



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

**MELHORAMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA NA FÁBRICA
NACIONAL DE MEDICAMENTOS**

Supervisor:

Engº Jaime Matavel

Discente:

Nhadumbuque, Armindo Julião

Maputo, Julho de 2025

Autor:

Nhadumbuque, Armindo Julião

**MELHORAMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA NA FÁBRICA
NACIONAL DE MEDICAMENTOS**

Relatório de Licenciatura submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial.

Supervisor:

Eng^o Jaime Matavele

Maputo, Julho de 2025

Termo de entrega de Relatório de Trabalho de Licenciatura

Declaro que o estudante Nhadumbuque, Armindo Julião entregou no dia 15 de Julho de 2025 as três (3) copias de Relatório do seu trabalho de Licenciatura com a referência

Intitulado:

MELHORAMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA NA FÁBRICA NACIONAL DE MEDICAMENTOS

Maputo, 15 de Junho de 2025

Chefe da Secretaria



**MELHORAMENTO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA NA FÁBRICA NACIONAL DE
MEDICAMENTOS**

Lombada

Índice

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problemática	2
1.2. Problema	2
1.3. Objectivos	2
1.4. Perguntas de pesquisa	2
1.5. Justificativa	3
1.6. Estrutura do Relatório	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Reflexão histórica, conceitos básicos e tipos de sistemas de resfriamento de água para uma indústria.....	5
2.2. Sistema de resfriamento de água de uma fábrica de medicamentos.....	7
2.3. Teorias principais.....	12
2.3. Evolução histórica do objecto de estudo/tema.....	13
CAPÍTULO III.....	16
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	16
3.1. Descrição do local de pesquisa	16
3.2. Estado actual do sistema de resfriamento de água na Fábrica Nacional de Medicamentos	17
3.3. Características da fábrica	17
CAPÍTULO IV.....	23
4. METODOLOGIA	23
4.1. Análise do estado actual.....	23
4.2. Definição dos indicadores de desempenho (KPLs)	23
4.3. Análise técnica e científica	24
4.4. Propostas de melhorias técnicas.....	24
4.5. Avaliação económica e ambiental das soluções	24
4.6. Implementação controlada (piloto)	24
4.7. Monitoramento e controle contínuo.....	25
4.8. Documentação e validação	25
CAPÍTULO V.....	28
5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	28

5.1. Apresentação e análise de resultados	28
5.2. Discussão de resultados	31
5.2.9. Manutenções preventiva	41
6.1. Conclusão.....	48
6.2. Recomendações.....	48
6.3. Referência bibliográfica.....	49

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro à Deus, o meu alicerce e protector em todos os momentos, ontem, hoje e sempre.

À toda família Nhadumbuque, Nhalicale, Fondo, Nhamucho, Dimande, Nhavoto, Nhabetse, Cumbe, Muchisso, Mutsando, Chamusse pelo apoio moral e material.

Aos docentes, aos meus colegas e à toda classe do Registo Académico, pelos ensinamentos transmitidos durante a formação permitindo o meu desenvolvimento Biopsicossocial, companheirismo, cumplicidade, colaboração durante a jornada académica, pela organização e processamento correcto dos meus dados académicos, respectivamente.

E à todos que de forma directa ou indirecta influenciaram a minha vida académica e pessoal que não foram aqui mencionados.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Hortência Mário Mucande pelo amor incondicional, pelo apoio desde a primeira classe, pelo sacrifício para poder limar todas as minhas necessidades escolares e pelos conselhos motivacionais.

Ao meu pai Julião Vasco Nhadumbuque pelos estímulos positivos e negativos que me ajudaram a entender o sentido da vida, os meus propósitos e o meu projecto existencial.

Aos meus irmãos, Lino, Geraldo, Edson e Requelme, aos primos Hermenegildo, Alcino, Faira, Bemisario, Dario, Anselmo, Nelson, Alcídio, Nércia, Lúcia, Lólia, Belinha, Tininha que sempre me impulsionaram a seguir os meus reais objectivos.

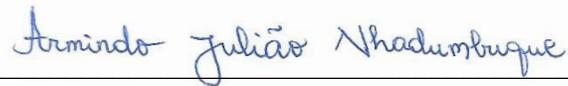
Aos meus colegas e amigos. Clésio Armando Cumbe, João Adriano, Nelson Maeja, Prudêncio Guiliche, France Muchanga, Francisco Armindo

Relatório do Estágio Profissional

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Armindo Julião Nhadumbuque, estudante do 5º nível do curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declaro por minha honra que o presente trabalho de Relatório de Estágio é exclusivamente de minha autoria, não constitui cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura:



Armindo Julião Nhadumbuque

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Componentes e suas funções.....	7
Tabela 2. Principais abordagens	12
Tabela 3. Perfil organizacional	18
Tabela 4. Modos de falhas de trocadores de calor.	25
Tabela 5. Modos de falhas comuns da válvula de expansão electrónica	26
Tabela 6. Temperatura e seus respectivos fluidos (Fonte: Kirloskar Chillers Private Limited)...	27
Tabela 7. Resultados obtidos no laboratório.....	29
Tabela 8. <i>Desempenho do equipamento</i>	30
Tabela 9. Tratamento físico	31
Tabela 10. Tratamento químico	32
Tabela 11. Tratamento biológico	32
Tabela 12. Estratégias de pré-tratamento.....	33
Tabela 13. Recomendações para uso das membranas de osmose reversa	37
Tabela 14. Comparação entre os processos de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Membrana Osmótica Módulo em Aspiral..... 38
Figura 2:Membrana Osmótica Modulo Fibra Oca..... 38
Figura 3:Representação esquemática dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa.
..... 39

ÍNDICE DE ANEXOS

Foto da torre de Water Chiller.....	A1.1
Foto das Electrobombas.....	A2.2
Foto do Painel de controlo 7.....	A3.3
Foto do Painel de controlo 6.....	A3.4
Foto do filtro da torre.....	A4.5
Foto do compressor e evaporador.....	A5-6

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

HVAC	Heating ventilation and air conditioning
MISAU	Ministério da Saúde
COP	Coeficiente de desempenho
CLPs	Controladores lógicos programados
pH	Potencial de hidrogênio
TDS	Total dissolved solids
RO	Osrose Reversa
ΔT	Variação da temperatura
MBTF	Mean time between failures
CFD	Computational fluid dynamics
SCADA	Supervisory control and data acquisition
BMS	Building management system
BPF	Boas practices de fabricação
ISO	International organization for standardization
KLPs	Key performance indicators
T_{entr}	Temperatura de entrada
T_{sai}	Temperatura de saída
<i>COP</i>	Eficiência energética ou coeficiente de performance

Relatório do Estágio Profissional

Q	Calor (Kcal/h)
W	Consumo energético (kWh)
U	Coefficiente de transferência térmica, ($W/m^2.K$)
A	Área de troca térmica (m^2)
ΔT_m	Diferença de transferência média logarítmica(K)
U	Condutividade térmica, ($W.m^{-1} . K^{-1}$)

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo melhorar o sistema de resfriamento de água na Fábrica Nacional de Medicamentos, visando aumentar a eficiência energética, garantir a qualidade dos produtos farmacêuticos e reduzir custos operacionais. A água refrigerada é um recurso essencial nos processos produtivos farmacêuticos, é utilizada na conservação de matérias-primas e produtos acabados. A investigação partiu do diagnóstico do sistema actual, identificando as falhas como o consumo excessivo de energia, instabilidade na temperatura da água e necessidade frequente de manutenção correctiva. Com base nesta análise, foram estudadas alternativas tecnológicas como o tratamento mecânico em todo sistema que visa remover calcário e toda camada adicional nas tubagens, troca de fonte de água utilizada para o sistema, os resultados esperados com a implementação das propostas incluem a melhoria de confiabilidade do sistema, aumento da vida útil dos equipamentos, maior controle de temperatura nos processos críticos e conformidade com os padrões de qualidade exigidos pela indústria farmacêutica.

Palavras-chave: melhoria, resfriamento, eficiência.

ABSTACT

The objective of this work is to improve the water-cooling system at the National Pharmaceutical Factory, aiming to increase energy efficiency, ensure the quality of pharmaceutical products, and reduce operational costs. Chilled water is an essential resource in pharmaceutical production processes, as it is used in the preservation of raw materials and finished products. The investigation began with a diagnosis of the current system, identifying failures such as excessive energy consumption, water temperature instability, and frequent need for corrective maintenance. Based on this analysis, technological alternatives were studied, such as mechanical treatment throughout the system to remove limescale and other build-ups in the pipelines, and changing the water source used in the system. The expected results from implementing these proposals include improved system reliability, increased equipment lifespan, better temperature control in critical processes, and compliance with the quality standards required by the pharmaceutical industry.

Keywords: improvement, cooling, efficiency.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O resfriamento de água é um processo essencial em diversas indústrias, desde geração de energia manufactura e climatização. Um sistema eficiente de resfriamento de água é fundamental para garantir a operação segura e económica dos equipamentos, além de contribuir para sustentabilidade ambiental, reduzindo o consumo de recursos naturais e emissão de calor para o meio ambiente.

A utilização de sistemas da climatização tem vindo progressivamente a aumentar na sociedade moderna, é um processo tecnológico vital para manter e intensificar a qualidade da vida da sociedade moderna altamente industrializada. A busca pelo sistema mais eficiente e menos pródigo fez ressurgir, em alguns casos, processos primórdios da refrigeração, como absorção com água, ou mesmo técnicas de climatização como o caso de frio para conforto, a distribuição do ar.

Os sistemas de resfriamento de água são amplamente utilizados em indústrias, edifícios comerciais, hospitais para dissipar o calor gerado por pessoas e equipamentos. O aprimoramento desses sistemas envolve incremento de novas tecnologias, o uso de materiais mais eficientes, visando melhor a eficiência térmica, resumindo o consumo de água energia, especialmente o uso de produtos químicos para tratamento de água e à emissão de gases de efeito de estufa.

É a partir do pressuposto acima que o presente trabalho visa avaliar o melhoramento do sistema de resfriamento de água na Fábrica de Medicamentos Nacional. O melhoramento desse sistema visa otimizar a troca de calor térmico, reduzir o desperdício de água, energia e minimizar impactos ambientais.

Nas indústrias, a maior parte do gasto energético é atribuída aos componentes eléctricos para movimentação de fluidos Rodrigues, 2007 e segundo Anell (2007), o sector industrial é o maior consumidor de energia eléctrica. Diante disto, é visível a importância de estudar alternativas para que equipamentos que utilizam motores operem da forma mais eficiente possível.

1.1. Problemática

Um sistema de resfriamento de água em uma fábrica de medicamentos é essencial para manter temperaturas controladas em processos críticos de produção, garantindo qualidade, segurança e conformidade com as normas. Este sistema tem como objectivo, controlar a temperatura ou garantir a estabilidade térmica de equipamentos como reactor, sistemas de HVAC e tanques.

No entanto o sistema actual de resfriamento de água na fábrica nacional de medicamentos, apresenta limitações quanto a sua eficiência térmica, consumo energético e capacidade de manter temperaturas ideais de operação, especialmente sob condições de alta demanda e variações climáticas. Estes factos impactam directamente no desempenho dos processos industriais, aumentando custos operacionais e riscos de falhas.

1.2. Problema

Diante desta problemática surge a seguinte questão: como melhorar o sistema de resfriamento de água na fábrica nacional de medicamentos?

1.3. Objectivos

1.3.1. Gerais

Melhorar o sistema de resfriamento de água na fábrica nacional de medicamentos.

1.3.2. Específicos

- Avaliar o estado actual de funcionamento do resfriador da fábrica nacional de medicamentos;
- Analisar a eficiência do sistema de resfriamento de água comparando com os parâmetros do fabricante;
- Propor o tratamento de água utilizada no sistema de resfriamento.

1.4. Perguntas de pesquisa

1. Qual é o estado actual do funcionamento do resfriador na Fábrica Nacional de Medicamentos?
2. Qual é a eficiência do sistema de resfriamento de água comparando com os parâmetros do fabricante?
3. Qual é o tratamento da água utilizada no sistema de resfriamento para aumentar eficiência térmica?

1.5. Justificativa

O estudo e o aprimoramento de sistema de resfriamento de água são fundamentais para eficiência operacional de processos industriais, sistema de climatização e diversas outras aplicações que demandam o controle térmico. A crescente demanda por soluções mais sustentáveis e energeticamente eficientes torna este tema especialmente relevante na actualidade.

A escolha do tema busca, portanto, contribuir para o desenvolvimento de tecnologias e estratégias que otimizem o desempenho desses sistemas, promovam a sustentabilidade ambiental e assegurem maior confiabilidade e económica para usuário. O melhoramento do sistema de resfriamento de água é uma necessidade crescente em sectores industriais, comerciais até mesmo residenciais, o que reforça a importância deste tema

Fábrica Nacional de Medicamentos é uma empresa nacional especializada na produção e armazenamento de medicamentos em condições e ambiente recomendável, aliás, é um fornecedor do sistema de saúde nacional. Além de contribuir no bem da saúde da sociedade moçambicana, proporciona oportunidade de emprego em várias áreas de saber, sejam elas a título singular ou colectivo.

Neste caso, é uma oportunidade ímpar de trabalhar com vários departamentos de manutenção para solucionar o problema eminente naquele sistema, onde requer habilidades em sistemas eléctricos, automação industrial, transferência de calor e muito mais.

O sistema instalado agrega várias áreas da indústria moderna que despertam interesse para qualquer estudante ou técnico que quer colocar em prática o que aprendeu durante a sua formação para contribuir na sociedade e melhorar as suas condições do dia-a-dia.

1.6. Estrutura do Relatório

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1. Introdução

Este capítulo aborda a formulação do problema, objectivos da pesquisa, perguntas da pesquisa, justificativa para a realização do estudo e estrutura do relatório.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, são fornecidos o enquadramento histórico e a abordagem de conceitos essenciais relacionados com o tema. Apresentação de diferentes tipos de resfriamento de água utilizados na indústria alimentar, suas diferenças, vantagens e desvantagens.

Capítulo 3. Contextualização da Fábrica Nacional de Medicamentos

Neste capítulo, é feita apresentação da indústria em que o estudo foi realizado, fornecendo informações relevantes sobre o contexto do local de pesquisa.

Capítulo 4. Metodologia de Resolução do problema

Neste capítulo, é apresentada a metodologia da resolução do problema para abordar a questão proposta.

Capítulo 5. Apresentação e Análise de Resultados

Este capítulo apresenta os dados da situação actual do resfriador de água na Fábrica Nacional de Medicamentos, incluído a elaboração de tabelas do desempenho. São apresentados os resultados obtidos e os resultados recomendados para melhorar a eficiência térmica.

Capítulo 6. Conclusão e Recomendações

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações derivadas da pesquisa. E também contém a lista das referências bibliográficas utilizadas no trabalho, seguindo normas e padrões de citação adequados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Reflexão histórica, conceitos básicos e tipos de sistemas de resfriamento de água para uma indústria.

O desenvolvimento dos sistemas de resfriamento de água acompanhou a necessidade crescente de dissipar calor em motores mais potentes e eficientes, sendo aperfeiçoados com materiais, fluidos e tecnologias de controle mais avançados ao longo dos séculos. As soluções modernas buscam equilibrar eficiência e sustentabilidade, com o foco na economia de energia e água, ao mesmo tempo que atendem às demandas.

As primeiras civilizações, como egípcias e romanas, utilizavam métodos rudimentares de resfriamento, como armazenar água em câmaras subterrâneas ou construções de pedra para mantê-la fria, era passivo sem aplicação da tecnologia mecânica, usava gelo colhido de rios e lagos no inverno e armazenado para o uso a posterior (século XVI e XVIII).

Com a industrialização, o controle da temperatura tornou-se crítico, neste período começam a seguir os primeiros sistemas de resfriamento ativos, com a torre de resfriamento. A evolução recente dos sistemas de resfriamento de água tem focado na eficiência energética e na sustentabilidade ambiental, automação de processos e sistemas.

- **Termodinâmica e transferência de calor**

Essas áreas fornecem a base para o funcionamento dos sistemas de resfriamento.

Fundador da termodinâmica moderna, sua teoria sobre máquinas térmicas é a base do entendimento da eficiência energética dos sistemas de resfriamento, *Sadi Carnot* (1796-1832).

Descobriu a relação entre o calor e o trabalho mecânico, essencial para os cálculos de desempenho térmico, *James Prescott Joule* (1818-1889).

Desenvolveu a teoria estatística que explica os princípios do calor e da energia em sistemas físicos, usada em moldagens de resfriamento *Ludwig Boltzmann* (1844-1906).

Contribuiu com aplicação prática da dinâmica dos fluidos em sistemas de engenharia térmica e resfriamento, *Jakob Ackeret* (1898-1981).

- **Engenharia de Refrigeração e Resfriamento**

Área responsável pela aplicação das ciências físicas para criar equipamentos e sistemas de refrigeração;

Inventor do primeiro sistema de refrigeração mecânica industrial, suas descobertas levaram a criação de *chiller*, compressores e torres de resfriamento *Carl Von Linde* (1842-1934).

Inventor do ar condicionado moderno, seus princípios de controle de temperatura e humidade foram adaptados para processos industriais e farmacêuticos, *willis Carrier* (1728-1799).

Desenvolveu o conceito de calor latente, essencial para entender a evaporação de água em torres de resfriamento, *Joseph Black* (1728-1799).

- **Química e tratamento de água**

Essencial para evitar corrosão, incrustações e crescimento biológico nos sistemas:

Explicou a dissociação iónica em soluções aquosas, fundamental para o tratamento químico da água, *Svante Arrhenius* (1859-1927).

Contribuiu com a química da ligação química e estrutura molecular, ajudando a compreender a interação entre metais e compostos na água, *Linus Pauling* (1901-1994).

Pesquisador moderno em tecnologias de dessalinização e osmose reversa, aplicados no pré-tratamento de água industrial, *Raphael Samiat* (Israel).

- **Microbiologia e Saúde ambiental**

Importante na prevenção de problemas como *legionella* nos sistemas de água industrial:

Fundador da microbiologia, suas descobertas foram aplicadas na identificação de bactérias em sistemas hídricos, *Louis Pasteur* (1822-1895).

5. Inovações recentes e sustentabilidade.

Defensor da eficiência energética em sistemas industriais, incluindo o uso racional da água e resfriamento sustentável, da autoria do *Amory Lovins*.

Pesquisador em engenharia ambiental, que desenvolveu tecnologias de baixo custo para purificação e resfriamento de água, com foco em eficiência energética, *Ashok Gadgil*

2.2. Sistema de resfriamento de água de uma fábrica de medicamentos

É um sistema industrial projectado para dissipar o calor da água utilizada em processos de produção, devolvendo-a a uma temperatura adequada para ser utilizada ou descartada de forma segura. Este sistema tem as seguintes funções, ou seja, é um conjunto de equipamentos usados para remover calor de processos industriais, máquinas ou ambientes, utilizando água como fluido térmico. O objectivo principal é manter a temperatura controlada, evitando danos, perda de eficiência ou riscos à segurança e qualidade do produto acabado, ou seja, transfere calor de um ponto quente (máquinas, fluidos, ambientes) para um meio frio (água, ar ou fluído refrigerante), isso pode ocorrer por meio de:

- Convecção, troca de calor entre superfícies e fluido em movimento;
- Condução, transferência directa de calor entre materiais em contacto;
- Radiação térmica, emissão de energia em formas de ondas térmicas; e
- Evaporação (em sistemas evaporativos), o calor é removido quando a água evapora.

Tabela 1. Componentes e suas funções

Componente	Função
Trocador de calor	Transfere calor da água do processo para outro fluido
Bomba	Faz a água circular no sistema
Torre de resfriamento	Dissipa o calor para o ar por evaporação
Arrefecedor seco	Resfria a água com ar ambiente, sem evaporar
Reservatório	Armazena água do processo
Filtros/tratamento	Remove impurezas e evita corrosão/bio contaminação
Controle/automação	Garante operação segura, estável e eficiente

Fonte: Autor, 2025.

2.2.1. Tipos de circuitos:

- Aberto, a água entra em contacto com o meio ambiente;
- Fechado, a água circula em tubulações sem contacto com meio ambiente

2.2.2. Parâmetros importantes

- Temperatura de entrada e saída de água;
- Vazão (quantidade de água que circula);
- Carga térmica (quantidade de calor a ser removido);
- Eficiência térmica do sistema;
- Perda por evaporação ou vazamento; e
- Qualidade de água (dureza, pH, sólidos específico).

2.2.3. Vantagens do uso de água como fluido de resfriamento

- Alta capacidade de absorver calor (alto calor específico);
- Fácil de bombear e transportar;
- Custo relativamente baixo.

2.2.4. Cuidados necessários

- Prevenir corrosão, incrustações e biofilmes;
- Manutenção periódica de bombas, torres, *water chiller*, sensores;
- Monitoramento constante de temperatura e pressão.

2.2.5. Equipamento de resfriamento de água

São usados para remover calor da água em processos industriais, comerciais ou residenciais. Eles são essenciais em diversos sectores com *HVAC*, indústria química, alimentos e bebidas.

Os principais tipos de equipamentos de resfriamento de água são:

- a) Torres de resfriamento, utilizadas principalmente em sistemas industriais e de ar condicionado. Funciona por troca térmica entre água e ar, geralmente co vapor parcial da água, onde temos.
 - Tiro induzido, o ventilador no topo suga o ar de baixo para cima;
 - Tiro forçado, o ventilador na base empurra o ar para dentro;

Relatório do Estágio Profissional

- Circuito aberto, a água entra em contacto directo com o ar;
- Circuito fechado, usa trocador de calor para remover calor.

b) Resfriadores de água (*water chiller*), utilizados para resfriar água em sistemas de ar condicionados central ou processos industriais.

Tipos de resfriadores de água:

- Resfriador a ar, utiliza o meio ambiente para dissipar calor;
- Resfriador a água, usa uma torre de resfriamento para dissipar calor; e
- Absorção, utiliza calor como fonte de energia.

c) Trocadores de calor, transferem calor entre dois fluidos sem que eles se misturem. Tipos de trocadores de calor:

- Casco e tubo;
- Placas; e
- Ar ambiente ou ar;
- água.

i) Trocador de casco



Foto 1: Trocador de casco e tubo

Fonte: autor, 2025.

ii) Trocador de placa



Foto 2: Trocador de placa.

Fonte: autor, 2025.

iii) **Trocador a ar e água**



Foto 3:Trocador a ar e água.

Fonte: autor, 2025.

2.2.6. Fábrica de Medicamento

É um estabelecimento industrial dedicado à produção e armazenamento de medicamentos em larga escala, segundo normas e técnicas sanitárias rigorosas estabelecidas por órgãos legisladores, MISAU, que exige:

- Alta precisão de temperatura (± 0.5 °C ou menor em alguns casos);
- Água pura ou altamente tratada;
- Operação em ambientes controlados e limpos;
- Baixo risco de contaminação do fluido de processo;
- Conformidade com normas, e mais.

A Fábrica Nacional de Medicamentos realiza diversas etapas como é o caso de:

- Desenvolvimento de fórmulas;
- Produção dos princípios activos e excipientes;
- Processamento e fabricação de medicamentos; e
- Armazenamento e distribuição.

2.3. Teorias principais

Tabela 2. Principais abordagens

Teoria/abordagem	Objectivo principal	Aplicação no sistema de refrigeração	Vantagem
Manutenção preditiva e condicional	Evitar falhas por meio de monitorização em tempo real	Sensores de vibração, temperatura, pressão, análise de óleo	Aumento da vida útil dos equipamentos, redução de paragens não programadas
Eficiência energética/ gestão de energia	Reduzir o consumo e custo de energia eléctrica	Análise de COP, uso de variadores de frequência, isolamento térmico eficiente	Redução de custos, sustentabilidade, conformidade com metas ambientais
Automação e controlo	Aumentar a precisão de controlo de temperatura e operação do sistema	CLPs, automação de válvulas e compressores	Monitoramento em tempo real, respostas automáticas a desvios
Engenharia de confiabilidade	Melhorar a confiabilidade e a manutenção focada em risco	Planeamento de manutenção crítica para componentes como <i>water chiller</i> , compressores e evaporadores	Menor tempo de inactividade, foco nos pontos críticos do sistema
Boas práticas de armazenamento e transporte	Garantir a temperatura adequada em armazenamento e distribuição	Monitoria contínua de alarmes de temperatura, qualificação térmica de áreas e equipamentos	Conformidade com as normas de MISAU, protecção da integridade dos medicamentos
Melhoria contínua	Optimizar constantemente os processos	Análise de falhas recorrentes, revisão de procedimentos, relatórios de operadores	Melhoria constante da eficiência e segurança do sistema

Fonte: autor, 2025.

2.3. Evolução histórica do objecto de estudo/tema

As primeiras civilizações, como egípcias e romanas, utilizavam métodos rudimentares de resfriamento, como armazenar água em câmaras subterrâneas ou construções de pedra para mantê-la fria, era passivo sem aplicação da tecnologia mecânica, usava gelo colhido de rios e lagos no inverno e armazenado para o uso a posterior (século XVI e XVIII).

O desenvolvimento dos sistemas de arrefecimento de água acompanhou a necessidade crescente de dissipar calor em motores mais potentes e eficientes, sendo aperfeiçoados com materiais, fluidos e tecnologias de controle mais avançados ao longo dos séculos. As soluções modernas buscam equilibrar eficiência e sustentabilidade, com o foco na economia de energia e água, ao mesmo tempo que atendem às demandas. Conhecido como pai da termodinâmica, desenvolveu os fundamentos teóricos sobre eficiência das máquinas, essenciais para o entendimento de resfriamento *Sadi Carnot* (1796-1832).

Com a industrialização, o controle da temperatura tornou-se crítico, neste período começam a seguir os primeiros sistemas de resfriamento activos, com a torre de resfriamento. A evolução recente dos sistemas de resfriamento de água tem focado na eficiência energética e na sustentabilidade ambiental, automação de processos e sistemas. Um dos maiores especialistas em transferência de calor e massa, fundamentos para trocadores de calor e sistema de resfriamento de água *Stephen Whitaker* (1931-2020).

O controlo rigoroso de temperaturas em processos críticos com fermentação, síntese química e armazenamento, o sistema de água para refrigeração separado da água para formulações foi defendido pelo engenheiro mecânico e autor da "Teoria da Construção" (*Constructal Theory*), que analisa o fluxo de calor e fluidos em sistemas naturais e tecnológicos. Sua ideia tem influenciado o *design* de sistemas de resfriamento mais eficientes, *Adrian Bejan* (1948).

Em climatização as formas mais comuns de se expressar potência são através de Btu/h (Unidade Térmica Britânica por hora), CV (Cavalo por vapor), Kcal/h (quilocalorias por hora) e principalmente TR que equivale a 12000Btu/h

Para avaliação do sistema de resfriamento de água do equipamento instalado é importante calcular a diferença de temperatura de água na entrada e saída do sistema, ou seja, comparar a queda da temperatura real com a ideal com base na capacidade térmica do sistema.

$$\Delta T = T_{entr} - T_{sai}$$

Onde:

- ΔT - Diferença de temperaturas;
- T_{entr} - Temperatura de entrada;
- T_{sai} - Temperatura de saída.

Para medir energia consumida pelas electrobombas, motor eléctrico/ventilador, um sistema eficiente consome menos energia para atingir resultados recomendados pelo fabricante;

- Coeficiente de performance (COP) ou eficiência energética total
- Relação de energia térmica transferida por energia eléctrica consumida
- Avalia a razão entre o calor removido (Q) e o consumo energético (W)

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Onde:

- COP – Eficiência energética ou coeficiente de performance
- Q – Calor removido (Kcal/h)
- W – Consumo energético (kWh)

Verificar se os trocadores de calor estão a funcionar dentro dos parâmetros esperados, analisando o coeficiente de transferência térmica.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m$$

Onde:

- U – Coeficiente de transferência térmica, ($W/m^2.K$)
- A – Área de troca térmica, (m^2)
- ΔT_m – Diferença de transferência média logarítmica(K)

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T/L$$

Onde:

- U – Condutividade térmica, ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
- A – Área de troca térmica, (m^2)
- ΔT – Diferença de temperaturas (K)
- L – Espessura(mm)

Convecção, a água quente circula, trocando calor com o meio ambiente ou com fluido mais frio. A eficiência da convecção pode ser aumentada como controle do fluxo do fluido.

Radiação que não é muito comum nos sistemas de arrefecimento industrial, mas a dissipação de calor por radiação é relevante em alguns sistemas.

Em sistema de arrefecimento o número de Reynold é uma medida importante que descreve o regime de escoamento do fluido (laminar ou turbulento). A melhoria do sistema pode envolver o ajuste das condições de fluxo para um regime turbulento, que melhora a eficiência de transferência de calor. Outros números adimensionais usados em análise de sistemas de arrefecimento incluem: O sistema de arrefecimento de água utiliza o fluido refrigerante para absorver e dissipar calor, é projetado para manter a temperatura no processo de produção e armazenamento de medicamentos. A água circula pelo sistema e remove calor nas salas, compressores arrefecidos com água e de seguida volta para ser arrefecida.

A eficiência térmica é a capacidade de remover calor de forma eficaz, reduzindo a energia necessária para refrigerar, diminuindo a temperatura de operação e aumentando a vida útil dos componentes.

CAPÍTULO III

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Descrição do local de pesquisa

A Fábrica Nacional de Medicamentos localiza-se na Av. das Indústrias, bairro da Machava, município da Matola, província de Maputo. Ela é especializada na produção e armazenamento de medicamentos.

Segundo o director do departamento de engenharia ou manutenção a falta de eficiência dos equipamentos contribui nas paragens não programadas, aumento de custos de produção, diminui a vida útil dos equipamentos, perda da qualidade do medicamento e em alguns casos há perda da matéria prima armazenada.

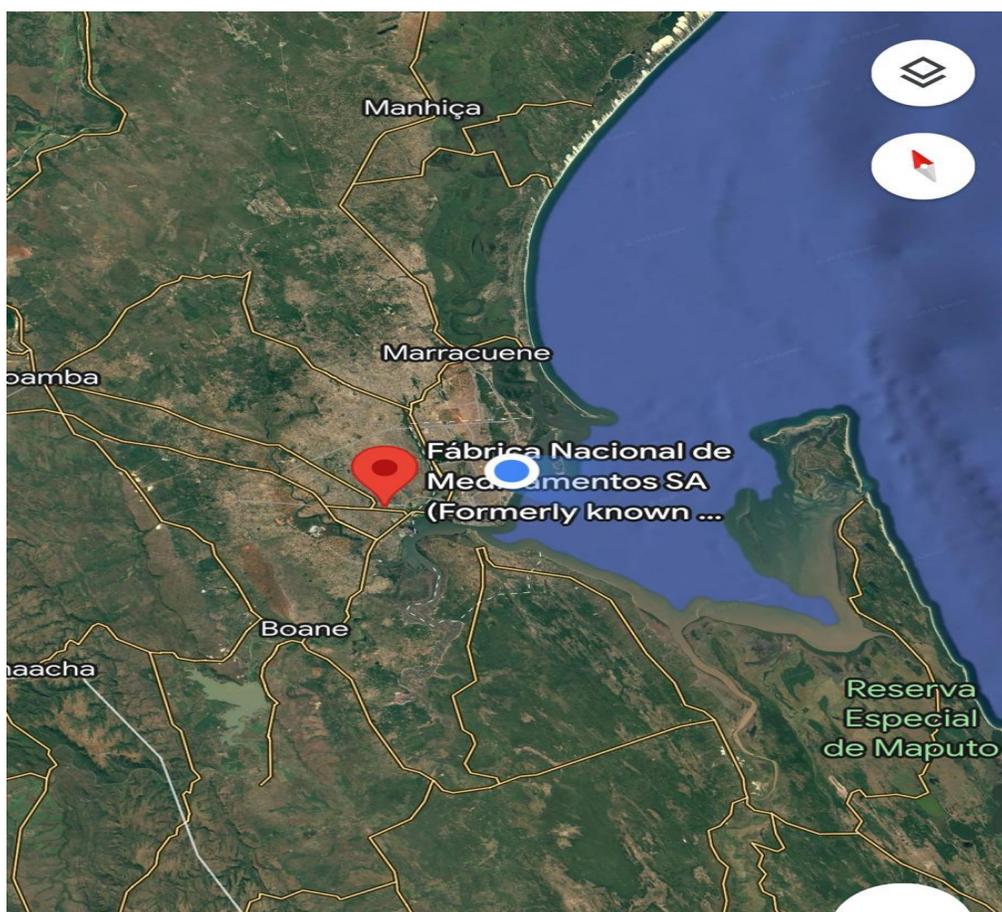


Foto 4: Localização da Fábrica Nacional de Medicamentos.

Fonte: Google Earth

3.2. Estado actual do sistema de resfriamento de água na Fábrica Nacional de Medicamentos

O objectivo de investigação é de melhorar do sistema de resfriamento de água na Fábrica Nacional de Medicamentos. Na indústria farmacêutica, a manutenção de condições ambientais e operacionais rigorosamente condicionadas controladas é essencial para garantir a qualidade, a segurança e a sua eficácia dos medicamentos produzidos, um dos elementos críticos para o funcionamento eficiente de diversos processos industriais é o sistema de resfriamento de água, este sistema é responsável por manter a temperatura adequada em equipamentos, linhas de produção e ambientes controlados, evitando superaquecimento de máquinas, reagentes e substâncias activas sensíveis ao calor.

O sistema de resfriamento de água é composto por uma torre de arrefecimento e dois *water chillers* que usam compressores tipo parafuso. Os dois sistemas de resfriamento de água (*water chiller*) na Fábrica de Medicamento não alcançam as temperaturas desejadas para produção e armazenamento de medicamentos, algo que contribui negativamente para a sociedade e seus clientes. O resfriador de água EN/E/0006, com treze mil quinhentos e noventa e uma horas de trabalho (13591h) e dois mil seiscentos e cinquenta e cinco (2543) tentativas de arranque, ao passo que, o resfriador de água EN/E/0007, com dezanove mil quinhentos e vinte e cinco horas (19525h), e quatro mil quatrocentos e seiscentas e duas (4462) tentativas de arranque, este último funciona, mas apresenta baixo rendimento.

Este sistema arrefece dois compressores de ar, salas de produção, armazenamento de produtos químicos e respectivos medicamentos.

3.3. Características da fábrica

A Fábrica Nacional de Medicamentos, tem seu nome oficial, Strides Pharms Mozambique, S.A, com morada na Machava e NUIT: 40046547. Esta instalado desde 2015, tem mais de 250 trabalhadores nacionais e estrangeiros, com a capacidade de produzir um bilhão de doses de medicamento por ano, tem uma linha de produção de 83 fármacos essenciais, incluindo anti-hipertensivos, vitaminas e antimaláricos. Recentemente certificada pela Organização Mundial de Saúde, de modo a produzir e exportar medicamentos para outros países.

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 3. Perfil organizacional

Perfil organizacional	
1. Directória	
Cargo	Função principal
Director Geral	Responsável pela gestão geral da empresa e tomada de decisões estratégicas
Director industrial	Supervisiona a produção, manutenções e engenharia
Director de qualidade	Garante conformidade com normas regulatórias e padrões de qualidade
Director financeiro	Controla finanças, investimentos e gestão orçamental
Director de assuntos regulatórios	Gerência registos, auditoria e conformidade com os órgãos reguladores
2. Área de produção	
Cargo	Função principal
Gerente de produção	Coordena linhas de fabricação e processos produtivos
Supervisor de produção	Supervisiona equipas e garante cumprimento de metas
Operador de máquinas	Actua directamente nas linhas de produção
3. Garantia e controlo de qualidade (GQ e CQ)	
Cargo	Função principal
Gerente de qualidade	Coordena CQ, GQ e validações
Analista de qualidade (CQ)	Realiza testes físicos-químicos e microbiológicos em matérias-primas e produtos
Analista de garantia da qualidade (GQ)	Monitora processos, documentos e desvios
Técnico de laboratório	Apoia análises laboratoriais

Relatório do Estágio Profissional

4. Engenharia e manutenção	
Cargo	Função principal
Gerente de engenharia e manutenção	Responsável por obras, instalações e manutenção industrial
Engenheiro mecânico e eléctrico	Supervisiona sistema de <i>HVAC</i> , resfriamento, vapor, energia e ar comprimido
Técnico de manutenção industrial	Realiza manutenções correctivas, preventiva e preditiva
Operador de caldeira, <i>chiller</i> , torre de resfriamento	Opera sistemas críticos de apoio à produção
5. Desenvolvimento farmacotécnico e pesquisa	
Gerente de pesquisa e desenvolvimento	Coordena desenvolvimento de novos produtos
Farmacêutico desenvolvedor	Formula medicamentos e realiza testes de estabilidade
Analista de validação	Valida métodos analíticos e processos produtivos
6. Assuntos regulatórios	
Cargo	Função principal
Gerentes de assuntos regulatórios	Coordena submissões de registos e contacto com órgãos reguladores
Analista regulatório	Prepara dossiês, monitora legislação e grande conformidade documental
7. Logística, armazenamento e distribuição	
Cargo	Função principal
Gerente de logística	Controla estoque, transporte e armazenamento
Supervisor de almoxarifado	Controla a entrada e saída da matéria-prima e produtos acabados
Auxiliar de logístico/armazém	Movimenta e regista produtos

8. Segurança, meio ambiente e saúde ocupacional (SMS)	
Cargo	Função principal
Engenheiro de segurança do trabalho	Garante condições seguras e conformidade com normas ambientais
Técnico de segurança de trabalho	Executa inspeções, treinamentos e controla EPI
Técnico de meio ambiente	Controla resíduos, efluentes e emissões
9. Administração e recursos humanos	
Cargo	Função principal
Gerente de RH	Planeja e coordena políticas de gestão de pessoas
Analista de RH/DP	Processos selectivos, folha de pagamento e benefícios
Auxiliar administrativo	Apoia aos sectores com controle de documentos, relatórios e agendas

Fonte: autor, 2025.

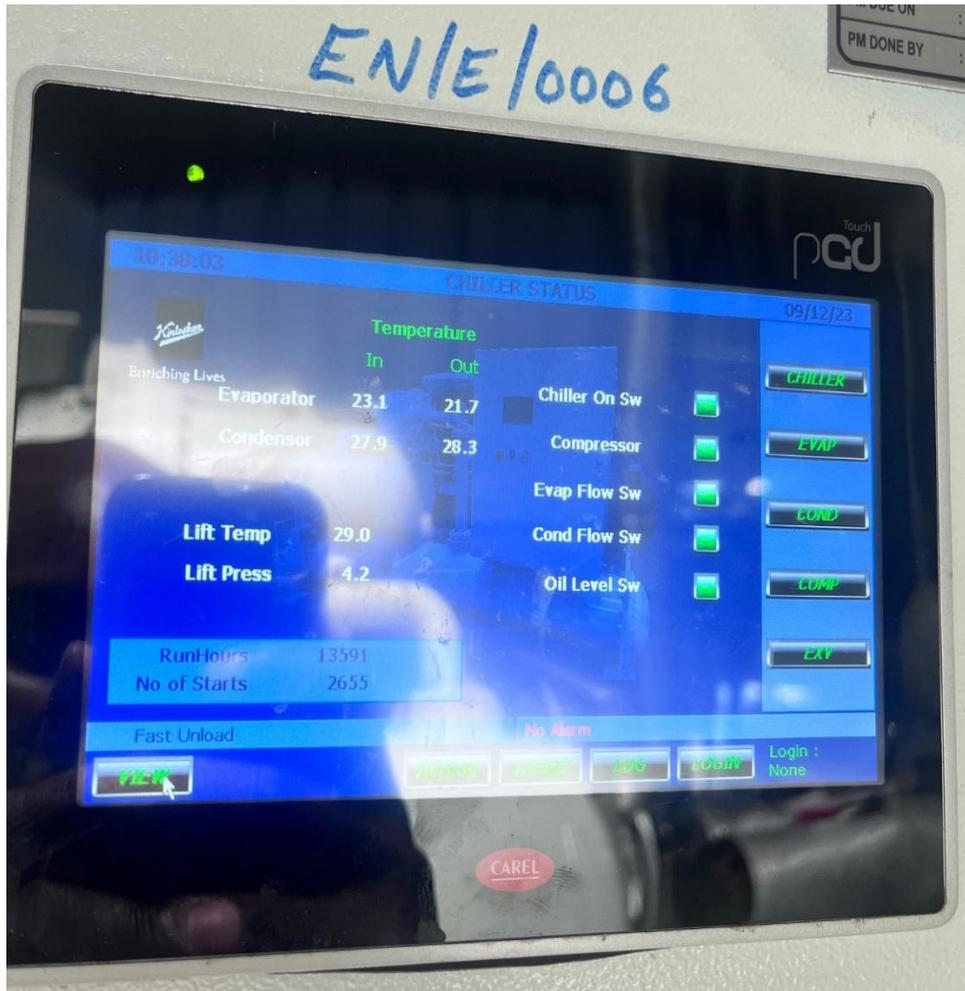


Foto 5: Painel do resfriador 0006.

Fonte: autor, 2025.

Relatório do Estágio Profissional

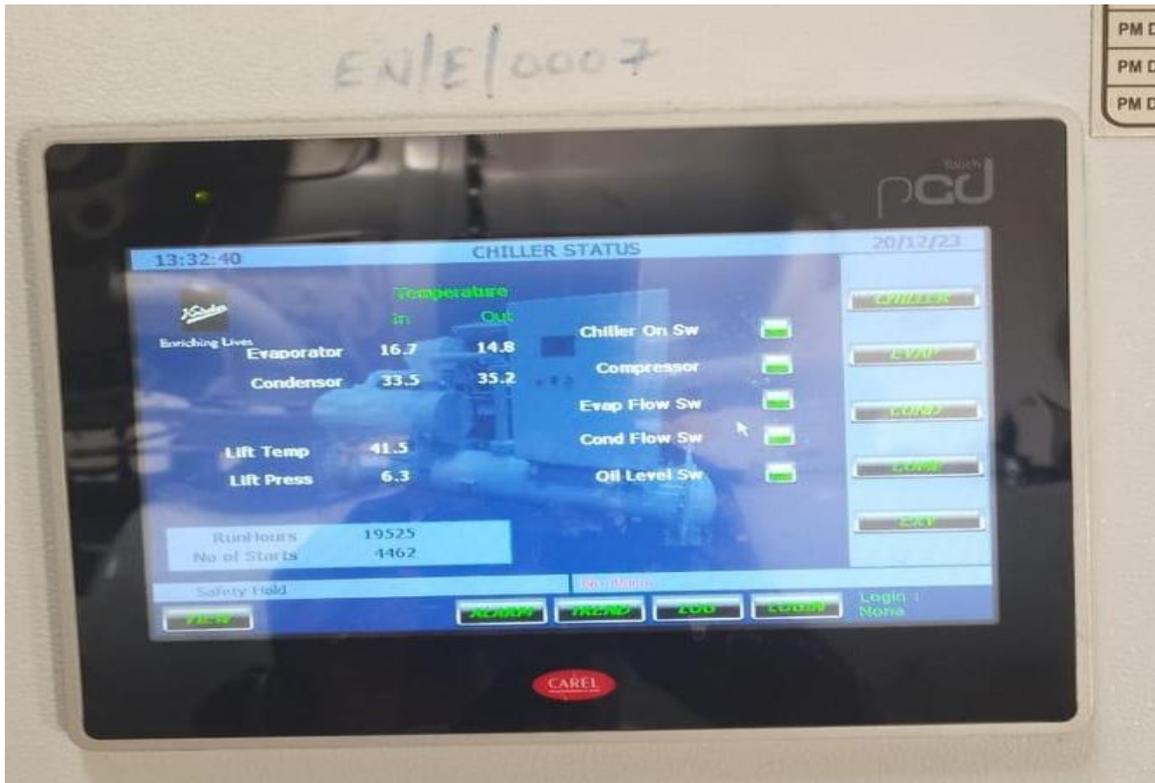


Foto 6: Painel do resfriador 0007.

Fonte: autor, 2025.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram respeitados os procedimentos metodológicos que serviram de guia. *Segundo Gil (2008)*, a metodologia é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos utilizados para realizar pesquisa ou trabalho. Para que seja considerado conhecimento científico, é necessário a identificação dos passos para a sua verificação, ou seja, determinar o método que possibilitou chegar ao conhecimento. Para a realização do trabalho recorreu-se a seguintes métodos:

4.1. Análise do estado actual

O objectivo é de melhorar o desempenho do equipamento instalado.

4.1.1. Actividades

- Levantamento de dados operacionais (temperatura de entrada e saída, consumo energético e vazão);
- Verificação de equipamentos (torres, *chillers*, bombas, válvula e sensores);
- Análise da qualidade de água (corrosividade, dureza, presença de biofilmes e legionella);
- Inspeção de infra-estrutura e condições de manutenção.

4.2. Definição dos indicadores de desempenho (KPLs)

O objectivo é de estabelecer parâmetros de eficiência e segurança.

4.2.1. Indicadores comuns

- Eficiência térmica (ΔT e COP);
- Consumo energético m^3 de água resfriada;
- Tempo médio entre falhas (MTBF);
- Índice de contaminação microbiológica; e
- Nível de perda de água por evaporação e vazamento.

4.3. Análise técnica e científica

- Diagrama de *Ishikawa* (espinha de peixe);
- Análise de Pareto (80/20);
- Estudos de CFD (dinâmica dos fluidos computacional) para otimizar fluxo e troca térmica;
- Testes laboratoriais de água (ATP, *langelier*, índices microbiológicos).

4.4. Propostas de melhorias técnicas

4.4.1. Possíveis acções

- Troca ou manutenção de equipamentos obsoletos (bombas, torres, *chillers*);
- Implementação de sistema de tratamento de água (filtragem, abrandamento, desinfecção, osmose reversa);
- Automação e controle digital (CLP, sensores de LoT, monitoramento remoto);
- Redesenho hidráulico para melhorar distribuição térmica;
- Uso de aditivos químicos para controle de corrosão, incrustação e crescimento biológico.

4.5. Avaliação económica e ambiental das soluções

Análise da viabilidade técnica e financeira:

- Cálculo de ROI (retorno sobre investimento),
- Simulações de economia de energia e água e
- Estimativas de redução de dióxido de carbono e descarte de influentes.

4.6. Implementação controlada (piloto)

O objectivo é validar a solução em escala reduzida.

- Instalação experimental em unidade ou linha;
- Medição dos resultados durante o período definido;
- Ajustes conforme a resposta técnica.

4.7. Monitoramento e controle contínuo

Acções:

- Implantação do sistema SCADA ou BMS para monitoramento em tempo real;
- Treinamento da equipa operacional;
- Plano de manutenção preventiva e correctiva; e
- Relatórios períodos com base nos KPLs definidos.

4.8. Documentação e validação

Conformidade regulatória:

- Emissão de relatórios;
- Validação segundo boas práticas de fabricação (BPF) e normas ISO.

Combinar os resultados quantitativos e qualitativos para uma visão holística do desempenho do sistema de resfriamento e das percepções dos colaboradores.

Essa metodologia proporciona uma estrutura sólida para conduzir a pesquisa de forma sistemática, garantindo que os dados colectados sejam significativos e aplicáveis para o melhoramento do sistema de resfriamento na Fábrica de Medicamentos Nacional.

Tabela 4. Modos de falhas de trocadores de calor.

Fonte: Swartz 1982

Causas	Problemas				
	Erosão do material	Martelo hidráulico	Folha da conduta	congelamento	Deformação da conduta
Vibração			✗		
Velocidade excessiva do fluido	✗				
Fadiga térmica			✗		✗
Falha de protecção térmica				✗	
Perda de água de resfriamento			✗		✗
Onda de pressão ou choque		✗	✗		

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 5. Modos de falhas comuns da válvula de expansão electrónica

Causas	Problemas				
	Falha na abertura da válvula	Falha no fechamento da válvula	Vazamento através da válvula	Vazamento ao redutor da haste	Abertura ou fechamento muito lento
Corrosão	✗	✗	✗		
Sujeira/detrimentos presos na sede da válvula	✗	✗	✗		
Desgaste excessivo	✗	✗			
Pressão de linha muito alto	✗	✗	✗	✗	✗
Dano mecânico	✗	✗	✗		
Falha do solenóide	✗	✗			
Fiação defeituosa do solenóide	✗	✗			
Tipo de válvula errada	✗	✗			

Fonte: Mobley, 1943.

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 6. Temperatura e seus respectivos fluidos (Fonte: Kirloskar Chillers Private Limited).

T em °C	PRESSÃO EM Kg/cm2(g)				T em °C	PRESSÃO EM Kg/cm2(g)			
	R22	R134a	R407C			R22	R134a	R407C	
			Bubble	Dew				Bubble	Dew
-14	2.11	0.71	2.5	1.7	24	9.42	5.56	10.6	8.9
-13	2.22	0.78	2.65	1.8	25	9.71	5.76	10.9	9.2
-12	2.34	0.86	2.8	1.9	26	10	5.96	11.2	9.5
-11	2.47	1.01	2.9	2	27	10.29	6.17	11.55	9.8
-10	2.6	1.09	3	2.2	28	10.6	6.39	11.9	10.1
-9	2.73	1.18	3.15	2.3	29	10.93	6.6	12.25	10.4
-8	2.86	1.27	3.3	2.4	30	11.23	6.83	12.6	10.7
-7	3	1.36	3.45	2.5	31	11.56	7.03	12.95	11.05
-6	3.14	1.45	3.6	2.7	32	11.89	7.29	13.3	11.4
-5	3.28	1.54	3.8	2.8	33	12.23	7.53	13.65	11.75
-4	3.43	1.64	4	3	34	12.57	7.77	14	12.1
-3	3.58	1.74	4.15	3.15	35	12.91	8.02	14.4	12.45
-2	3.74	1.85	4.3	3.3	36	13.27	8.27	14.8	12.8
-1	3.9	1.95	4.5	3.45	37	13.62	8.53	15.2	13.2
0	4.07	2.06	4.7	3.6	38	13.99	8.8	15.6	13.6
1	4.24	2.18	4.85	3.75	39	14.37	9.07	16.05	14
2	4.41	2.29	5	3.9	40	14.76	9.34	16.5	14.4
3	4.6	2.41	5.2	4.1	41	15.15	9.62	16.9	14.8
4	4.79	2.53	5.4	4.3	42	15.55	9.91	17.3	15.2
5	4.97	2.66	5.65	4.45	43	15.95	10.22	17.75	15.65
6	5.15	2.79	5.9	4.6	44	16.36	10.5	18.2	16.1
7	5.34	2.92	6.1	4.8	45	16.77	10.8	18.7	16.55
8	5.54	3.06	6.3	5	46	17.2	11.11	19.2	17
9	5.75	3.2	6.5	5.2	47	17.63	11.43	19.65	17.45
10	5.96	3.34	6.7	5.4	48	18.07	11.75	20.1	17.9
11	6.17	3.49	6.95	5.65	49	18.51	12.08	20.6	18.4
12	6.39	3.64	7.2	5.9	50	18.77	12.42	21.1	18.9
13	6.61	3.69	7.45	6.1	51	19.32	12.76	21.65	19.4
14	6.84	3.79	7.7	6.3	52	19.79	13.1	22.2	19.9
15	7.07	3.95	7.95	6.55	53	20.27	13.46	22.7	20.4
16	7.31	4.11	8.2	6.8	54	20.76	13.82	23.2	20.9
17	7.55	4.28	8.5	7.05	55	21.25	13.91	23.8	21..45
18	7.8	4.45	8.8	7.3	56	21.76	14.56	24.4	22
19	8.06	4.62	9.1	7.55	57	22.27	14.94	24.95	22.55
20	8.32	4.8	9.4	7.8	58	22.79	15.33	25.5	23.1
21	8.59	4.98	9.7	8.05	59	23.32	15.72	26.1	23.7
22	8.86	5.17	10	8.03	60	23.86	16.13	26.7	24.3
23	9.14	5.36	10.3	8.6	65	26.68	18.24	29.85	27.35

CAPÍTULO V

5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Apresentação e análise de resultados

O processo de purificação da água para uso farmacêutico é baseado na eliminação de impurezas físico-químicas, biológicas e microbianas até se obterem níveis preestabelecidos em compêndios oficiais aprovados pelas autoridades sanitárias.

O controle da contaminação da água para uso farmacêutico é fundamental, uma vez que a água tem grande susceptibilidade para agregar compostos diversos e para sofrer recontaminação, mesmo após a etapa de purificação.

O controle de qualidade microbiológico é prioridade, uma vez que alguns tipos de microrganismos podem se proliferar nos componentes dos sistemas de tratamento e de distribuição da água para uso farmacêutico. Portanto, é importante minimizar a contaminação microbiológica por meio de tecnologias e acções apropriadas.

A tecnologia a ser empregue na purificação da água depende do tipo de água que se pretende obter. Os requisitos de boas praticas de fabricação (BPF) aplicados a elas estão em constante actualização com o intuito de reduzir o risco de contaminação, seja química, biológica ou microbiológica. De forma genérica, pode-se dizer que os métodos mais comuns e confiáveis para obtenção de água purificada são tratamento químico, físico, e osmose reversa.



Foto 7: Corrosão no compressor de ar.



Foto 8: Calcário no trocador de calor.

Fonte: Autor,2025.

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 7. Resultados obtidos no laboratório

PARAMETROS	FURO	ENT. COMP.	SAID. COMP.	B. TORRE	AMACIADOR	LIMITES
PH	8.22	9.29	9.44	9.52	7.98	6 a 9
Dureza	300	300	150	100	75	400
Alcalinidade	65	300	300	300	65	300 a 600
Cloretos	443.75	3106.25	3550	3993.75	887.5	300 a 600
TDS	1477	5229	5096	5285	1568	1200
Condutividade	2110	7470	72280	7550	2240	2200
Salinidade	1.05	3.66	3.64	3.79	1.12	

Fonte: Professional water Management

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 8. *Desempenho do equipamento*

Novembro de 2024		Temperatura do evaporador		Temperatura do condensador		Parâmetros da sucção		Parâmetros da descarga		Água da electrobomba em Bar		Arrefecimento	Corrente
W. Chiller	Hora	Entrada	Saída	Entrada	Entrada	Saída	Pressão	Temperatura	Pressão	Entrada	Saída	%	A
EN/E/0006	10:00h	15.3	13.7	31.1	33.8	14.1	3.6	59.9	9.8	1.2	0.7	67	106.9
EN/E/0007		15.4	14.4	31.4	33.7	15.1	3.7	60	10.1			82	130.2
EN/E/0006	11:00h	16.3	14.6	31.1	34.1	15	3.7	60.9	10			69	109.9
EN/E/0007		16.4	15.4	31.4	33.7	16	3.9	59.6	10			79	126.2
EN/E/0006	12:00h	17.3	15.5	31.7	34.4	15.9	3.9	61.9	10.1			68	108.5
EN/E/0007		17.3	16.3	32	34	16.9	4	60.5	10			77	123.1
EN/E/0006	12:30	17.6	15.9	31.7	34.4	16.5	4	62.4	10			68	108.5
EN/E/0007		17.7	16.7	32	34	17.2	4.1	59.9	9.9			78	124.1
EN/E/0006	13:00h	17.9	16.1	31.7	34.7	16.8	4	62	10.1			69	109.2
EN/E/0007		18	17	32	34.3	17.5	4.1	60.4	10.1			79	124.9
EN/E/0006	13:30	18.2	16.5	31.7	34.4	17.1	4.1	62.6	10			69	109.2
EN/E/0007		18.3	17.3	32	34.3	17.8	4.2	59	10			79	125.7
EN/E/0006	14:00h	18.6	16.8	32	34.7	14.4	4.1	62.5	10.1			69	109.2
EN/E/0007		18.6	17.6	32.3	34.6	18.1	4.2	58.8	10.2			79	126
EN/E/0006	14:30	19.2	17.7	32.3	35	18	4.2	63.9	9.9			65	102.8
EN/E/0007		19.3	18.3	32.6	34.9	18.7	4.3	69.2	10.2			76	121.5
EN/E/0006	15:00h	19.4	17.9	32.3	35	18.3	4.3	63.3	10			65	103.1
EN/E/0007		19.5	18	32.6	34.7	19	4.4	62.9	10.2			77	123.3
EN/E/0006	15:30	19.7	18.1	32.3	35	18.6	4.3	63.5	9.9			66	104.8
EN/E/0007		19.8	18.8	32.6	34.6	19.3	4.4	62.3	10			77	122
EN/E/0006	16:00h	19.6	17.9	32	34.7	18.6	4.3	63.4	9.9	65	102.8		
EN/E/0007		19.6	18.6	32.3	34.3	19.3	4.4	62.3	9.9	75	119.7		

Fonte: Kirloskar Chiller Private Limited

5.2. Discussão de resultados

5.2.1. Tratamento químico, físico e biológico da água

O tratamento de água de resfriamento pode ser feito como emprego de diversas formas técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos. A escolha do melhor método deve se basear na sua eficiência e, evidentemente, no seu custo fixo e operacional.

O método escolhido de purificação da água, ou seja, a sequência de etapas de purificação, deve ser apropriado à qualidade da água produzida. As especificações para os equipamentos de purificação da água e para os sistemas de armazenamento e distribuição devem possuir configurações que evitem a proliferação microbiológica.

Especialmente em tratamento de água industrial foco em corrosão, controle biológico e otimização de sistemas de resfriamento, deve-se, também, levar em consideração os efeitos ambientais e respectiva legislação de controle, *Nicholas G. Pizzi*.

a) Tratamento físico

Tem o objectivo de remover impurezas sólidas, controlar turvação da água e proteger o equipamento do sistema (bombas, trocadores, tubulações).

Tabela 9. Tratamento físico

Técnicas principais		
Técnicas	Função	Aplicação comum
Filtragem de área	Retenção de partículas maiores	Pré-tratamento de água de reposição
Filtros cartucho	Filtragem fina, partículas pequenas	Protecção de membranas
Separadores ciclónicos	Remoção de sólidos por força centrífuga	Indicado para águas com muita areia
Malhas ou grades	Retenção grosseira de folhas, resíduos	Entrada de torre de resfriamento

Fonte: Autor, 2025.

b) Tratamento químico

Com o objectivo de prevenir corrosão, incrustação e proliferação microbiológica que possam danificar o sistema ou comprometer a segurança do processo.

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 10. Tratamento químico

Técnicas principais		
Técnicas/ produto	Função	Observação
Inibidores de corrosão	Protegem metais contra oxidação	À base de fosfatos, molibdatos
Anti incrustantes	Evita precipitação de sais	Especialmente útil com água dura
Ajuste de pH	Mantem pH na faixa ideal 6,5 a 8,5	pH incorrecta acelera corrosão ou incrustação
Biocidas oxidantes	Eliminam microrganismos	Devem ser compatíveis com materiais
Biocidas não oxidantes	Acção mais lenta usando alternadamente	Para evitar resistência microbiana
Antiespumante	Reduzem formação de espuma	Em torres abertas

Fonte: Autor, 2025

c) Tratamento biológico

Com o objectivo de controlar a purificação de microrganismos (bactérias, algas, fungos), que podem formar biofilmes e comprometer o desempenho térmico ou contaminar o ambiente.

Tabela 11. Tratamento biológico

Técnicas principais		
Técnicas/ produto	Função	Observação
Dosagem de biocidas	Mata ou inibe microrganismos	Uso rotativo para evitar resistência
Monitoramento microbiológico	Acompanha níveis bacterianos	Pode incluir testes de ATP
Limpeza mecânica	Remove biofilmes em superfície	Limpeza mecânica
Desinfecção contínua	Acção preventiva contra legionella	Obrigatória para ambientes regulados
Purga automática	Renova a água e reduz concentração microbiana	Reduz matéria orgânica

Fonte: Autor, 2025.

5.2.2. Sistema de tratamento de água usando osmose reversa

Inicialmente, a osmose reversa foi empregada com o objectivo de dessalinizar a água do mar. Entre as décadas de 1960 e 1970 esta tecnologia começou a ser usada na indústria de alimentos, sendo a indústria leiteira a pioneira.

5.2.3. Pré-tratamento da água

Pré-tratamento, é o nome dado ao processo com objectivo de fazer com que a corrente de alimentação não contenha quantidades significativas de sólidos suspenso ou espécies que possam precipitar na superfície da membrana, ou seja, procedimentos que antecipam a geração de problemas para o sistema de osmose reversa. Para melhor desempenho, deve-se trabalhar nos seguintes factores do pré- tratamento, remoção dos sólidos suspensos, remoção dos oxidantes e prevenir as precipitações na superfície das membranas.

A água bruta, contém impurezas, sais minerais, microrganismos e partículas, antes de ser usada em processos industriais, especialmente em indústrias farmacêuticas, ela precisa ser purificada.

Tabela 12. Estratégias de pré-tratamento

Estratégia	Acções
Aumentar a solubilidade	Controlo de pH, temperatura e adição de complexantes
Retardar a precipitação	Uso de anti incrustantes
Remover íons de baixa solubilidade	Abrandadores
Remoção de sólidos suspensos	Filtros, centrífugas/decantadores, precipitação, sedimentação e floculação
Controlo de microrganismos	Destilação
Remoção de solventes orgânicos	Pasteurização, esterilização e tratamento químico
Remoção de sólidos orgânicos dissolvidos	Nano filtração e ultrafiltração (remoção de ácidos húmicos ou fases orgânicas emulsionadas)

Fonte: Oliveira 2007, Wagner 2001

5.2.4. Osmose reversa (RO)

Antes de se tratar de osmose reversa, deve-se conhecer um pouco sobre a osmose. Este é nome de um processo natural espontâneo, que é dado ao movimento de uma substância em dois meios de concentrações diferentes, com objectivo de separar a concentração em ambos os meios igualmente. Já a osmose reversa, se difere, pois, por meio de uma pressão externa maior que a pressão osmótica, empurra a solução a passar pela membrana, separando o meio de alta concentração, da de baixa concentração.

O sistema de osmose reversa é um processo altamente eficaz de purificação da água para rejeitar macromoléculas e substâncias dissolvidas na água. Este sistema, utilizado em uma variedade de aplicações, baseia-se no princípio da separação por membrana, onde uma membrana semipermeável actua como uma barreira para reter as impurezas dissolvidas e permitir a passagem da água purificada.

O processo de fraccionamento completo, utilizado para tratamento de água, permite remover a maior parte dos contaminantes orgânicos e até 99% de todos os íons. Este processo remove ainda até 99,0% dos vírus, das bactérias e dos colóides, usando uma pressão superior a pressão osmótica que força a passagem de água através da membrana semipermeável no sentido inverso ao da osmose natural. A pressão osmótica é a diferença de pressão e de energia potencial que existe entre duas soluções, em lados opostos de uma membrana semipermeável, devido à tendência da água a fluir por osmose.

O processo de osmose reversa, ao contrário da filtração convencional, em que os contaminantes ficam retidos dentro ou na superfície do filtro, os contaminantes, partículas sólidas e compostos existentes no efluente, são eliminados pelo fluxo transversal do rejeito. A percentagem de água de alimentação que é permeada recebe denominação de taxa de recuperação, que dependerá do sistema utilizado.

Para soluções suficientemente diluídas a pressão osmótica (π) pode ser dada pela equação:

A equação de Van't Hoff mostra ainda que a pressão osmótica de uma solução diluída é directamente proporcional à concentração molar do soluto e, portanto, inversamente proporcional ao peso molecular deste, para uma massa de soluto constante. A aplicação desta equação a soluções reais exige a introdução de correcções análogas aplicadas à equação dos gases perfeitos para torná-la válida a gases reais. É equacionada pela expressão:

$$i = 1 + \alpha (q - 1) \quad (5.2)$$

Onde:

i – fator de correção de Van't Hoff em mols de partículas;

α – grau de ionização; e

q – número total de íons liberados na ionização de um composto.

Os fluxos de solvente (FS) e de soluto (Fs) através da membrana são dados pelas expressões:

$$FS = \frac{\Delta S}{\lambda} (\Delta P - \Delta \pi) \quad (5.3)$$

$$Fs = \frac{\Delta s}{\lambda} \Delta C \quad (5.4)$$

Sendo:

ΔS – coeficiente de difusão de soluto no solvente, [m^2/s];

Δs – coeficiente de difusão do soluto, [m^2/s];

λ – espessura efectiva da membrana, [μm];

ΔP – diferença de pressão das duas soluções, [kgf/cm^2];

$\Delta \pi$ – diferença de pressão das duas soluções, [kgf/cm^2];

ΔC – diferença de concentrações de soluto nas soluções,

FS – fluxo do solvente, [m^3/h]; e

Fs – fluxo do soluto em [m^3/h].

Uma vez que a difusão do soluto acompanha a do solvente é necessário atender à perda daquele, por vezes considerável, no decorrer da concentração de soluções por esta técnica, a perda referida pode ser dada pela expressão:

$$s = 1(1 - S) - R \quad (5.5)$$

Sendo:

s – perda relativa do soluto, m^2/h ;

S – volume relativo de solvente removido (razão entre o volume removido e o volume inicial de solvente) adimensional;

R – rejeição da membrana m^2/h .

A perda de soluto é tanto maior quanto maior for à recuperação de solvente e quanto menor for à rejeição da membrana.

Outro problema associado a esta técnica resulta do acúmulo de moléculas de soluto rejeitadas junto à superfície da membrana, do aumento de concentração correspondente resulta uma elevação da pressão osmótica e, assim, uma redução do fluxo de solvente, bem como um aumento das perdas de soluto.

5.2.5. Membrana osmótica

Actualmente existem vários tipos de membranas osmóticas desenvolvidas, decorrentes do avanço tecnológico no tratamento e reaproveitamento da água de rejeito industrial, tais como: acetato de celulose, poliamidas aromáticas, poliamidas hidrazidas, (por serem fibras finas e ocas, possui uma estrutura mais fechada, possibilitando trabalhar com água do mar com salinidade de 45.000 ppm), poliamida de composição avançada e polisulfonas.

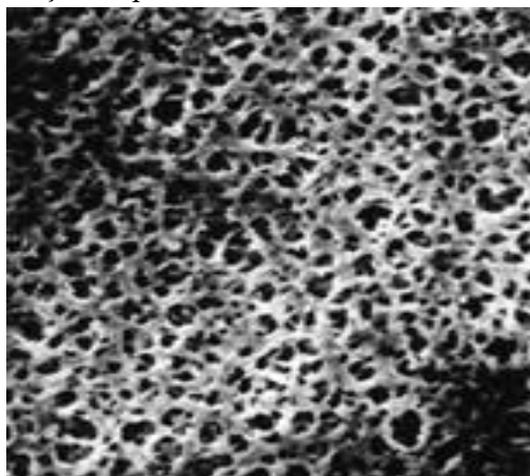


Foto 9: Membrana Osmótica.

Fonte: Tipos de Filtração, 2008

Os materiais da membrana influenciam na definição dos parâmetros operacionais do sistema de tratamento como um todo, em função de algumas restrições referentes à resistência destes materiais, sendo apresentadas as recomendações para utilização dos tipos de membranas disponíveis.

Relatório do Estágio Profissional

Tabela 13. Recomendações para uso das membranas de osmose reversa

Material da membrana	Limite de pH	Limite da temperatura	Otras limitações
Acetato de celulose	1,5 - 7,0	0 - 50°C	Pode ser degradado por processo biológico
Poliamida	4,0 - 11,0	0 - 46°C	Não tolera choro livre
Filme fino composto	1,0 - 13,0	0 - 79°C	Pode tolerar níveis moderados de cloro livre (100ppm)

Fonte: Idaho, 1999.

Com relação aos tipos de módulos de osmose reversa existem disponíveis no mercado quatro configurações básicas: a tubular, o do tipo placa, o módulo enrolado em espiral e a do tipo fibra oco (PAREKH,1988).

Os módulos tubulares e em placa foram os primeiros a serem utilizados no início do desenvolvimento da tecnologia da osmose reversa sendo que os sistemas que fazem uso destes tipos de módulos envolvem um alto investimento inicial e apresentam uma baixa densidade de empacotamento da membrana, quer dizer, a relação entre a área superficial da membrana por unidade de volume do sistema, sendo aplicados em sistemas que operam com águas ou soluções com alta concentração de material em suspensão, como por exemplo, em indústrias alimentícias.

Os módulos enrolados em espiral, mais utilizados actualmente, são constituídos por duas camadas de membranas que são coladas nos lados opostos de um tecido espaçador, conhecido como espaçador do canal de permeado. O envelope formado é enrolado ao redor de um tubo perfurado, colocado no interior do canal de permeado, colocando-se uma tela plástica externamente ao envelope, de forma a obter um canal para a corrente de alimentação.

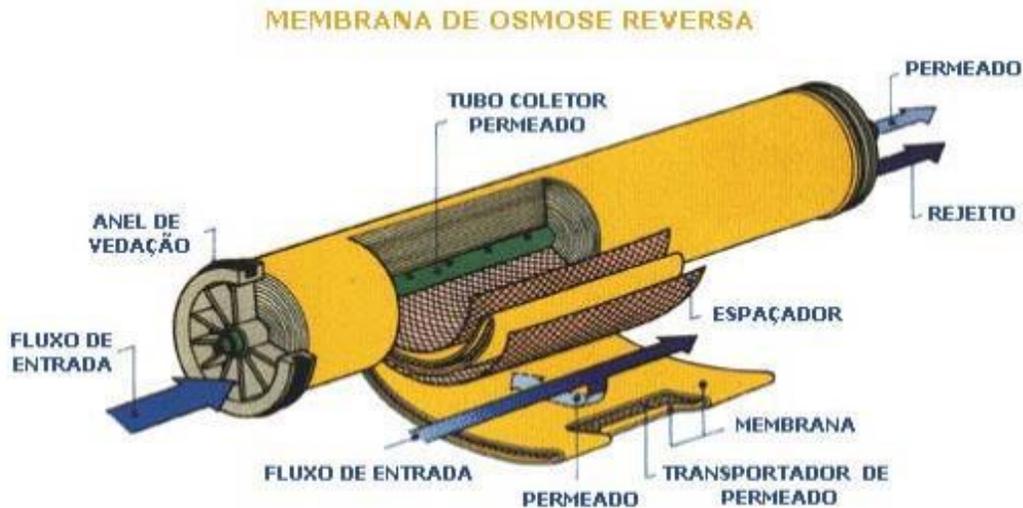


Figura 1: Membrana Osmótica Módulo em Espiral.

Fonte: Módulo em espiral 2008



Figura 2: Membrana Osmótica Modulo Fibra Oca.

Fonte: Modulo em fibra 2008

Tanto os módulos enrolados em espiral, como os de fibra oca, apresentam uma elevada densidade de empacotamento, tendo como desvantagem a possibilidade da ocorrência de entupimento, que dificilmente são revertidos pelos métodos convencionais de limpeza.

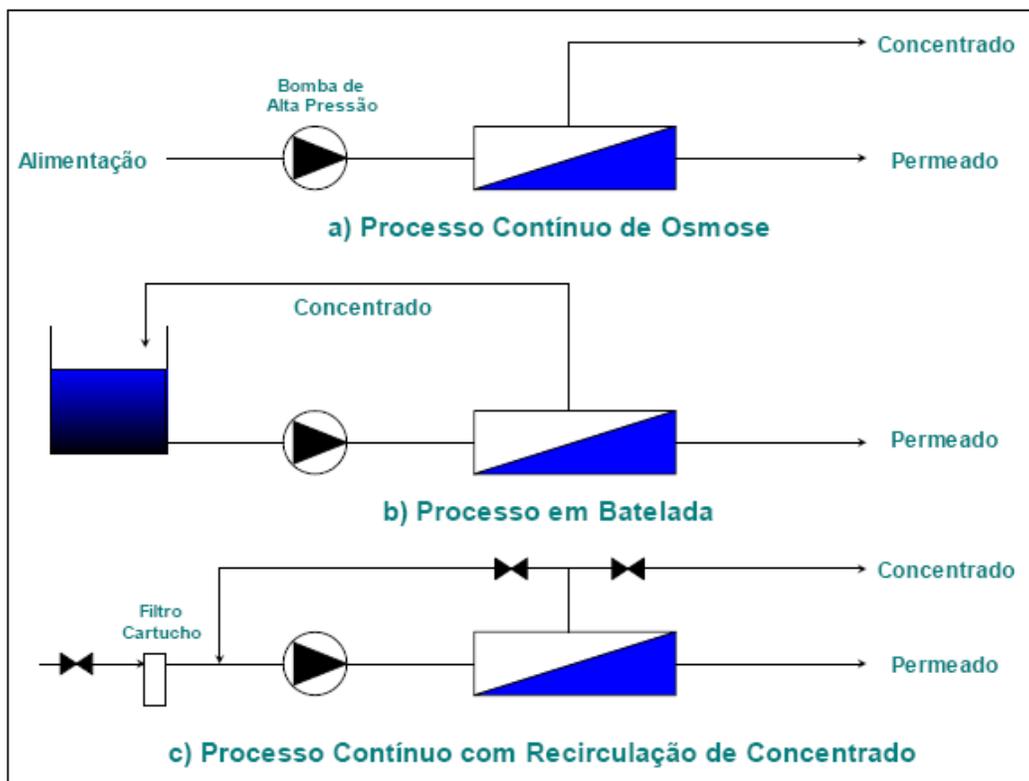


Figura 3: Representação esquemática dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa.

Fonte: Tipo de Filtração

5.2.6. Influência da pressão e da temperatura

No caso da pressão, o processo de osmose reversa é influenciado tanto na quantidade, como na qualidade da água produzida, ou seja, com o aumento da pressão na alimentação do sistema, ocorre um aumento o fluxo de água através da membrana e uma redução na concentração de sólidos totais dissolvidos no permeado, o que significa dizer que ocorre um aumento na taxa de rejeito de sais.

Com relação à temperatura da água de alimentação do sistema, também se observa uma variação na taxa de produção de permeada, bem como na taxa de rejeito de sais só que, neste caso, ao contrário do que ocorre com o aumento da pressão, a taxa de rejeito de sais do sistema de osmose reversa é reduzida, ocorre uma piora da qualidade do permeado.

5.2.7. influência da recuperação de água no sistema

A recuperação de água em um sistema de osmose reversa é definida pela relação entre o fluxo de permeada e o fluxo de água alimentado ao sistema.

Com o aumento da recuperação de água o fluxo de permeado através da membrana vai diminuindo e finalmente é interrompido, quando a concentração salina atinge um valor onde a pressão osmótica do concentrado é superior à pressão aplicada na corrente de alimentação. A taxa de rejeição de sais também é reduzida com o aumento da recuperação de água.

5.2.8. influência da concentração salina da alimentação

Considerando-se a variação da concentração salina da corrente de alimentação, no processo de osmose reversa, mantendo-se constante a pressão de alimentação, haverá uma redução no fluxo de permeada, bem como na taxa de rejeito de sais, com o aumento da concentração salina da alimentação.

apresenta uma comparação entre os processos de osmose reversa, considerando-se o processo contínuo de tratamento sem recirculação de concentrado e com recirculação de concentração.

Tabela 14. Comparação entre os processos de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado

	Processo sem recirculação	Processo com recirculação
Composição da alimentação	Deve ser constante	Pode variar
Recuperação de água do sistema	Deve ser constante	Pode variar
Circuito de limpeza	Mais complicado	Simple
Compensação da deposição	Mais fácil	Fácil
Varição da pressão na membrana	Diminui	Não há
Consumo de energia	Baixo	Alta
Número de bombas investimento/manutenção	Mais difícil	Fácil

Fonte: Dow Europe, 1994

5.2.9. Manutenções preventiva

Diário

Item	Actividade	Observações
1	Verificar a pressão de entrada e saída de água	Pressão fora do padrão pode indicar entupimento ou vazamento
2	Verificar temperatura de entrada e saída de água	Garante que o sistema esteja resfriando corretamente
3	Inspecionar nível do reservatório de água (caso aplicável)	Repor se necessário, sempre com água tratada
4	Verificar alarmes ou mensagens de erro no painel	Anotar códigos de falha para diagnóstico
5	Ouvir ruídos anormais do compressor ou bombas	Pode indicar falha mecânica iminente
6	Verificar corrente elétrica dos compressores e bombas	Valores anormais podem indicar sobrecarga
7	Verificar vazamentos visíveis (água ou gás refrigerante)	Atenção especial em conexões e juntas
8	Confirmar operação dos ventiladores	Deve girar livremente e sem vibrações

Semanal

Item	Actividade	Observações
1	Limpar filtros de água (se houver)	Evita obstrução e mantém fluxo adequado
2	Testar sensores de temperatura e pressão	Calibração e funcionamento correto
3	Verificar fixação de conexões elétricas e mecânicas	Evita falhas por vibração ou afrouxamento
4	Inspecionar painel elétrico e terminais	Sinais de aquecimento, sujeira ou corrosão
5	Verificar estado geral de isolamento térmico das tubulações	Corrigir se estiver danificado
6	Registrar parâmetros operacionais (técnico)	Para análise de tendência e possíveis anomalias

Mensais

Fan coil

- Limpar os filtros de ar;
- Limpar o sistema de drenagem e bandeja de condensado;
- Verificar as vibrações anormais;
- Verificar fixação e alinhamento de polias do ventilador;

Relatório do Estágio Profissional

- Verificar estado das correias e suas tensões;
- Verificar vazamento de água;
- Verificar fechos das tampas e parafusos dos painéis;
- Verificar funcionamento do sensor, controlador e atuador da válvula de água gelada;
- Verificar operação dos dispositivos de sinalização e alarme;
- Verificar fixações de terminais, cabos e conexões elétricas;
- Verificar parafusos de fixação dos componentes;
- Verificar operação dos dampers e splitters;
- Verificar acoplamentos e juntas flexíveis;
- Verificar estado das conexões flexíveis dos dutos;
- Limpar filtros de linha (água gelada);
- Verificar focos de oxidação e
- Verificar e limpar rotores/hélices dos ventiladores.

Resfriador de água

- Limpar externamente o equipamento e acessórios em geral;
- Verificar ruídos e vibrações anormais;
- Verificar vazamentos de refrigerante, água e óleo;
- Verificar carga de líquido refrigerante;
- Verificar fechos das tampas e parafusos dos painéis;
- Verificar a contaminação do sistema através do visor da linha de líquido e filtro secador;
- Verificar filtro de óleo;
- Verificar nível de óleo dos compressores;
- Verificar funcionamento de resistência de aquecimento do cárter/óleo;
- Verificar circuito elétrico de intertravamento;
- Verificar fixação de terminais, cabos e conexões elétricas;
- Verificar operação do programador de capacidade dos compressores;
- Verificar a regulagem dos controles de temperatura;
- Verificar parafusos de fixação dos componentes;
- Verificar vibração do capilar e fixação do bulbo da válvula de expansão;
- Verificar acoplamentos, juntas flexíveis, isolamento térmico e revestimentos protetores;

- Verificar focos de vazamento de gás refrigerante;
- Verificar focos de oxidação;
- Limpar casa de máquinas;

Bomba de água gelada

- Limpar externamente a bomba e motor;
- Verificar e limpar filtros de sucção;
- Verificar funcionamento dos purgadores de ar;
- Verificar gaxetas das bombas;
- Verificar nível de óleo das bombas;
- Verificar ruídos/vibrações anormais;
- Verificar e reapertar flanges, abraçadeiras, juntas flexíveis e mangotes;
- Verificar vazamentos de água nas gaxetas dos registros e válvulas;
- Limpar internamente o quadro de comando;
- Verificar fixação dos terminais, cabos e conexões elétricas;
- Verificar operação das chaves magnéticas;
- Verificar dispositivo de circuitos de comandos;
- Verificar focos de oxidação.

Torre de arrefecimento

- Limpar os filtros de sucção;
- Verificar e eliminar os vazamentos de água;
- Verificar e regular o funcionamento da bóia de reposição;
- Verificar o sistema de distribuição de água;
- Verificar e reapertar as braçadeiras e mangotes;
- Verificar e corrigir os ruídos e vibrações anormais;
- Verificar a fixação e alinhamento das polias dos ventiladores (se necessário);
- Inspeccionar as canaletas de distribuição de água e alimentadores de gotículas;
- Verificar e completar o nível de óleo no redutor de velocidade;
- Medir e registrar tensão (voltagem) e corrente (amperagem) solicitada pelo motor de ventiladores.

Quadro eléctrico

- Limpar componentes e painel em geral;
- Verificar parafusos, terminais, fusíveis e chaves contactoras;
- Verificar abertura e fechamento das chaves seccionadoras sem carga;
- Verificar sequência de partida de todas as chaves eléctricas;
- Verificar os sistemas de intertravamento eléctrico-eletrónico;
- Verificar aterramento;
- Verificar botoeiras, interruptores e sinalizadores;
- Verificar focos de oxidação.

Trimestrais

Fan Coil

- Lubrificar mancais;
- Verificar revestimentos protetores e isolamento térmico do gabinete, tubulações, válvulas e dutos.

Resfriador de água

- Lubrificar mancais dos motores e dos ventiladores;
- Verificar eletrodutos e conduítes;
- Verificar revestimento protetores e isolamento térmicos do gabinete, tubulações e dutos.

Bomba de água gelada

- Lubrificar mancais (rolamentos não blindados) dos motores e dos ventiladores;
- Verificar eletrodutos e conduítes;
- Verificar funcionamento das válvulas gaveta, globo e retenção (se houver);
- Verificar alinhamento e acoplamento do conjunto motobomba.

Torre de arrefecimento

- Reapertar os parafusos dos mancais e suportes;

Relatório do Estágio Profissional

- Medir e registrar as temperaturas de retorno (R) e saída (S) bem como o ar exterior (E);
- Lubrificar os mancais dos motores;
- Lubrificar os mancais dos ventiladores (quando não forem de lubrificação permanente);
- Verificação das taxas de corrosão dos sistemas de resfriamento.

Quadro Elétrico

- Verificar oxidação e desgaste dos contadores e articuladores;
- Verificar o estado dos parafusos de ajuste e bases de fusíveis.

Semestrais

Fan Coil

- Manobrar cada registro hidráulico do início ao fim do curso;
- Verificar e ajustar regulagem dos sensores de ambiente;
- Verificar funcionamento da resistência de aquecimento e umidificação;
- Verificar e ajustar atuação de válvula de 3 vias;
- Verificar nível de água e funcionamento da bóia de alimentação da caixa;
- Verificar e limpar serpentina;
- Verificar e ajustar dispositivos de medição, controle e segurança (como relé térmico, termostato, manômetro e termômetro);
- Verificar e limpar contatos das chaves magnéticas;
- Retocar pintura (se necessário).

Resfriador de água

- Verificar e ajustar todos os dispositivos de medição, controle segurança (como pressostatos, termostatos, manômetros, termômetros, chaves de fluxo);
- Manobrar cada registro hidráulica e válvula de serviços do início ao fim do curso;
- Fazer limpezas das serpentinas do condensador.

Bomba de água gelada

- Trocar óleo de bomba;
- Manobrar registros hidráulicos do princípio ao fim do curso;
- Verificar e ajustar todos os dispositivos de medição, controle e segurança (como termostato, pressostato, manômetro, termômetro, temporizador e chave de fluxo);
- Verificar e limpar contatos elétricos;
- Verificar e ajustar parafusos de fixação da base;
- Lubrificar registros hidráulicos;
- Inspecionar selo mecânico;
- Inspecionar válvula de retenção;
- Retocar pintura do conjunto moto-bomba, tubulações e acessórios (se necessário).

Torre de arrefecimento

- Troca de óleo dos redutores de velocidade;
- Medir resistência de isolamento dos motores;
- Limpeza química/mecânica das torres e tubulação de condensação;
- Eliminar focos de oxidação;
- Manobrar cada registro, do princípio ao fim do curso, voltando-o à posição original;
- Verificar e corrigir os termostatos de operação dos ventiladores;
- Testar e regular o relê térmico dos motores;
- Limpar as bacias de água das torres.

Quadro eléctrico

- Verificar terminais e contatos de força e auxiliar;
- Verificar e ajustar parafusos de fixação dos barramentos;
- Verificar eletrodutos e conduítes;
- Verificar e ajustar os instrumentos de controle e segurança;
- Verificar e ajustar a regulagem dos relés temporizados e de proteção;
- Verificar regulagens de proteção através de transformadores do circuito de controle;
- Retocar pintura (se necessário).

Tratamento químico mensal da água

1. Aplicação de produtos químicos antioxidantes, anti incrustantes e biocida na água do sistema de refrigeração.

Tabela 15. Padrões técnicos a serem mantidos com o tratamento

Item	limites padrões	Item	limites padrões
Alcalinidade total	30 a 300	Dureza Total ($CaCO_3$)	< 400 ppm
Condutividade (mS/cm)	< 2500	Ferro (Fe^{+2})	< 3 ppm
Cloretos (Cl ⁻)	< 400 ppm	Fosfato Total (PO ₄)	(3 a 8) ppm
pH Condensação	7,0 a 8,5	Nitrito Água Gelada	≥200 ppm
pH Água Gelada	7,0 a 10,0	Sólidos Dissolvidos (NaCl)	< 1700 ppm
Dureza Magnésio (mg $CaCO_3$)	< 140 ppm	Silica (ppm SiO ₂)	< 50 ppm
Dureza Cálcio (ppm $CaCO_3$)	(50 a 260) ppm	Turbidez (NTU)	< 50 ppm

Fonte: Swartz, 2008.

Tabela 16. Quantidade de produtos utilizado

Função	Sistema	Consumo diário	Consumo mensal
Inb. de Incrustação/Corrosão	Condensação	1,5 kg	45 kg
Biocida	Condensação	1,5 kg	445 kg
Inb. de Corrosão	Água Gelada	Em função das perdas	Em função das perdas

Fonte: Idaho, 1999.

Em aplicação prática, um sistema de osmose reserva é constituído, não apenas pelo subsistema de osmose reserva (bomba de alta pressão, vasos de pressão, membranas, válvulas e instrumentos), mas também pelo subsistema de apoio, sendo estes de pré- tratamento, de pós-tratamento e de limpeza química, os quais irão exercer grande influência no desempenho do sistema de purificação de água como um todo, bem como na qualidade final da água obtida.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÃO, RECOMENDAÇÕES, REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E ANEXOS

6.1. Conclusão

O estudo realizado sobre o melhoramento do sistema de resfriamento de água na Fábrica Nacional de Medicamentos evidenciou a importância de um sistema eficiente e confiável para garantir a qualidade dos processos produtivos, especialmente em sector que exige alto controle térmico, como o farmacêutico. As análises mostraram que o sistema actual apresenta limitações em termos de eficiência energética, estabilidade térmica e custos operacionais. Além disso, a integração de tecnologias modernas, com controles automatizados e sistema de monitorização em tempo real, contribui para a maximização da eficiência do resfriador, provendo uma operação mais precisa e com menor impacto ambiental. O resultado esperado não só irá atender as necessidades imediatas de resfriamento, mas também proporciona benefícios a longo prazo, como a redução de custos operacionais e alinhamentos as políticas de sustentabilidade.

6.2. Recomendações

Pelo estado actual do equipamento recomenda-se um tratamento mecânico e de seguida o tratamento da água que flui no sistema, sem deixar de lado a questão de manutenção preventiva que é muito essencial para a vida útil do equipamento.

Evitar o uso da água da FIPAG sem tratamento adequado, pois a variabilidade na qualidade pode prejudicar a eficiência do *water chiller* e aumentar os custos de produção de manutenção. Consultem especialistas em tratamento de água ou fornecedores de produtos químicos para um programa personalizado.

6.3. Referência bibliográfica

1. Cunha, V. L. S. (2010). *Melhoria continua do sistema de controle de qualidade*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal;
2. Rodrigues, W. (2007). Critérios para Uso Eficiente de Inversores da Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água;
3. Cengel, Yuns A.; Boles, Michael A. (sd). *Termodinâmica*. 5ª ed., Mc Graw-Hill, México;
4. Shapiro, Howard N. (2018). *Princípios da termodinâmica para Engenharia*. 8ª ed., 2018;
5. Apontamentos da disciplina de Refrigeração e Climatização, Faculdade de Engenharia-Universidade Eduardo Mondlane;
6. Mobley, R.K. (1943). *An introduction to predictive maintenance*. (2edição ed.) Estados Unidos da América: Butterworth-Heinman;
7. BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N.º 17, de 16 de abril de 2010, dispõem sobre as Boas Práticas de Fabricação. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 19 de abril de 2010.
8. Tipo de Filtração. Disponível em:
www.tratamentoaguaefluentes.com.br/filtrosfiltracao/Tratamento_Agua_filtracao.htm. Acesso em: 02 de maio de 2008.
10. IDAHO – NATIONAL ENGINEERING LABORATORY, Waste Treatment Technologies, EGG-WMO10244, Vol. 13, EG&G Idaho, Inc. Idaho Falls, Idaho, 1992. Membrana Osmótica
11. Modulo em Aspiral. Disponível em: www.meiofiltrante.com.br/.../imagens/capa05.jpg. Acesso em: 11 de dezembro 2008.
12. DOW EUROPE SEPARATION SYSTEMS. FILMTEC Membranes – Technical Manual, Germany, 1994

ANEXOS

Anexos 1- Foto da torre de Water Chiller



Foto A1-1: torre de Water Chiller

Fonte: Autor, 2025.

Anexos 2: Foto das Electrobombas.



Foto A2-2: Electrobombas.

Fonte: Autor, 2025.

Anexos 3: Foto do Painel de controlo 7.



Foto A3-3: Painel de controlo 7.

Fonte: Autor, 2025.

Anexos 3: Foto do Pannel de controlo 6.

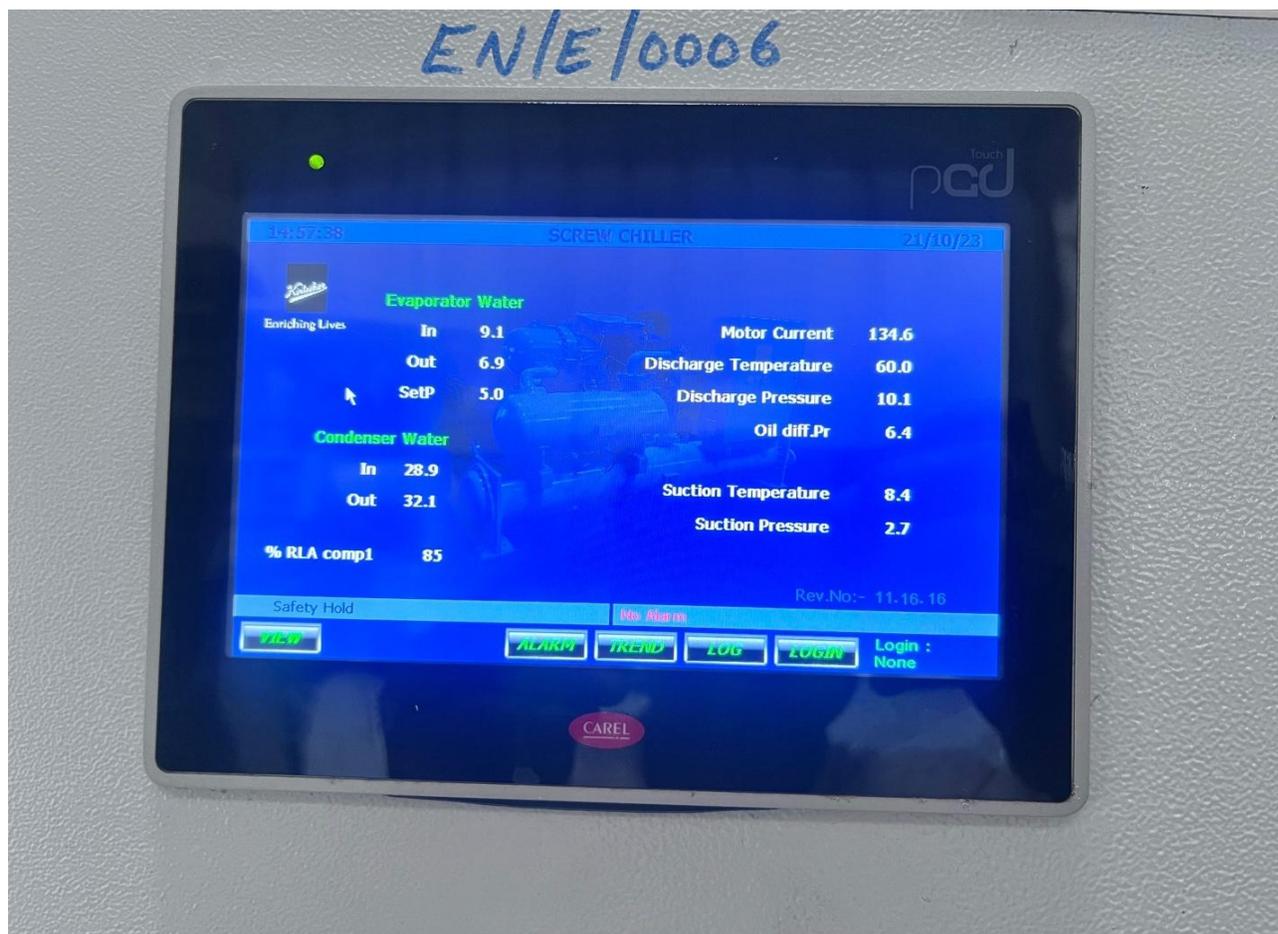


Foto A3-4: Pannel de controlo 6.
Fonte: Autor, 2025.

Anexos 4: Foto do filtro da torre.



Foto A4-5: Foto do filtro da torre.
Fonte: Autor, 2025.

Anexos 5: Foto do compressor e evaporador.



Foto A5-6: Compressor e evaporador.
Fonte: Autor, 2025.