) e dos *fancoils* das salas de cirurgia, segundo pavimento e terceiro pavimento. Todos os planos possuem as mesmas informações contidas no primeiro e são em um total de cinco, abordando todos os principais componentes responsáveis pela climatização dos ambientes.

Figura 9 – Instruções para uso do Plano de Manutenção.

Instruções:

- 1 - Antes de iniciar um novo plano salve o arquivo em "salvar como", nomeando com o novo ano, para que não se perca o arquivo original.
- 2 - Use as barras abaixo para acessar os cinco planos de manutenção disponíveis.
- 3 - Para cada atividade realizada complete com "Ok" no mês referente, em frente a cada ação.
- 4 - Complete os campos "Última realização" e "Próxima realização" com as respectivas datas, de acordo com a periodicidade sugerida.
- 5 - Em caso de ocorrência de falhas, excesso de sujeira, corrosão, falta de lubrificação, ou outros danos, diminua gradativamente a periodicidade da atividade.
- 6 - Em caso de muito bom estado de conservação do elemento verificado, aumente gradativamente a periodicidade da atividade.
- 7 - De acordo com as observações durante as vistorias tente sempre melhorar o plano de manutenção.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Plano de Manutenção *Chiller* - Continuação 2.

		Instruções	Plano Chiller	Plano elementos área externa	Plano Fancoils Sala de cirurgia	Plano Fancoils - 2º pavimento	Plano Fancoils - 3º pavimento													
Filtros secadores	Verificar a existência de sujeira, danos e corrosão externa																			
	Limpar externamente																			
	Limpar elemento filtrante																			
Outros componentes	Verificar danos no elemento filtrante																			
	Verificar a existência de sujeira externa, danos, corrosão e funcionamento mecânico dos registros																			
	Verificar a existência de sujeira externa, danos e corrosão nas válvulas																			
	Verificar se o pressostato de alta pressão está conectado corretamente e se desliga na pressão correta																			
	Verificar o correto funcionamento das válvulas de segurança																			
	Realizar teste de vazamento																			
	Verificar amortecedores de vibração																			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Plano de Manutenção Fancoils - 3º Pavimento - Continuação.

Instruções		Plano Chiller	Plano elementos área externa	Plano Fancoils Sala de cirurgia	Plano Fancoils - 2º pavimento	Plano Fancoils - 3º pavimento														
Umidificadores	Verificar a existência de sujeira, danos e corrosão	Mensal																		
	Limpar elementos	Mensal																		
	Fazer desincrustação	Semestral																		
	Verificar os filtros	Mensal																		
	Verificar o funcionamento do sistema de alimentação e o nível da água	Trimestral																		
	Verificar o funcionamento do extravasor e do sistema de drenagem de água (desobstruir, caso necessário)	Trimestral																		
	Verificar o funcionamento dos bicos injetores pulverizadores e do sistema de distribuição de vapor	Trimestral																		
	Verificar o funcionamento das válvulas solenoides	Trimestral																		
	Verificar vazamentos e danos nas linhas de vapor condensado	Trimestral																		
	Verificar a operação dos dispositivos de segurança	Mensal																		
Verificar a existência de aterramento dos equipamentos elétricos	Anual																			
Verificar correto funcionamento da resistência elétrica	Semestral																			
Fazer limpeza	Mensal																			
Fazer desincrustação	Semestral																			
Verificar danos e corrosão	Mensal																			
Verificar e eliminar sujeira, danos e corrosões	Mensal																			
Limpar bandejas	Mensal																			
Fazer desincrustação da bandeja	Semestral																			
Verificar a operação de drenagem de água da bandeja	Trimestral																			
Verificar e eliminar sujeira, danos e corrosões	Mensal																			
Verificar fixação	Mensal																			
Verificar vibrações e ruídos anormais	Semestral																			
Lubrificar mancais de acionamento	Semestral																			
Verificar a operação dos amortecedores de vibração	Semestral																			
Verificar a operação dos controles de vazão	Semestral																			
Verificar aquecimento anormal dos mancais	Semestral																			
Verificar o aterramento elétrico	Semestral																			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de levantar os componentes de maior criticidade, calculando seu risco, e complementar o plano de manutenção, também foi feita uma Matriz FMEA com os principais componentes do sistema, que é representada na Figura 20.

Figura 20 – FMEA dos principais componentes do sistema de climatização.

Matriz FMEA - Sistema de climatização									
Componente	Falha	Efeito da Falha	Severidade	Causa da falha	Ocorrência	Meio de Detecção	Detecção	Processo ou Ação	Índice de Risco
Evaporador	Congelamento da serpentina	Queda de desempenho e danificação dos trocadores de calor e outros elementos	6	Falha na proteção anticongelante ou no sensor de descongelamento ou entupimento dos trocadores de calor	4	Visual e teste de funcionalidade do sistema anticongelamento e dos trocadores de calor	2	Verificar o correto funcionamento do sistema anticongelante e dos trocadores de calor	48
	Corrosão das serpentinas	Futuros vazamento de fluido e danificação do sistema	3	Excesso de sujeira e umidade	5	Visual	3	Limpeza	45
Condensador	Obstrução do trocador de calor	Queda de desempenho e danificação do sistema	5	Excesso de sujeira	7	Visual	3	Limpeza	105
	Corrosão das serpentinas	Futuros vazamento de fluido e danificação do sistema	3	Excesso de sujeira e umidade	5	Visual	3	Limpeza	45
Compressor	Parada de funcionamento	Parada de funcionamento de todo o sistema e possíveis danificações a elementos	8	Superaquecimento, desconexão elétrica ou motor em curto	3	Visual, auditiva e medições elétricas	2	Verificar aterramento elétrico, continuidade elétrica e todos componentes elétricos. Verificar dispositivos de proteção e elementos mecânicos	48
	Superaquecimento	Danificação ou parada do compressor	6	Sujeira, temperatura de sucção elevada, degradação do óleo	4	Medição de temperatura	3	Identificar causa raiz e solucionar o problema	72
	Funciona mas não comprime	Parada de funcionamento do sistema e possível danificação do compressor	8	Falta de refrigerante no sistema, rotação inversa ou válvula de alívio aberta	3	Visual, auditiva e medições elétricas	5	Verificar carga do fluido, elementos elétricos e mecânicos	120
Ventiladores	Travamento do motor	Deficiência na troca de calor dos trocadores	5	Sujeira ou falta de lubrificação	6	Visual	1	Limpar, desincrustar e lubrificar	30
	Excesso de ruído e vibração	Danificação de componentes do ventilador	4	Desalinhamento, rolamentos gastos, rotor sujo ou objeto estranho no rotor	6	Inspeção de vibração e auditiva	1	Verificar alinhamento e condição dos elementos mecânicos	24
	Corrosão das pás	Possível quebra das pás	2	Excesso de sujeira e umidade	4	Visual	3	Limpar ou trocar elementos	24
	Baixa vazão de ar	Deficiência na troca de calor dos trocadores	5	Sentido de rotação errado, filtro de ar sujo, correia frouxa ou gasta	4	Visual	2	Verificar correto sentido de rotação, filtro de ar, correias e rolamentos	40
Fluido refrigerante (Serpentinas)	Baixa pressão de refrigerante	Eficiência do sistema e possíveis danos a componentes	6	Falta de refrigerante, filtro entupido ou sensor de pressão defeituoso	6	Formação de bolhas no visor de líquido	3	Identificar causa raiz e solucionar o problema	108
	Alta pressão de refrigerante	Eficiência do sistema e possíveis danos a componentes	6	Falha de circuito do ventilador, alta temperatura de entrada do ar no condensador	6	Visual, através do pressostato de alta pressão	3	Identificar causa raiz e solucionar o problema	108
	Vazamento de refrigerante	Perda de eficiência ou parada de funcionamento de todo o sistema e possíveis danificações a elementos, além de danos ambientais	8	Danificações com perfurações na superfície da serpentina ou vazamentos em juntas e conexões	4	Visual, com o uso de equipamentos adequados	3	Encontrar o lugar de vazamento e solucionar o problema	96
Bombas	Não bombeia	Danos a gaxeta e selo mecânico (caso girar sem bombear)	7	Bomba não escorvada, linha de sucção ou rotor entupido	3	Visual, auditiva e medições	2	Identificar causa raiz e solucionar o problema	42
	Aquecimento dos rolamentos	Possíveis danos à bomba	3	Falta de lubrificante, desalinhamento	6	Análise de calor e vibração	6	Verificar lubrificação ou substituir rolamento. Em caso de reincidência encontrar causa raiz e solucionar o problema	108
	Excesso de ruído e vibração	Danificação de componentes da bomba	4	Desalinhamento, eixo torto ou quebrado, rotor parcialmente entupido, rolamentos gastos, cavitação da bomba	5	Análise auditiva, de vibração e calor	2	Identificar causa raiz e solucionar o problema	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os Índices de Risco calculados na FMEA, pode-se analisar os componentes que devem receber uma maior atenção, devido à maior criticidade de suas possíveis falhas. Para isso, foram feitas as médias do Índice de Risco para cada componente, mostradas na Tabela 6, onde os componentes com maior Índice de Risco são os mais críticos para o sistema.

Tabela 6 – Médias do Índice de Risco para cada componente

Componente	Média do Índice de Risco
Evaporador	46,5
Condensador	75
Compressor	80
Ventiladores	29,5
Serpentinas do fluído refrigerante	104
Bombas	63,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os resultados na Tabela 6 pode-se concluir que as serpentinas por onde passa o fluído refrigerante possuem um alto risco, portanto devem receber uma atenção maior na correta realização da manutenção preventiva. O compressor, condensador e as bombas possuem um risco médio e o evaporador e os ventiladores possuem um risco baixo. Tal classificação foi feita com base na Tabela 5, de acordo com Kardec e Nascif (2009).

Com isso, o cumprimento do plano de manutenção preventivo, por meio de ações simples periódicas, pode evitar a falha nesses componentes, podendo evitar transtornos com a parada do equipamento e altos custos de uma manutenção corretiva.

5 CONCLUSÕES

De acordo com o objetivo principal do trabalho - elaboração de um plano de manutenção preventiva, de fácil aplicação para a central de refrigeração - e da pergunta de pesquisa, justificativa de se aplicá-lo, pode-se concluir que o trabalho apresentou resultados satisfatórios.

Para justificar a aplicação do plano de manutenção no sistema de climatização do hospital, foi mostrado a importância da qualidade do ar nesses ambientes e do correto funcionamento dos equipamentos de climatização, podendo evitar a proliferação de doenças, além de evitar punições pelo não cumprimento de leis aplicadas.

Foram elaborados cinco planos de manutenção para os diversos componentes de todo o sistema de climatização, localizados em diversos ambientes. Devido à restrições contratuais com a empresa terceirizada responsável pela manutenção dos equipamentos de refrigeração do hospital, o plano não poderá ser completamente aplicado no momento. Portanto, servirá apenas para controle interno pelo engenheiro responsável pela área, com o objetivo de aplicá-lo num futuro, assim que possível.

Também, devido à falta de informações sobre histórico de manutenção e de falhas do equipamento, não foi possível realizar um estudo mais profundo sobre o tema, como critério de falha, confiabilidade, disponibilidade, tempo médio entre falhas, dentre outros, que poderiam enriquecer mais o trabalho.

Contudo, o trabalho foi de grande importância para o aprendizado prático de rotinas de gestão da manutenção, atividades muito solicitadas a engenheiros mecânicos no mercado de trabalho.

5.1 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se o uso de análises preditivas para o controle da manutenção de alguns componentes. Pode-se também, fazer o controle da qualidade do ar nos ambientes climatizados, por meio de instrumentos específicos, para avaliar se a manutenção realizada tem contribuído para a qualidade do ar e se ações de manutenção podem ser melhoradas.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. **NBR 13971: Sistema de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento - Manutenção programada.** Rio de Janeiro, 2014. 25 p.
- [2] ABNT. **NBR 7256: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - Requisitos para projeto e execução das instalações.** Rio de Janeiro, 2005. 22 p.
- [3] ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- [4] ABRAMAN. Documento Nacional 2013 - **A Situação da Manutenção no Brasil** 28 Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos - Salvador 2013.
- [5] ABRAMAN. Documento Nacional 2017 - **A Situação da Manutenção no Brasil** 32 Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos - Curitiba 2017.
- [6] Alves, L. H. (2018). **Notas de Aula: Gestão da Manutenção.** Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [7] ANVISA. **Resolução RE nº 176.** 2000. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/documentos>> Acesso em: 01 out. 2019.
- [8] ANVISA. **Resolução RE nº 9.** 2003. Disponível em: <<http://www.portal.anvisa.gov.br/documents>> Acesso em: 01 out. 2019.
- [9] BARBOSA, Felipe Fernandes. **Análise computacional de central de água gelada com tanque de termoacumulação.** 2013. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [10] BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0 - Aplicação a Sistemas de Manutenção.** 2017. 77f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [11] CARRIER. Catálogo Técnico - **AQUASNAP 30RA 012-075 PRO-DIALOG PLUS Resfriadores de Líquidos com Condensação a Ar Módulo Hidrônico Incorporado.** Disponível em: <<http://carrierdobrasil.com.br/modelo/downloads/meu-negocio/35/aquasnap-30ra>> Acesso em: 25 jun. 2019.
- [12] CARRIER. Instruções de Instalação - **30RA 012-075 / PRO-DIALOG PLUS Resfriadores de Líquidos com Condensação a Ar e Módulo Hidrônico Integrado.** Disponível em: <<http://carrierdobrasil.com.br/modelo/downloads/meu-negocio/35/aquasnap-30ra>> Acesso em: 25 jun. 2019.
- [13] ENGENHEIROS ASSOCIADOS PROJETO E CONSULTORIA. **Memorial Descritivo de Ar Condicionado e Ventilação.** São Paulo, 2006. 46 p.

- [14] FERREIRA, José Haroldo Gemaque; BENTO, Leticia Ferreira; MORALES, Israel Mazaira. **APLICAÇÃO DE RETROFIT EM SISTEMA DE COMANDO E CONTROLE DE UM CHILLER**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, n. 000147, 22/11/2018. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/aplicacao-de-retrofit-em-sistema-de-comando-e-controle-de-um-chiller-0>> Acesso em: 4 out. 2019.
- [15] GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise (Org.). **Métodos de Pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- [16] GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- [17] KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.
- [18] MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. Revista De Ciência & Tecnologia. Piracicaba, v. 11, n. 22, p. 35-42, jul./dez. 2003.
- [19] MILLER, Rex; MILLER, Mark R.. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.
- [20] MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 35, de agosto de 1998**. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/documentos>> Acesso em: 2 out. 2019.
- [21] NORMAS REGULAMENTADORAS. **NR 17 - Ergonomia**. Disponível em: <http://www.trtsp.jus.br/geral/tribunal2/LEGIS/CLT/NRs/NR_17.html> Acesso em: 13 nov. 2019.
- [22] PASSOS, Amanda Paes; LEITE, Maira Cordeiro; SIQUEIRA, Rafaela Landim Gomes; MARQUES, Etevaldo Pessanha. **UMA ANÁLISE DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS HOSPITALARES: UM ESTUDO DE CASO NO HOSPITAL UNIMED EM CAMPOS DOS GOYTACAZES**. Revista Perspectivas Online: exatas & eng..Campos dos Goytacazes, v. 2, n. 3, p. 68-96, 2012.
- [23] PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.
- [24] QUADROS, Marina Eller. **QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES INTERNOS HOSPITALARES: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS**. 2008. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [25] QUADROS, Marina Eller; LISBOA, Henrique de Melo; OLIVEIRA, Vetúria Lopes de; SCHIRMER, Waldir Nagel. **Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares**. Revista Tecnologia Fortaleza. Fortaleza, v. 30, n.1, p. 38-52, jun. 2009.

- [26] SANTOS, B.P.; ALBERTO, A.; LIMA, T.D.F.M.; CHARRUA-SANTOS, F.M.B.. **INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES**. Revista Produção e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- [27] SCHIRMER, Waldir Nagel; GAUER, Mayara Ananda; SZYMANSKY, Mariani Silvia Ester. **QUALIDADE DO AR INTERNO EM AMBIENTES HOSPITALARES CLIMATIZADOS – VERIFICAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS E DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO**. Revista TECNO-LÓGICA. Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 61-68, jul./dez. 2010.
- [28] SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. 1 ed. São Paulo: Editora Edipro, 2019.
- [29] SILVA, Marcelino Nascimento da. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL E COMERCIAL**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents>> Acesso em: 3 out. 2019.
- [30] SILVA, Daniela Pinheiro da; NAZARÉ, Daniela Lobato; MUNIZ, José Wagner Cavalcante; CÂMARA, Cibele Nazaré da Silva. **Infecções hospitalares associadas à qualidade do ar em ambientes climatizados**. Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção. Rio Grande do Sul, ano III v. 3, n. 4, out./dez. 2013.
- [31] SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.
- [32] STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W.. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 1 ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1985.
- [33] TAVARES, Lourival. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Novo Pólo Publicações, 1999.
- [34] TEIXEIRA, Dimas Barbosa; BRIONIZIO, Julio Dutra; PEREIRA, Leandro Joaquim Rodrigues; MAINIER, Fernando B.. **Síndrome dos Edifícios Doentes em Recintos com Ventilação e Climatização Artificiais: Revisão de Literatura**. Apresentado em: 8º Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, Rio de Janeiro, 2005.
- [35] WYREBSKY, Jerzy. **MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - UM MODELO ADAPTADO**. 1997. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- [36] XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção Preditiva: Caminho para a excelência**. 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/3162827-Manutencao-preditiva-caminho-para-a-excelencia.html>> Acesso em: 11 set. 2019.
- [37] XENOS, Harilaus G.. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 2 ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA****Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 8 de novembro de 2019.

Filipe de Paula Lopes – Discente
Matrícula: 201465042M – CPF: 124695496-63

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.