



**UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO - FEAU
CURSO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA**

Conversão de câmara climática para uma câmara de refrigeração

Pedro Augusto Rodrigues Ribeiro de Castro

São José dos Campos

2025

Documentação apresentada à banca examinadora do curso de Engenharia Biomédica, como parte da exigência para conclusão da matéria de TG II.

Orientador: Patrícia Marcondes dos Santos, Profa. Dra.

Resumo:

O projeto visa modificar uma câmara climática em uma câmara de resfriamento com atuação dupla, capaz de operar nas faixas de 2 à 8 °C para resfriamento e 20 a 30 °C para incubação. Esta modificação atenderá à indústria farmacêutica humana e veterinária, realizando estudos de estabilidade exigidos pela ANVISA (RDC 318/19), que envolvem o armazenamento de medicamentos e princípios ativos durante um período estabelecido para gerar evidências sobre a validade dos produtos. Com esta modificação, é possível alcançar flexibilidade e economia, pois um equipamento poderá operar em duas faixas de temperatura, algo que não é oferecido por equipamentos disponíveis no mercado. O retrofit do equipamento fora de operação reduzirá o impacto ambiental e proporcionará economia ao laboratório, podendo substituir duas câmaras distintas.

Palavras-chave: Câmara climática, câmara de resfriamento, retrofit, estudo de estabilidade, câmara de ação dupla.

Abstract:

The project aims to modify a climate chamber into a dual-action cooling chamber, capable of operating in the ranges of 2 to 8 °C for cooling and 20 to 30 °C for incubation. This modification will serve the human and veterinary pharmaceutical industry by conducting stability studies required by ANVISA (RDC 318/19), which involve the storage of medications and active ingredients over an established period to generate evidence regarding the validity of the products. With this modification, flexibility and cost savings can be achieved, as one piece of equipment will be able to operate in two temperature ranges, something not offered by equipment available on the market. The retrofit of the equipment that is out of operation will reduce environmental impact and provide savings for the laboratory, potentially replacing two separate chambers.

Keywords: Climate chamber, cooling chamber, retrofit, stability study, dual-action chamber.

Lista de imagem

Figura 1: exemplo de aplicação do ciclo de Carnot-----	9
Figura 2: Componentes de um sistema de refrigeração-----	10
Figura 3: Componentes de um sistema de controle de refrigeração-----	12
Figura 4: PT-100-----	13
Figura 5: Tabela Zen-----	15
Figura 6: Datalogger TempU03-----	16
Figura 7: Câmara vista frontal (Estado da Câmara Climática antes da modificação)-----	17
Figura 8: Câmara vista do interior (Condição do interior da Câmara antes do início do projeto)-----	18
Figura 9: Vista do sistema de resfriamento (Tubulação de resfriamento original)-----	19
Figura 10: Vista traseira da câmara-----	20
Figura 11: Compressor e Evaporador-----	21
Figura 12: Condensador-----	22
Figura 13: Sistema de Refrigeração novo instalado-----	23
Figura 14: Tubulação da parte traseira-----	24
Figura 15 Gráfico de variação de temperatura-----	25
Figura 16: Tabela de temperatura-----	26

Sumário

1.Introdução.....	7
1.1 Máquinas térmicas:	8
1.2 Sistema de refrigeração	10
1.3 Controle de operação	11
1.4 Sensores de temperatura	12
1.5 Estudos de estabilidade	13
2. Materiais e Métodos:.....	15
3.Resultados e Discussões:	26
4.Conclusão	28
5.Citações e Referências.....	29

1. Introdução:

O presente trabalho apresentará um projeto de modificação de câmara climática em uma câmara de resfriamento. As vantagens técnicas e econômicas foram apresentadas para a diretoria técnica e quadro de sócios de um laboratório de análises químicas e microbiológicas os quais aprovaram o projeto.

O laboratório em questão presta serviços para a indústria farmacêutica, tanto humana quanto veterinária.

O desenvolvimento tem como objetivo a modificação de uma câmara climática em uma câmara de resfriamento, e o desenvolvimento da função dupla, a qual é inédita nesta classe de equipamento, podendo atuar na faixa de 2 a 8 °C com a variação de 2°C, e na faixa de 20 a 30 °C com a variação de 2°C. Assim desenvolvendo um equipamento inédito.

A indústria farmacêutica é reconhecida como um dos setores mais rigorosamente regulados, exigindo conformidade com normas técnicas e regulatórias estabelecidas por órgãos como a ANVISA. Para atender a essas exigências e gerar evidências de conformidade, é imprescindível a realização de testes que garantam a repetibilidade e a precisão dos resultados. Entre esses ensaios, os estudos de estabilidade ocupam uma posição importante, sendo exigidos pela ANVISA por meio da RDC nº 318/2019. Esses estudos são fundamentais para avaliar a durabilidade e a segurança de medicamentos ao longo do tempo, garantindo que suas propriedades químicas, físicas e terapêuticas sejam mantidas mesmo em condições ambientais adversas.

Os estudos de estabilidade exigem o uso de câmaras climáticas, que são equipamentos projetados para fornecer controle rigoroso de variáveis ambientais, como temperatura e umidade. Esses dispositivos permitem a replicação de microclimas específicos, assegurando que os medicamentos sejam avaliados em condições controladas e padronizadas.

Nos últimos anos, a crescente preocupação com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental tem incentivado o desenvolvimento de soluções inovadoras. E para a indústria farmacêutica e sua rede de fornecedores essa tendência é particularmente relevante, considerando os desafios impostos pelas mudanças climáticas e a necessidade de reduzir o impacto ambiental, e pela busca por aumentar as margens de lucro e redução de custos.

A reutilização de câmaras climáticas destaca-se como uma solução viável, contribuindo para a redução da geração de resíduos, a economia de recursos naturais e a diminuição dos custos operacionais. A conversão de câmaras climáticas em câmaras de resfriamento, por exemplo, é uma estratégia que não apenas otimiza o uso de equipamentos existentes, mas também promove eficiência energética e sustentabilidade, alinhando-se às demandas contemporâneas do setor.

A relevância destes equipamentos para a indústria farmacêutica é amplamente discutida na literatura técnica, que oferece uma visão abrangente sobre o papel desses equipamentos na garantia da qualidade dos produtos farmacêuticos. [1][2].

Com a demanda crescente por ensaios de estabilidade o laboratório detentor deste equipamento se deparou com a decisão de adquirir uma nova câmara de estabilidade e uma câmara de resfriamento, e descartar o equipamento o qual estava fora de uso a um longo tempo, com a proposta de nosso trabalho propomos a construção de uma máquina que atendam duas condições, de resfriamento com range de 2 a 8°C e incubadora com temperatura de 20 a 30°C, envolvendo critérios e conhecimentos específicos em aquecimento e resfriamento.

A metodologia a ser adotada para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizado uma câmara climática desativada do laboratório, foram feitas modificações que serão especificadas neste trabalho.

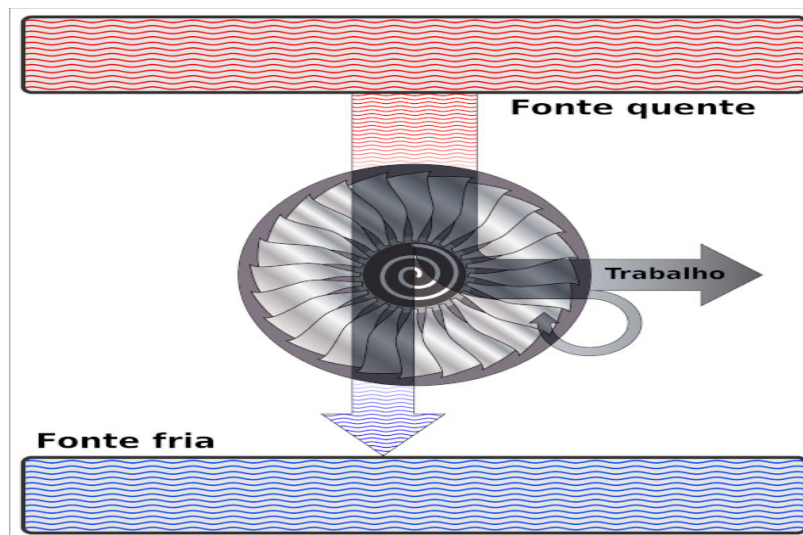
1.1. Máquinas térmicas:

Máquinas térmicas são dispositivos que convertem energia térmica em trabalho mecânico, operando entre duas ou mais fontes de calor. Esses dispositivos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da termodinâmica e na evolução tecnológica da humanidade. Historicamente, as máquinas térmicas foram um marco durante a Revolução Industrial, com destaque para a invenção do motor a vapor por James Watt no século XVIII. Essa invenção revolucionou o transporte e a indústria, permitindo a mecanização de processos produtivos e impulsionando o crescimento econômico e tecnológico.

A base teórica das máquinas térmicas está diretamente relacionada aos princípios da termodinâmica. O ciclo de Carnot, apresentado por Sadi Carnot em 1824, é considerado o modelo ideal de eficiência de uma máquina térmica. Esse ciclo descreve o funcionamento de uma máquina térmica ideal operando entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria, e estabelece um limite teórico para a eficiência de qualquer máquina térmica real. Embora nenhuma máquina térmica real possa atingir a eficiência do ciclo de Carnot devido às

irreversibilidades presentes nos processos reais, esse conceito serve como referência para entender os limites de conversão de energia térmica em trabalho como a figura 1 exemplifica.[3].

1. Figura 1: exemplo de aplicação do ciclo de Carnot



Fonte: Diagrama de máquinas térmicas <https://www.preparaenem.com/fisica/maquinas-termicas.htm>

Uma máquina térmica pode ser categorizada como sistema aberto ou sistema fechado. Nos sistemas abertos, a máquina sofre influência do meio, resultando na perda de calor para o ambiente. Essa influência do meio nem sempre é negativa; no caso de motores a combustão, o sistema de arrefecimento utiliza esse fluxo de calor como parte do projeto, evitando superaquecimentos.

Em sistemas fechados, a vizinhança não interage com o ambiente interno, e a energia no meio interno não se dissipa para a vizinhança. Uma câmara climática se enquadra no segundo tipo; ou seja, a energia da fonte quente realiza o trabalho e retorna para a fonte fria sem a interferência externa. Isso torna possível controlar as condições de temperatura e umidade do meio interno.

No caso de sistemas de refrigeração, como ar-condicionado, geladeiras e câmaras frias, são máquinas térmicas onde o fluxo de calor é invertido, pois são equipamentos que retiram o calor e não o injetam na vizinhança para elevar a temperatura. Um equipamento de refrigeração realiza um trabalho maior para retirar o calor, pois seu sistema baseia-se na compressão de um gás. [4].

1.2. Sistema de refrigeração:

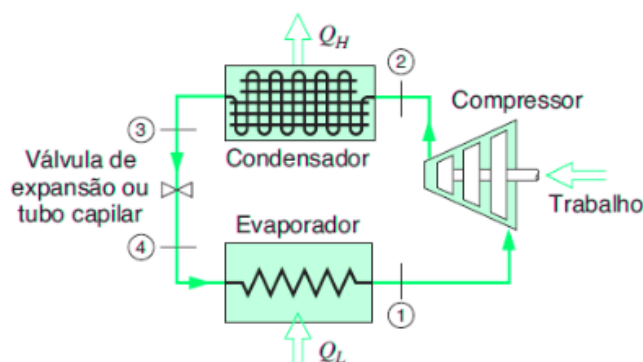
Ao comprimir o gás em um compressor, a temperatura interna do sistema aumenta. Como demonstrado na lei geral dos gases ($P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2$) sendo P a pressão, V o volume e T a temperatura.

A temperatura e o volume são inversamente proporcionais; quanto menor o volume de um gás, maior sua temperatura. Por esse motivo, os sistemas de refrigeração contam com trocadores de calor, comprimindo e resfriando o gás. Com a redução da energia, o gás muda de estado, tornando-se líquido. Ao ser direcionado ao evaporador, devido à diferença de pressão, o gás se expande, retirando o calor do ar no ambiente. No caso de uma câmara climática, onde o volume de ar é limitado por ser um sistema fechado, o potencial de resfriamento é maior.

Por mais que um sistema fechado seja isolado do meio externo, ele não atingirá 100% de eficiência devido à entropia. A segunda lei da termodinâmica propõe o conceito do grau de desorganização das moléculas, o que indica que nenhum sistema é perfeito; sempre haverá perdas em um sistema termodinâmico.

Sabendo que a refrigeração possui um limite, os materiais de construção das câmaras evoluíram para minimizar a perda de calor, a figura 2 exemplifica os componentes de um sistema de refrigeração. [5].

2. Figura 2: Componentes de um sistema de refrigeração



Fonte: Diagrama de ciclo de refrigeração <https://tbarros.com/refrigeracao-industrial/>

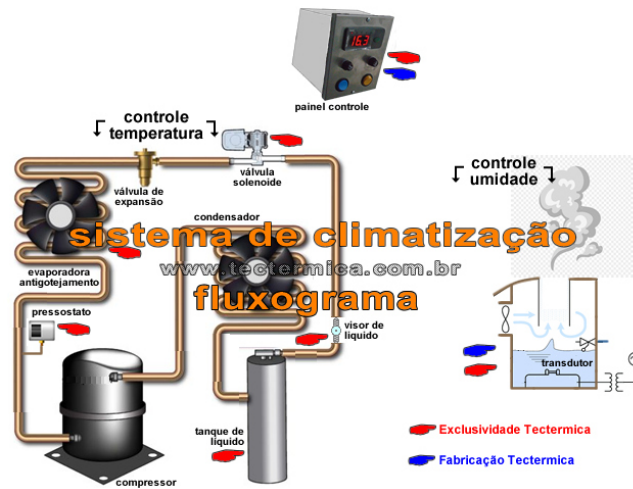
1.3. Controle de operação:

Para o controle de parâmetros de temperatura e umidade, é necessário um conjunto integrado de sensores, atuadores e controladores. Um controlador, frequentemente categorizado como um controlador ou controlador lógico programável (CLP), possui entradas analógicas e digitais, além de saídas que também podem ser analógicas ou digitais. Esses controladores são programados para operar em torno de um valor alvo, conhecido como set point. O controlador compara os valores obtidos pelos sensores com o set point estabelecido e, caso haja variação nos dados dos sensores, seja acima ou abaixo do set point, ele acionará os atuadores para ajustar a variável de processo aos parâmetros desejados. Para maior efetividade no controle de temperatura o método de controle utilizado é o chamado de proporcional derivativo integrativo (PID).

Em 1942, John G. Ziegler e Nathaniel B. Nichols desenvolveram dois métodos de sintonia para controladores PID, focando na aplicação em sistemas de controle. Esses métodos baseiam-se na análise das características dos processos, tanto em sistemas de malha aberta quanto em malha fechada. Por meio de expressões matemáticas simples, foram definidos os parâmetros K_p (constante crítica), T_i (tempo de integração) e T_d (tempo de derivação), essenciais para a sintonia dos controladores PID. A abordagem proposta por Ziegler e Nichols utiliza dados empíricos de sistemas dinâmicos, permitindo que a sintonia seja realizada sem a necessidade de um conhecimento detalhado do modelo matemático do sistema. Basta que o engenheiro de controle realize alguns testes na planta e aplique as regras de ajuste.

O primeiro método de Ziegler-Nichols envolve a obtenção experimental da resposta do sistema através da aplicação de um sinal de degrau unitário na entrada, caracterizando-se por uma curva em forma de "S" em sistemas de malha aberta. Este método é adequado quando não há integradores ou polos complexos conjugados dominantes na planta. O segundo método é aplicado em sistemas instáveis ou oscilantes em malha fechada, onde o ganho proporcional do controlador é ajustado até que o sistema entre em oscilação permanente. Nesta condição, o valor do ganho é chamado de ganho crítico (K_{cr}) e o período de oscilação é denominado período crítico (P_{cr}). Este método oferece uma sintonia mais robusta, resultando em menores perturbações, sobressinais e tempos de acomodação, como demonstrado na tabela de ajustes dos parâmetros para controladores P, PI e PID. A figura 3 exemplifica os componentes de um sistema de controle de refrigeração. [6] [7] [8].

3. Figura 3: Componentes de um sistema de controle de refrigeração



Fonte: Diagrama de refrigeração <https://www.tectermica.com.br/blog/adega-sistema-climatizacao-componentes-funcao/>

1.4. Sensores de temperatura:

Os sensores são dispositivos eletroeletrônicos que convertem condições físicas em sinais elétricos, permitindo que o controlador faça a comparação com o set point. Um dos sensores de temperatura mais utilizados é o PT-100, que funciona com uma resistência de platina conectada a quatro fios.

A resistência do material varia com a dilatação térmica, o que altera a área. A resistência é calculada pela equação $R = \rho * (L / A)$, onde ρ é a resistividade do material, L é o comprimento do material e A é a área.

O PT-100 possui uma resistência de 100 Ω a zero graus Celsius. Com a alteração da temperatura, a resistência também se altera, modificando o sinal elétrico enviado ao controlador. Essa característica permite que o PT-100 forneça medições precisas de temperatura, essenciais para o controle de temperatura, na figura 4 pode-se observar a imagem de um PT-100.[9].

4. Figura 4: PT-100



Fonte: Sensor PT-100 https://www.leopar.com.br/sensores/pt-100/sensor-pt-100-3-fios-6mm-x-100mm-cabo-2000mm-c-rosca-12-bsp?srsItd=AfmBOopK_qukWYaEr5Zy-UBB2qiJNgc6dsH8bglpZVR1lngM4aCljmgH

1.5. Estudos de estabilidade:

Um estudo de estabilidade, de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 318/2019 da Anvisa, é um conjunto de investigações realizadas para determinar como a qualidade de um produto farmacêutico se altera ao longo do tempo sob a influência de diferentes condições ambientais, como temperatura, umidade e luz. O objetivo principal desse estudo é garantir que o medicamento mantenha sua segurança, eficácia e qualidade durante o período de validade estabelecido.

O estudo deve ser conduzido com base em protocolos bem definidos, que incluam condições de armazenamento, métodos de análise e intervalos de tempo para as avaliações. Os dados gerados precisam ser documentados e analisados para estabelecer a vida útil do produto e as condições de armazenamento recomendadas. Além disso, os resultados do estudo devem ser compilados em um relatório que inclua todas as informações relevantes, como metodologia, resultados, conclusões e recomendações.

Os estudos de estabilidade são fundamentais para a aprovação de novos produtos e para a manutenção da qualidade dos medicamentos já comercializados, sendo um requisito regulatório essencial. Em resumo, o estudo de estabilidade é uma etapa crucial no desenvolvimento e na comercialização de produtos farmacêuticos, assegurando que eles permaneçam seguros e eficazes durante o tempo de validade.[10].

2. Materiais e Métodos:

Neste projeto a câmara climática modelo MOD.420 CLD da marca Nova Ética, que possui volume interno de 0,42 m³, como base para esta modificação, juntamente com os materiais de utilizados para a modificação, os quais foram: Tubos de cobre com 1/4 de polegadas de diâmetro, capilar de 0,064 milímetros de diâmetro, filtro secador, conexões para refrigeração, evaporador e o gás de refrigeração R 134 a, e o valor gasto com os materiais foi de R\$1.500,00.

O passo inicial foi desmontar os revestimentos internos, superior e traseiros do equipamento, expondo assim a estrutura original de aquecimento e umidificação do sistema.

Logo após o gerador de vapor foi retirado, juntamente com a serpentina de aquecimento, resistências do gerador de vapor, sensor de umidade, controlador de umidade, os ventiladores foram testados e mantidos para o decorrer do projeto, mais ventiladores foram instalados para melhorar a circulação do ar frio.

O compressor da marca Embarco modelo EMLe 65HER de 1/4 + de cavalo a vapor foi testado, e verificou que mesmo poderia ser reaproveitado para este projeto. Nas imagens figura 6, figura 7, figura 8, figura 9 e figura 10, pode-se visualizar o estado original da câmara antes da modificação.

Após o estágio de desmontagem, iniciou-se a instalação do sistema de refrigeração, o evaporador da marca Consul de freezer de 440 litro de alumínio aletado foi instalado, juntamente com a tubulação, capilar e secador de gás, em seguida com o auxílio de uma bomba de vácuo o ar do sistema foi retirado, e o gás R134a foi inserido no sistema. Concluindo assim a fase de adaptação mecânica, e nas figuras 11, figura 12 e figura 13 é possível visualizar o resultado da instalação.

Ao final da instalação mecânica a modificação e programação do sistema de controle foi iniciada, o controlador Novus 1100 o qual já se encontrava instalado no equipamento foi mantido para controle dos bancos de resistências internas, as quais foram mantidas, e o controlador TC-960 da marca Full Gauge foi instalado para controlar o degelo do evaporador e o compressor.

Ao todo três PT-100 foram instalados, um sensor ligado ao controlador de aquecimento, e dois ao controlador de degelo.

Os controladores foram programados seguindo a metodologia da sintonia de sintonia Ziegler Nichols para PID. O sistema de aquecimento foi programado para atuar com PID em paralelo, por este motivo somente um sensor era necessário no interior do equipamento, por sua vez o sistema de degelo teve a sua programação em série, por este motivo a presença de dois sensores de temperatura fez-se necessária. Um sensor foi posicionado junto do evaporador e o segundo no interior da câmara.

O sistema em serie foi escolhido para o degelo pois com este método o tempo de volume morto é reduzido, aumentando assim a eficiência do resfriamento. Já o método em paralelo foi empregado para o aquecimento por possuir uma maior robustez na estabilidade. A determinação dos ganhos críticos e tempos críticos seguiram a metodologia Ziegler Nichols, a qual pode-se observar na tabela Zen na figura 5.[11].

5. Figura 5: Tabela Zen

Controlador	Kp	Ti	Td
P	0,5 Kcr	-	-
PI	0,45 Kcr	0,83 Pcr	-
PID	0,6 Kcr	0,5 Pcr	0,125 Pcr

Fonte: https://apcmode.com/?page_id=346

Para o sistema em serie os cálculos utilizados foram:

$G_p(s) = K_p / Ts + 1$ sendo GP em segundos a constante de proporcionalidade, KP sendo constante se processo e Ts tempo em segundos obtido de forma empírica.

$$G_p(s) = 5 * 0,45 / 5400$$

$$G_p(s) = 4,1 * 10^{-4} \text{ segundos}$$

Controle PI:

$G_p(s) = K_{cr} * (1 + 1/Ti(s))$ – Sendo Kcr constante critica, e Ti é o tempo de integração em segundos.

$$Ti = 2 * K_{cr} / G_p(s)$$

$$Ti = 2,44 * 10^4 \text{ segundos}$$

E o tempo de derivada é 1/4 do tempo de integração.

$$T_d = T_i/4$$

$$T_d = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ segundos.}$$

Em posse dos dados obtidos de forma empírica em condição real de trabalho, e dos resultados obtidos através dos cálculos pode-se ajustar os seguintes parâmetros do controlador TC- 960: Bp (banda de proporcionalidade), Ti (tempo de integração) e Td(tempo de derivação).

Após a configuração do controlador de degelo, o sistema foi posto em operação por 24 horas para verificar a estabilidade e desempenho. A medição foi realizada com o auxílio de um datalogger do modelo ESC Temp U03 da marca Escala.

6. Figura 6 Datalogger Temp U03



Fonte: <https://www.wb2instrumentacao.com.br/p-12127214-Datalogger-de-Temperatura-e-Umidade-ESCTEMPU03-WB2?srsItd=AfmBOorbj5GBMhQtuONzYfzzJUIR5GE7WnDpKITbcQPLKkkHQJHdax2H>

Neste logger é possível programar a data e hora do início da aquisição de dados e posteriormente realizar o download dos resultados, os dados são apresentados em forma de tabela de excell, e através destes dados foi possível a criação de gráficos do desempenho

7. Figura 7: Câmara vista frontal
(Estado da Câmara Climática antes da modificação)



Fonte: Autor

8. Figura 8: Câmara vista do interior
(Condição do interior da Câmara antes do início do projeto)



Fonte: Autor

9. Figura 9: Vista do sistema de resfriamento
(Tubulação de resfriamento original)



Fonte: Autor

10. Figura 10: Vista traseira da câmara



Fonte: Autor

11. Figura 11: Compressor e Evaporador



Fonte: Autor

12. Figura 12: Condensador



Fonte: Autor

13. Figura 13: Sistema de Refrigeração novo instalado



Fonte: Autor

14. Figura 14: Tubulação da parte traseira

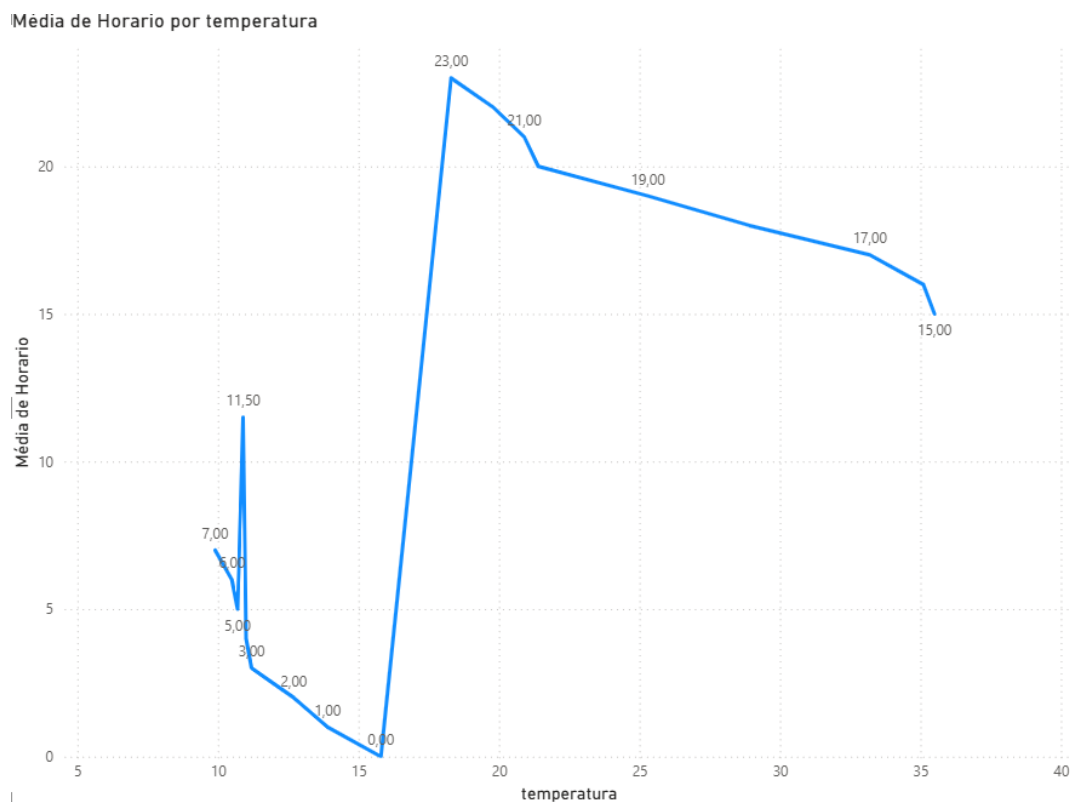


Fonte: Autor

3. Resultados e Discussão:

Após o período de aquisição dos dados, o logger foi retirado do interior do equipamento e seus dados foram descarregados para um computador através da porta USB. Ao analisar os dados presentes na tabela de Excel constatou-se que o sistema se estabilizou em 10,9 °C, e um gráfico foi gerado a partir dos dados, o qual é representado pela figura 14, e a tabela com o horário em horas e a em temperatura em graus celsius é representada pela figura 15.

15. Figura 15 Gráfico de variação de temperatura



Fonte: O autor

16. Figura 16: Tabela de temperatura

Horario	temperatura
23	18,30
22	19,80
21	20,90
20	21,40
19	25,30
18	28,90
17	33,20
16	35,10
15	10,90
15	35,50
14	10,90
13	10,90
12	10,90
11	10,90
10	10,90
9	10,90
8	10,90
7	9,90
6	10,50
5	10,70
4	11,00
3	11,20
2	12,70
1	13,90
0	15,80

Fonte: O autor

Conforme observamos nos resultados, o equipamento não atingiu o objetivo da função de resfriamento, conforme resultados de cálculo de banda proporcional, isso se deu devido a ação direta da temperatura ambiente, demonstrando assim a falha de isolamento térmico, que será implementada com uso da espuma de poliuretano termo expansiva em todas as faces da câmara; entretanto para função de incubadora funciona perfeitamente, já testado sendo assim podemos definir que o projeto atende parcialmente neste momento parte da proposta, contudo os trabalhos não se encerram neste trabalho, pois faremos as modificações necessárias pois a demanda de trabalho para o equipamento existe, ainda ressaltando que no mercado não há equipamento que atue nas duas frentes de trabalho, o que nos motiva a conclusão para qualificar e buscar uma possível patente do projeto

4. Conclusão:

A conversão se mostrou possível, uma vez de o sistema instalado foi capaz de reduzir a temperatura interna do equipamento de 33 °C para 10,9 °C. Esse resultado foi positivo, apesar de não se alcançar o objetivo de $5^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$, outro indicador que demonstra a necessidades de melhorias neste sistema é a banda proporcional, cujo resultado obtido na ordem de milissegundos demonstrar a dificuldade do sistema em atingir o set point, isto indica a interferência da temperatura ambiente.

Por falta de um isolamento térmico adequado a o interior da câmara estava trocando calor com o meio externo, fazendo-a ganhar calor e estabilizar a temperatura longe do desejado.

Por este motivo a segunda fase do projeto o qual visava trabalhar com nas temperaturas de incubação na faixa das 20 a 30 °C $\pm 2^{\circ} \text{C}$ foi adiada, até a instalação de um isolante térmico adequado, para que com isso evite o ganho de calor, e que o sistema possa alcançar a meta de resfriamento.

O projeto para a solução deste contratempo é a aplicação de espuma de poliuretano termo expansiva no exterior da câmara.

5. Citações e Referências:

1. [1] PAIVA, Renato Inhasz; ROCHA, José Roberto Caetano da; CAVICCHIOLI, Andrea; LOPES, Fernando Silva; FARIA, Dalva Lúcia Araújo de. Câmaras climáticas para o envelhecimento acelerado: ação de microambientes sobre bens culturais. Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, São Paulo, [s.d.].
2. [2] BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 318, de 6 de novembro de 2019. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2025
3. [3] CAVAGNOLI, Rafael. Breve História da Termodinâmica (I): Máquinas Térmicas e a Revolução Industrial. Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Física, Pelotas, RS, Brasil, [s.d.].
4. [4] OLIVEIRA, P.M.C. de; DECHOUM, K. Facilitando a compreensão da segunda lei da termodinâmica. Towards better understanding of the second law of thermodynamics. Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, [s.d.].
5. [5] HEIDINGER, Gustavo Galdi. Estudos experimentais de análise do desempenho termodinâmico e eficiência energética de equipamentos de refrigeração em climas tropicais. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – [Nome da Instituição], [Local da Instituição], 2021.
6. [6] DINIZ, Hélio Augusto Goulart; LUZ, Arthur Pacheco; OLÍMPIO, Bárbara Jordana Gonçalves; VICTOR, Erick Furtado; MACHADO, Luiz. Análise termodinâmica e térmica de um compressor frigorífico de uma máquina de refrigeração e aquecimento ar-ar. 2025. Disponível em: <link>. Acesso em: 10 nov. 2022.
7. [7] EVANGELISTA, Fábio Lombardo. Uma sequência didática de física: leis da termodinâmica, máquinas térmicas e máquinas frigoríficas. Instituto Federal Catarinense, [s.d.].
8. [8] GAPSKI, Natasha Hansen; GARLET, Liége; LOESER, Brenda da Costa; BAVARESCO, Mateus Vinícius; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise do tempo de estabilização do ambiente térmico de uma câmara climática em Florianópolis/SC por meio de simulação computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, [s.d.].
9. [9] FERNANDES, Marco Alexandre dos Santos; GASPAR, Adélio Manuel Rodrigues. ESTUDO DE MODELOS DE CONTROLO DE UMA CÂMARA CLIMÁTICA. 2020. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020
10. [10] ORIQUI, Luciana R.; MORI, Milton; WONGTSCHOWSKI, Pedro. Guia para a determinação da estabilidade de produtos químicos. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, São Paulo, [s.d.].
11. [11] OLIVEIRA, João Paulo Apoliano; ALMEIDA, Rivanildo Duarte; MONTEIRO, Carlos Alberto; BEZERRA, Herik Cabral; SILVA, José Arcanjo Angelim da; SILVA, Neicimar Rodrigues da. Control Plant Generic PID Controllers Using the Second Tuning Method Ziegler [s.d.].

