



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LAURA ALICE RIBEIRO DA SILVA VIEIRA

**CONSTRUÇÃO DE CÂMARA SIMPLIFICADA DE CONDENSAÇÃO  
ATMOSFÉRICA EM SUPERFÍCIES**

Cruz das Almas

2021

LAURA ALICE RIBEIRO DA SILVA VIEIRA

## **CONSTRUÇÃO DE CÂMARA SIMPLIFICADA DE CONDENSAÇÃO ATMOSFÉRICA EM SUPERFÍCIES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Vânio Vicente Santos de Souza

Cruz das Almas

2021

LAURA ALICE RIBEIRO DA SILVA VIEIRA

## **CONSTRUÇÃO DE CÂMARA SIMPLIFICADA DE CONDENSAÇÃO ATMOSFÉRICA EM SUPERFÍCIES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Mecânica Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 19 de maio de 2021

### **BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Me. Vânio Vicente Santos de Souza (Orientador)

---

Prof. Mcs. Adelson Ribeiro de Almeida Júnior (Examinador 01)



---

Prof. Me. Luccas Barbosa Carneiro (Examinador 02)

*Dedico esse trabalho aos meus pais e minha irmã, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus;

A todos da minha família e amigos, por todo apoio nessa caminhada, em especial meus pais, Tereza Cristina e Ronildo e minha irmã, Amanda;

Ao meu orientador, Prof. Me Vânio Vicente Santos de Souza, pela orientação, dedicação, apoio, ensinamentos, pela troca de ideias e incentivo.

Aos professores da Engenharia Mecânica, que também me auxiliaram durante todo esse tempo.

Aos professores, em geral, que também me auxiliaram durante todo esse tempo.

Ao Prof. MSc. Adelson Ribeiro de Almeida Júnior pela orientação, dedicação e ensinamentos do Trabalho de conclusão de curso do BCET.

*“O que sabemos é uma gota,  
o que ignoramos é um oceano.”  
Isaac Newton.*

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a construção de uma câmara simplificada de condensação internamente saturada com água a pressão atmosférica para estudo da condensação em corpos de prova planos e bio-inspirado. O dispositivo pode contribuir para o desenvolvimento de superfícies captadoras de água da atmosfera com baixo custo, contribuindo para conservação energética no meio ambiente e na sociedade. Para acompanhamento da temperatura e umidade interna da câmara foi instalado o sensor DHT22 com saída de dados para o ARDUINO UNO R3, com posterior aquisição de dados por SD, servindo de datalogger. A temperatura interna foi variada até a temperatura de ponto de orvalho com energia passiva de gelo em derretimento com objetivo de criar procedimento de operação da câmara para experimentos futuros. Os corpos de provas escolhidos para este trabalho foram de superfície plana de zinco, vidro, plástico polipropileno (PP) e um corpo de prova com formato inspirado na biomimética do besouro da Namíbia (*Stenocara gracilipes*) com material plástico polipropileno (PP), os dois últimos foram modelados em uma impressora 3D. Dos corpos de prova em estudo pode-se observar que chapa de vidro foi a única que apresentou condensação em sua superfície, mostrando ter comportamento próximo suficiente na captura do condensante disperso no volume de 8 litros da câmara em temperaturas entre 18°C e 20°C, durante os 180 minutos e 360 minutos do início do experimento.

**Palavras-chave:** Biomimética.Câmara atmosférica.Condensação.

## **Abstract**

The present work aims to build a simplified condensation chamber internally saturated with water at atmospheric pressure to study condensation on flat and bio-inspired specimens. The device can contribute to the development of low cost atmospheric water trapping surfaces, contributing to energy conservation in the environment and in society. To monitor the internal temperature and humidity of the chamber, a DHT22 sensor was installed with data output to the ARDUINO UNO R3, with subsequent data acquisition by SD, serving as a datalogger. The internal temperature was varied up to the dew point temperature with passive energy from melting ice with the objective of creating a chamber operation procedure for future experiments. The specimens chosen for this work were a flat surface of zinc, glass, polypropylene plastic (PP) and a specimen with a shape inspired in the biomimetics of the Namibian beetle (*Stenocara gracilipes*) with polypropylene plastic (PP), the last two were modeled in a 3D printer. Of the specimens under study, it can be observed that the glass plate was the only one that presented condensation on its surface, showing close enough behavior in capturing the condensant dispersed in the volume of 8 liters of the chamber at temperatures between 18°C and 20°C, during 180 minutes and 360 minutes from the beginning of the experiment.

**Keywords:** Biomimetics.atmospheric chamber.Condensation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lagarto de chifres, que inspirou a criação do biocultivador.-----	21
Figura 2: Planta Lótus.-----	21
Figura 3: Superfície do besouro da Namíbia. -----	22
Figura 4: Produto inspirado no besouro.-----	23
Figura 5: Representação gráfica de déficit de vapor ou déficit de saturação. -----	25
Figura 6: Ponto de orvalho para várias temperaturas e orvalho.-----	26
Figura 7:Tensões superficiais (a). Gota de orvalho em uma planta com ângulo de contato próximo à 180°(b). -----	27
Figura 8:Modos de condensação. -----	28
Figura 9:Inclinação do besouro da namíbia.-----	30
Figura 10:Esquemática do interior da câmara que contém parte exterior vedada com isopor .-----	31
Figura 11: Sensor DHT22 e esquema de montagem do sensor no arduino. -----	32
Figura 12: Corpo de prova de zinco (a) e de vidro (b). -----	33
Figura 13: Corpo de prova plano (a) e bio-inspirado (b).-----	34
Figura 14: Câmara atmosférica e instrumentação montada.-----	34
Figura 15 : Fluxograma da metodologia. -----	35
Figura 16: Esquemática do procedimento da câmara que está vedada com isopor. -----	36
Figura 17: Experimentos (1) e (2).-----	37
Figura 18: Esquemática do procedimento (a) e experimento 3 (b). -----	38
Figura 19: Experimentos (5) e (6).-----	40
Figura 20: Esquemática do procedimento da câmara que está vedada com isopor água fervendo (a) adicionado água e gelo (b).-----	40
Figura 21: Experimentos (7).-----	41
Figura 22 : Experimentos (7) e (8).-----	42
Figura 23: Dados do experimento 2.-----	43
Figura 24: Experimento realizado com duas chapas de vidro. -----	44
Figura 25: Resultados experimentais de 4 á 8. PP(polipropileno); C(apresentou condensação); NC( não apresentou condensação). -----	45
Figura 26: Linha de Tendência das Temperaturas.-----	45

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Similaridade entre as partes que constituem o corpo e as que envolvem a engenharia no conceito da biomimética.....	19
TABELA 2: Itens apresentados no croqui da câmera.....	31
TABELA 3: Itens apresentados no sistema sensor no arduino.....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

Atm	Atmosférica
C	Celsius
ea	Pressão de vapor do ar
es	Pressão de vapor saturado
exp	Exponencial natural
KPa	Quilopascal
ln	Logaritmo Neperiano
Pa	Pascal
T	Temperatura
<i>T<sub>po</sub></i>	Temperatura do ponto de orvalho
UR	Umidade Relativa
$\Delta e$	Déficit de vapor
°	Grau
%	Porcentagem
PP	Polipropileno
$\theta$	Teta

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. PROBLEMA DA PESQUISA.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA.....	15
1.3. OBJETIVO GERAL.....	16
1.4. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
1.5. ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1. DISPONIBILIDADE DE ÁGUA POTÁVEL.....	17
2.2. BIOMIMÉTICA E ENGENHARIA.....	18
2.1.1. <b>Sistemas biomiméticos de captação de água</b> .....	20
2.2. BESOIRO DA NAMÍBIA.....	22
2.3. PSICROMETRIA.....	24
2.3.1. <b>Temperatura do Bulbo Seco</b> .....	24
2.3.2. <b>Temperatura do Bulbo Úmido</b> .....	24
2.3.3. <b>Umidade Absoluta</b> .....	25
2.3.4. <b>Umidade Relativa e déficit de vapor</b> .....	25
2.3.5. <b>Temperatura do Ponto de Orvalho</b> .....	26
2.4. FENÔMENO DE CONDENSAÇÃO.....	27
2.4.1. <b>Ângulo de contato e Molhabilidade</b> .....	27
2.4.2. <b>Modos de condensação</b> .....	28
2.4.2.1. Condensação em Películas.....	29
2.4.2.2. Condensação em Gotas.....	30
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1. CÂMARA ATMOSFÉRICA.....	31
3.2. ARDUINO UNO R3.....	32
3.3. SUPERFÍCIES.....	33

3.4. MÉTODOS.....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>
4.1. EXPERIMENTOS PRELIMINARES 1 E 2.....	43
4.2. EXPERIMENTO 3.....	44
4.3. EXPERIMENTO 4.....	46
4.4. EXPERIMENTO 5.....	46
4.5. EXPERIMENTO 6.....	47
4.6. EXPERIMENTO 7.....	47
4.7. EXPERIMENTO 8.....	47
4.8. PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO DA CÂMARA DE CONDENSAÇÃO.....	48
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>51</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>8. APÊNDICES.....</b>	<b>56</b>
APÊNDICE A: CÓDIGO.INO.....	56
APÊNDICE B: CIRCUITO ARDUINO.....	57
APÊNDICE C: TABELA COM OS DADOS DO GRÁFICO DA FIGURA 25.....	58
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
ANEXO A: SENSOR DHT22.....	59
ANEXO B: CÁLCULO E DESENHO PARA CRIAÇÃO DO CORPO DE PROVA DA BIOMIMÉTICA.....	60
ANEXO C: MODELAGEM DOS CORPOS DE PROVAS NO SOLIDWORKS.....	61
ANEXO D: EFEITO MPEMBA.....	62

## 1. INTRODUÇÃO

A presença dos seres vivos no planeta terra dos primórdios até os tempos atuais, vem sendo estudada e observada pelo homem na tentativa de imitá-la, a fim de encontrar soluções para os problemas que os cercam. Os modelos da natureza oferecem uma diversidade de inspiração para criação tecnológica, científica e modelos sustentáveis (BENYUS, 2003).

Diante desse contexto, a biomimética é a ciência que estuda os modelos tecnológicos utilizados pelos sistemas biológicos para manutenção da vida e a utiliza para criação de novos dispositivos. Esse método de inovação para obtenção de conhecimento pode ser utilizado em diversas áreas, como por exemplo na medicina, administração, biologia, engenharia, etc (BAR-COHEN, 2006).

A natureza prova ser exemplo na solução de problemas que afetam o ser humano, como a escassez de água potável em locais severos do planeta. Como exemplo pode-se citar o besouro *Stenocara gracilipes* proveniente da Namíbia, situada na costa ocidental do continente africano, ele é capaz de captar gotículas de água existentes em nevoeiro, por meio de uma microestrutura biodinâmica existente em sua carapaça (FERREIRA; 2017). Técnicas biológicas do tipo podem influenciar fortemente o ramo da utilização de energia passiva na engenharia das soluções tecnológicas visando a diminuição da pegada energética humana atual principalmente quando se trata de um recurso tão importante quanto a água na sociedade.

Segundo a agência nacional de águas ANA (2019) a água potável indisponível já afeta conglomerados urbanos, mesmo em países como o Brasil que é considerado uma das maiores reservas de água doce do planeta. Em algumas regiões do Brasil, pode-se evidenciar em algumas estações indisponibilidade de água potável, como por exemplo, nos ecossistemas das caatingas, florestas Deciduais do Nordeste e ecossistemas da Região das Florestas Estacionais Semideciduais.

A busca por tecnologias de sequestro de água potável é um dos caminhos para minimização do quadro de seca por meio de domínio técnico da condensação, diversos investigadores começaram desenvolver projetos com intuito de reduzir inacessibilidade as fontes de água potável, com objetivo de indicar procedimentos para a sustentabilidade dos sistemas de água, apresentando parâmetros como

aspectos da sustentabilidade, aspectos sanitários, viabilidade econômica e de saúde ambiental (SHUBO, 2003).

De acordo com FERREIRA (2017) a água disponível em forma de umidade na atmosfera através de névoa ou de orvalho é considerado mais saudável que a água da chuva, porque encontra-se em menores altitudes permitindo assim recolher água menos contaminada que a da chuva, que após ser liberada pela nuvem passa por vários gases presentes na atmosfera até alcançar o solo, aumentando o risco de interação com maior quantidade de gases, necessitando assim de purificação através de filtros para poder ser consumida.

Pode-se dividir o trabalho em: revisão teórica, construção da câmara de condensação e por fim teste de algumas superfícies condensantes.

### **1.1. PROBLEMA DA PESQUISA**

É possível obter condensação em superfície em uma câmara simplificada variando a temperatura e umidade?

### **1.2. JUSTIFICATIVA**

A escassez de água em algumas regiões do mundo como a do sertão nordestino impõe desafios tecnológicos para a engenharia, um deles é a possível obtenção de água disponível na atmosfera utilizando fenômenos de superfície. Alguns animais, como é o caso do besouro da Namíbia, sequestram porções de água a partir de condensação superficial. Os estudos de novas tecnologias possibilitarão métodos para criação de dispositivos que realizem coletas de água em locais isolados.

### **1.3. OBJETIVO GERAL**

Avaliar por estudo comparativo a formação do condensado de água com tribologia afim.

#### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantamento bibliográfico para elaborar critérios de como será projetada a câmara simplificada de condensação e seus acessórios para realização dos estudos;
- Medir umidade e temperatura utilizando o sensor através da plataforma Arduino e datalogger;
- Construir a câmara simplificada de condensação;
- Analisar a condensação de água em superfícies planas e bio-inspiradas, na câmara simplificada de condensação.
- Obter procedimento para utilização da câmara de condensação.

#### **1.5. ESTRUTURA DA MONOGRAFIA**

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco partes: introdução, metodologia, resultados e discussões, conclusão e referências bibliográficas. Após introdução procede com referencial teórico com vista a contextualizar.

Na metodologia, foram apresentados a construção da câmara simplificada de condensação atmosférica, a montagem do sensor DHT22 que mede temperatura e umidade instalado no software e hardware Arduino, as superfícies que foram utilizadas para realização dos ensaios e por fim os métodos de cada experimento os quais contêm imagens e fluxogramas para melhor entendimento.

Nos resultados e discussões, foram apresentados os gráficos coletados dos experimentos e discutido o que ocorreu com a temperatura, a umidade e relata se houve ou não a condensação das superfícies em estudo, explicitando os resultados com base nas teorias.

Na conclusão foram apresentados as considerações do estudo desenvolvido e também sugeridas propostas futuras para serem estudadas.

Na referência bibliográfica encontram-se todos os conceitos fundamentais e pesquisas resultantes sobre o tema e pertinentes para a construção do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÒRICO**

### **2.1. Disponibilidade de água potável**

A escassez de água potável para consumo humano torna-se cada vez mais notória à medida que o crescimento populacional se torna uma realidade, de acordo com a ONU teremos em 2035 cerca de 8,6 bilhões de habitantes na terra.

De acordo com De Brito Dias (2011) a água é, explicitamente, um recurso natural essencial para a existência dos seres vivos. Não sendo fundamental somente à proporção biológica da vida humana, mas também à social. Porém esse recurso mostra sinais de que não persistirá ao longo do tempo às mudanças climáticas e às intercessões dos seres humanos ao meio ambiente.

O maior desafio presente é controlar a graduação da temperatura do clima, elemento que ocasiona ondas de calor e seca, afetando assim a disponibilidade de água no planeta. Um relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas, das Nações Unidas, apresenta que, se houver um alcance de 1,5°C de aumento na temperatura global, mais de 350 milhões de pessoas no mundo estarão enfrentando períodos severos de seca até 2050 (BRITO, 2018).

Segundo ANA (2019) no Brasil existem doze regiões hidrográficas que enfrentam problemáticas diferentes para conter acessibilidade e qualidade hídrica. De acordo com Mapeamento do Ministério do Meio Ambiente, na região norte suas bacias sofrem impactos devido a expansão da energia elétrica. Na região centro-oeste o problema existente é a expansão da fronteira agrícola. No Sudeste existe também a poluição hídrica. E nas regiões sul e nordeste a problemática está no enfrentamento ao déficit hídrico.

O clima Tropical Semiárido caracteriza-se pela escassez e pela irregularidade de chuvas. O índice de chuvas é inferior a 800 mm/ano, as temperaturas médias em torno de 27° C e a amplitude térmica por volta de 5° C. Apesar da presença acentuada de déficit hídrico no Nordeste, existem regiões nas quais as temperaturas a noite são substancialmente baixas próximas a 20°C, principalmente em locais de altitude (BRITO, 2018).

## 2.2. Biomimética e Engenharia

O termo biomimética é originário do grego, bios que significa vida, e mimese (mimética), que quer dizer imitar. Essa ciência trata-se do estudo das estruturas biológicas e suas utilidades, procurando aprender com a natureza e compreender as estratégias e soluções para assim poder aplicar esse conhecimento em diversos domínios da ciência (BENYUS, 2003; BAR-COHEN, 2006).

De acordo com a teoria evolucionista, a vida no planeta terra ocorre numa evolução natural dos seres vivos em um processo constante de luta pela sobrevivência. Entre as adversidades, cada ser vivo tende a adaptar-se às circunstâncias do meio ambiente predominante, de modo a encontrar soluções que obtenham o máximo desempenho por meio de gastos mínimos de recursos (MARTINS, 2012). Esse processo iterativo de aperfeiçoamento teria originado tecnologias bastante inspiradoras para soluções de engenharia, a ponto de estar presente como técnica de obtenção de novas tecnologias desde o início do método científico.

BENYUS (2003) classifica a biomimética em três princípios, a natureza como modelo, a natureza como medida e a natureza como mentora. Que especificamente são:

- A natureza como modelo: É uma visão do estudo nos modelos da natureza os quais serão imitados ou servirão de inspiração nestes modelos ou em seu processo para soluções de problemas;
- A natureza como medida: Trata-se de utilizar um padrão ecológico para aprimoramento das nossas inovações. Por 3,8 bilhões de anos de evolução a natureza aprendeu o que funciona, o que é adequado e o que é durável;
- A natureza como mentora: Técnica biomimética e inovadora que valoriza a natureza. Abordando um novo método, não do que podemos extrair da natureza e sim o que podemos aprender com ela.

Essa respeitosa imitação é uma abordagem totalmente nova. Diferentemente da Revolução Industrial, a Revolução Biomimética inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela, tomar emprestado uma ideia para inspirar outras. (Benyus, 2003, pg.10).

Existem comportamentos naturais que inspiram pesquisas para alcançar resultados na forma de “inúmeros algoritmos...”, mecanismos, métodos, estruturas, processos, sistemas, materiais e ferramentas. Comportamentos naturais que são imitados como modelos de solução, que geralmente são muito simples, como por exemplo o caso das barbatanas para nadar e também existem exemplos de imitações que foram inspirados no sistema biológico de grande complexidade, o domínio do voo que se tornou possível apenas com uma melhor compreensão dos princípios da aerodinâmica (SILVA, 2009).

O campo de estudos da biomimética abrange cada vez mais assuntos provenientes da ciência e engenharia, na tabela 1 apresenta similaridades da biologia com Engenharia (SILVA, 2009 ; MARTINS, 2012).

TABELA 1: Similaridade entre as partes que constituem o corpo e as que envolvem a engenharia, no conceito da biomimética.

Biologia	Engenharia
Corpo	Grupos e estruturas que reproduzem o sistema biológico
Esqueleto e ossos	Estrutura de suporte
Cérebro	Computador
Inteligência	Inteligência artificial
Sentidos	Sensores

Fonte: SCHUCH (2019).

Costa (2019) descreve a biomimética em seis princípios utilizados na vida:

- Incorporar: Agregar e cooperar para sobreviver - Incorporação de informações, réplica das estratégias que dão certo, implementação de erros que podem acrescentar novas funções e formas, troca de informações para novas criações;
- Adaptação às condições: Incorporar diversidade, manter-se fiel através da renovação, resiliência;

- Ser localmente ativo e responsável: Familiaridade do ambiente e ações responsáveis, aproveitamento dos processos cíclicos, utilizar materiais e energias acessíveis e de fácil obtenção e processamento;
- Integrar desenvolvimento com crescimento: Auto manutenção e organização, iniciar a partir do simples para o complexo;
- Reutilizar material e energia: Utilizar recursos com eficiência, utilizar energia de baixo processamento, forma e função;
- Utilização de química bio-compatível: Usar químicos que tenham resultados benignos, utilizar o mínimo de elementos básicos e produzir química na água.

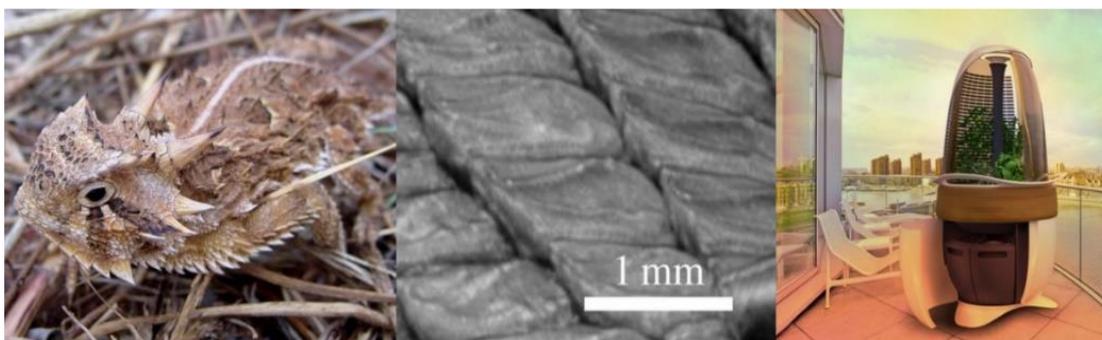
### **2.2.1. Sistemas biomiméticos de captação e armazenamento de água**

Soluções inovadoras vêm sendo desenvolvidas em pesquisas de sistemas e propriedades naturais, o qual não se baseia apenas na estética, mas também favorecem maior eficiência. Nesse contexto apresenta-se alguns estudos associados:

#### **a) Biocultivador para apartamentos**

Biocultivador para apartamentos têm capacidade de coletar chuva e umidade do ar. Desenvolvido por uma equipe de ecodesigners e engenheiros da Universidade Técnica de Zvolen, na Eslováquia, seu modelo é inspirado nas escamas do lagarto-espinhoso-do-texa (*Phrynosoma cornutum*), Figura 1, o sistema de coleta da umidade foi observado primeiramente pelo pesquisador especialista em nanoestruturas Philip Comanns, da Universidade de Aachen, na Alemanha. A pele do lagarto consegue absorver qualquer tipo de névoa, neblina, vapor e até mesmo a umidade do solo que esteja a seu alcance. De modo que o animal garanta seu próprio suprimento de água. Suas escamas são formadas por um design exclusivo e possuem micro canais que vão em direção a boca, sendo assim eficientes no transporte de água, mesmo em pequenas quantidades. O dispositivo possui uma cúpula que tem a mesma estrutura das escamas do lagarto, que encaminha a água que foi coletada no ar para o substrato que encontra-se nas plantas. Assim o usuário tem possibilidades de manter verduras orgânicas ou temperos no biocultivador, sem que haja perda das plantas quando viajar ou esqueça de regar (JOHN, 2017).

Figura 1: Lagarto de chifres, que inspirou a criação do biocultivador.



Fonte: <http://conexoplaneta.com.br/blog/escamas-de-lagarto-inspiram-biocultivador-para-apartamentos/>.

### b) Efeito Lótus - Superfícies autolimpantes

O botânico alemão Wilhelm Barthlott, da Universidade de Bonn, durante a década de 70, observou em lagos muito poluídos e que possui várias plantas ao redor, que apenas a flor de lótus, Figura 2, sempre permanecia com sua superfície limpa. O botânico então realizou estudos da planta descobrindo que o segredo estava nas micro e nanoestruturas cerosas de sua superfície, que devido à disposição e ao ângulo de contato entre elas, os líquidos que eram depositados formavam gotas que rolavam, levando consigo toda a sujeira encontrada na sua superfície. Em meados da década de 90 teve início a aplicação de produtos no setor têxtil, calçados e dos revestimentos, no objetivo do tecido não molhar e não acumular sujeira. Na indústria de aviação as superfícies são produzidas para evitar o acúmulo de gordura das mãos das pessoas, pois se o avião permanecer mais limpo, é preciso menos água para sua limpeza, assim consumindo menos e diminuindo o impacto ambiental. Na parte externa do avião o vento úmido é o suficiente para o limpar. A rugosidade microscópica presente na superfície da flor de lótus pode ser reproduzida em superfície de um produto com finalidade de aumentar a eficácia em canalizar as gotículas de água presentes no ar. (MELO, 2019; FERREIRA, 2016).

Figura 2: Planta Lótus.



Fonte: (Ferreira, 2017).

### 2.3. Besouro da Namíbia (*Stenocara gracilipes*)

O besouro da Namíbia foi inspirador de um dos corpos de prova utilizados no trabalho, mais especificamente quanto a geometria macroscópica do casco (função quadrática). O animal tem esse nome por ser proveniente do deserto da Namíbia que se encontra na costa ocidental do continente africano e tem fronteira ao norte com a Angola e a sul com a África do Sul e detém o deserto Namibe no litoral, um dos lugares mais secos do planeta. Sazonalmente existe um nevoeiro que cruza a região e é devido a corrente fria na costa que é compelido através do vento para as dunas do deserto chegando cerca de até 100 km para o interior do país (FERREIRA, 2017), servindo assim de fonte de captação de água pelo besouro.

Figura 3: Superfície do besouro da Namíbia.



Fonte: (Ferreira, 2017).

Microscopicamente o besouro possui minúsculas saliências na sua carapaça com formato de ondulação sendo estas hidrofílicas, (Figura 3), ou seja ela condensam a água presente no nevoeiro em seu corpo, posicionado no cume das dunas, estas saliência microscópica atraem a água pelas pontas enquanto os canais entre eles a repelem (saliências hidrófugas) e tornam-se orvalhos em forma de microgotas. Como o besouro em sua coleta posiciona-se com carapaça inclinada a favor do vento, estas microgotas escorregam pela suas costas transformando-se em gotas maiores até chegar a sua boca, uma característica adaptativa que permite a sobrevivência do mesmo no deserto. Sendo assim um exemplo de coletor natural da água proveniente da neblina mostrando uma forma de solução a qual pode ser imitada e aplicada na ciência (SOARES, 2016).

A inclinação e a forma do casco do besouro no instante da colheita de névoa,

Figura 4, melhora a eficácia na captura de gotículas, além do besouro quando se posiciona no cume das dunas aumentar a incidência de vento, proporcionando a probabilidade de captar mais gotículas na névoa ( SOARES, 2017).

Ao ver o exemplo do besouro da Namíbia, o designer Pak Kitae construiu um sistema conhecido por *Dew Bank Bottle*, *Figura 4*, que recolhe o orvalho, o condensa e o transporta para uma garrafa, que contém um bico para beber. Assim podendo fornecer água potável (STEWART, 2010).

Figura 4: Produto inspirado no besouro.



Fonte: (SWITZERLAND, 2017).

## 2.4. Psicrometria

A psicrometria é uma área da engenharia que estuda propriedades termodinâmicas da mistura de vapor e gases. Os conceitos nas misturas de gases são empregados para composição do ar atmosférico. Sendo assim é importante conhecer o ar e suas composições:

Ar seco - É uma junção de vários componentes gasosos como por exemplo, nitrogênio, oxigênio, argônio, dióxido de carbono, neônio, hélio e outros.

Ar úmido - É a mistura do ar seco com o vapor d'água, a quantidade de vapor d'água presente no ar úmido pode variar de zero (ar seco) a um valor máximo de acordo com a temperatura e pressão. O valor máximo é a saturação, um ponto de equilíbrio neutro entre as fases condensadas d'água (líquida ou sólida) e o ar úmido.

Ar atmosférico- É uma mistura do ar úmido com poluentes como fumaça, pólen, poluentes gasosos e particulados.

De modo que além de estudar as propriedades a psicrometria analisa as

condições e os processos que envolvem o ar úmido, oferecendo uma dedicação especial às necessidades tecnológicas, ambientais e humanas (RIGOTTI, 2015; DE AQUINO, 2018).

Este trabalho utiliza fonte de resfriamento e aquecimento com finalidade de induzir ar úmido no volume existente da câmara propiciando assim avaliar o comportamento de algumas superfícies quando a condensação.

#### **2.4.1. Temperatura de Bulbo Seco**

A temperatura de bulbo seco (TBS) é a temperatura mostrada por um termômetro convencional colocado de modo livre no ambiente, não exposta a radiação não considera os dados de umidade, indica apenas a quantidade de calor presente no ar. (BOAVENTURA, 2016).

#### **2.4.2. Temperatura do Bulbo Úmido**

A temperatura de bulbo úmido (TBU) é a temperatura do ar medida por um termômetro de bulbo úmido conhecido como algodão molhado, o qual sofre influência da umidade, o que ocasiona uma redução da temperatura mostrada pelo termômetro. A temperatura do bulbo úmido sempre será igual ou menor a temperatura do bulbo seco, visto que não ocorre evaporação quando o ar está no estado saturado. (BOAVENTURA, 2016).

#### **2.4.3. Umidade Absoluta**

Umidade Absoluta também nomeada como umidade específica, ou razão de umidade. É a massa de água presente em 1 kg de ar seco, ou seja, é a razão entre a massa de vapor d'água e a massa de ar seco em uma mistura.(LOPES, 2008).

#### **2.4.4. Umidade relativa e déficit de vapor**

Umidade relativa é a razão entre quantidade de vapor que existiria no ar saturado e quantidade de vapor presente no ar a mesma temperatura e pressão, ou seja, umidade relativa do ar e a ligação entre a quantidade de água presente no ar e a quantidade máxima que possa existir na mesma temperatura (LOPES, 2008).

Dois parâmetros importantes para a caracterização do ar são a umidade

relativa (UR) e o déficit de vapor ou déficit de saturação ( $\Delta e$ ). A umidade relativa é definida como:

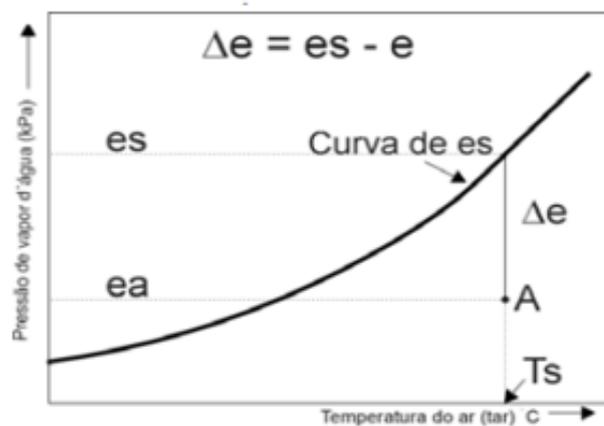
$$UR = \frac{e_a}{e_s} \quad (1)$$

O déficit de vapor é calculado como:

$$\Delta e = e_s - e_a \quad (2)$$

e pode ser expresso em Pa, kPa, atm, ou outras unidades de pressão, dependendo da unidade escolhida para ( $e_s$ ) e ( $e_a$ ). A Figura 5 representa  $\Delta e$  graficamente.

Figura 5: Representação gráfica de déficit de vapor ou déficit de saturação.



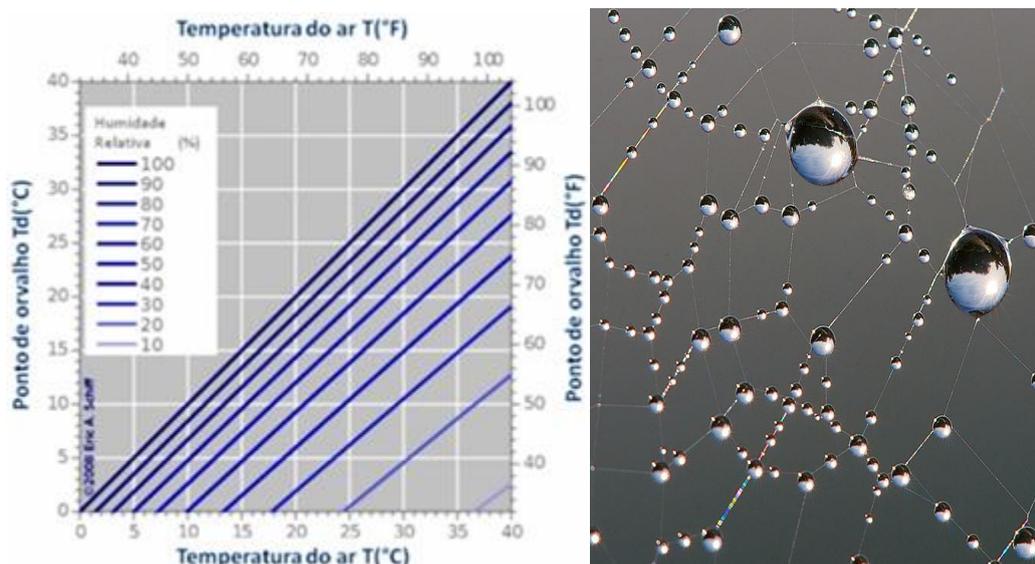
Fonte: (Marin, 2017)

A umidade relativa é de grande importância pois representa a quantidade de água em uma atmosfera o déficit de vapor é o parâmetro que descreve qual a capacidade de absorção de água do ar.

#### 2.4.5. Temperatura do ponto de Orvalho

A temperatura do ponto de orvalho é a temperatura mínima que o ar é resfriado, sem que aconteça alguma condensação de vapor de água ou umidade, nela o ar se encontra totalmente saturado. Uma temperatura maior que esta, a umidade permanece no ar e uma temperatura menor que a dela, o vapor d' água condensa, Figura 6 (BOAVENTURA, 2016).

Figura 6: Ponto de orvalho para várias temperaturas e orvalho.



Fonte: (AUTOMITIVA; 2017).

Uma temperatura de orvalho próxima à temperatura do ambiente indica uma alta umidade relativa.

O ponto de orvalho pode ser determinado a partir de aproximações.

Uma aproximação bem conhecida utilizada para calcular o ponto de orvalho ( $T_{po}$ ) dada somente a temperatura atual (Bulbo seco) do ar ( $T$ ) e a umidade relativa do ar ( $UR$  – em percentagem), é a "fórmula de Magnus":

$$\gamma(T, UR) = \ln\left(\frac{UR}{100} \exp\left(\frac{bT}{c+T}\right)\right) = \ln\left(\frac{UR}{100}\right) + \frac{bT}{c+T}; \quad (3)$$

$$T_{po} = \frac{c\gamma(T, UR)}{b - \gamma(T, UR)}; \quad (4)$$

Há diferentes constantes utilizadas para o cálculo da  $T_{po}$ :

a) David Bolton 1980: Precisão mínima de 0.1%, para,  $-30^{\circ}\text{C} \leq T \leq +35^{\circ}\text{C}$ ;  $1\% < UR < 100\%$ ;

$$a = 6.112; \quad b = 17.67; \quad c = 243.5^{\circ}\text{C};$$

Também de pode destacar Sonntag (1990),

$$a=6.112; \quad b=17.62; \quad c=243.12^{\circ}\text{C}; \quad -45^{\circ}\text{C} \leq T \leq +60^{\circ}\text{C} \quad (< -0.35^{\circ}\text{C})$$

Outros valores comuns são os apresentados em "Psychrometry and Psychrometric PAROSCIENFIC (2007).

$$a=6.105; \quad b=17.27; \quad c=237.7^{\circ}\text{C}; \quad 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq +60^{\circ}\text{C} \quad (\pm 0.4^{\circ}\text{C})$$

## 2.5. Fenômeno da condensação

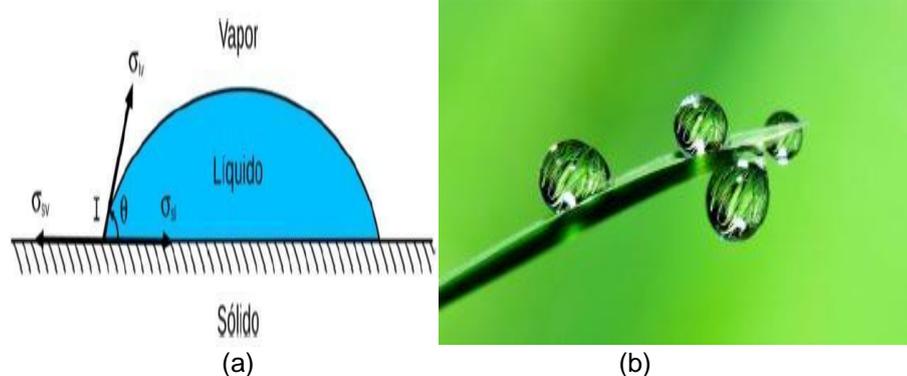
A condensação é um fenômeno de transformação do vapor d'água em água líquida, no momento em que sua temperatura diminui, estando abaixo da temperatura de saturação. Essa diminuição pode ocorrer por contato do vapor com uma superfície sólida ou também com outro gás a uma temperatura menor (ZANETTE, 2015).

Segundo Araújo (2018), no ar limpo, sem presença de poeira e outros aerossóis, a condensação de vapor de água praticamente não acontece, a menos que o ar esteja supersaturado, ou seja, com umidade relativa acima de cem por cento. Quando a condensação acontece através do contato do ar úmido e quente com uma superfície fria ocorre o orvalho. A condensação depende de varios fenomenos fisicos na sua formação.

## 2.6. Ângulo de contato e Molhabilidade

A capacidade de uma gota líquida em se manter em contato com uma superfície sólida é conhecida com molhabilidade, esta pode apresentar diferentes formatos geométricos, desde uma forma geométrica totalmente espelhada, semiesférica, até um formato esférico. O ângulo formado da superfície de contato até sólido ou ângulo presente entre a tensões sólido-líquido e líquido-vapor é o ângulo de contato, o qual determinar a molhabilidade, como mostra na figura 7, o ângulo  $\theta$  da Figura 7(a) representa o ângulo de contato (OESTREICH, 2017).

Figura 7:Tensões superficiais (a). Gota de orvalho em uma planta com ângulo de contato proximo à 180°(b).



Fonte: (GOSS et al., 2011).

## 2.7. Modos de condensação

Ao ocorrer perda de calor em um sistema que apresenta vapor com sua temperatura encontrando-se inferior à temperatura de saturação, a fase passa de vapor para o estado líquido por meio da nucleação. Se o vapor presente no sistema for puro, a nucleação pode acontecer de maneira homogênea e o surgimento de gotas e na parte interior do vapor, formando uma névoa. No entanto a condensação também pode ser ocasionada de modo heterogêneo quando ocorre um resfriamento, neste processo as gotas surgem sobre um substrato, pequenas impurezas entre outros.

A condensação heterogênea alcança dois tipos diferentes de regime, sendo um a condensação em película e outra condensação em gotas, apresentados na figura 8, (ZANETTE, 2015).

Figura 8: Modos de condensação.



Fonte: adaptado de (THERMALFLUIDSCENTRAL, 2017).

## 2.8. Condensação em películas

Segundo Oestreich (2017) a condensação em película acontece com maior frequência, sendo assim o método de condensação predominante, principalmente em aplicações práticas. No processo de condensação, acontece um fenômeno conhecido como coalescência das gotas as quais surgem neste processo simultaneamente com novas gotas que vão sendo formadas, dando assim origem a uma película líquida contínua. Essa película líquida contínua pode escoar em regime turbulento, laminar ou ainda em regime de transição em placas inclinadas ou verticais.

O modelo criado por Nusselt no ano de 1916, relacionado ao processo de

condensação em película, considerado um modelo exemplar, apresenta uma parede isotérmica e plana as quais são adotadas as seguintes hipóteses (CZUBINSKI, 2012):

- Forças inerciais desprezíveis;
- Vapor estagnado e saturado;
- Propriedades de líquidos constantes;
- Temperatura de parede constante;
- Perfil de temperatura linear;
- Região de escoamento laminar;
- Região permanente.

## **2.9. Condensação em gotas**

Na condensação em gotas, a sua formação inicial é obtida de maneira fácil, porém esse modo de condensação é dificilmente conservado pelo fato desse regime sempre necessitar de manutenção, que é o processo de drenagem das gotas, embora a superfície chegue a atingir um elevado fluxo de calor. Isso também faz com que a condensação ocorra de modo rápido criando uma película de líquido na superfície do condensador, ocasionando ao fluxo de calor uma resistência térmica. Um método de conseguir que esse fenômeno permaneça, envolve adicionar contaminantes em sua superfície ou então acrescentar aditivos no fluido (LIMA, 2017; ZANETTE, 2015).

A condensação em gotas possui uma taxa de coeficiente de transferência de calor superior, sendo entre cinco a dez vezes maior que o da condensação pelicular. É possível notar esse regime em superfícies que têm um baixo nível de molhabilidade como por exemplo nos materiais poliméricos, orgânicos, metais nobres entre outros (ARAÚJO, 2018).

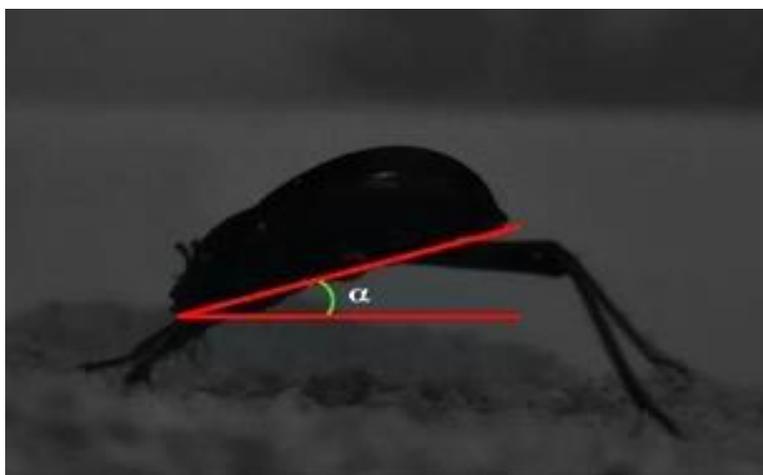
## **3. METODOLOGIA**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Mecânica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 12° 39 '33 ``S 39° 05' 06 ``W. A câmara atmosférica foi desenvolvida para análise de condensação dos corpos de prova planos e um corpo de prova bio-inspirado. Utilizando um Arduino UNO R3 com o sensor DHT22 de medição de temperatura e umidade para a coleta dos valores da temperatura e umidade presentes no ambiente na câmara. As superfícies foram submetidas a

temperaturas de aproximadamente 20°C durante o processo de condensação. A câmara é dividida em dois espaços construídos de chapas de vidro, o recipiente externo (1), figura 10, e um recipiente interno (câmara) (2), figura 10, como podemos ver na imagem o recipiente 2 está dentro do recipiente 1. A fonte fria é obtida a partir da alimentação de gelo no espaço externo ao dos ensaios e a fonte quente é obtida por meio do aquecimento da água no espaço interno da câmara.

Neste trabalho é utilizada uma função que se aproxima a inclinação (figura 9) e a forma macroscópica do dorso do besouro na coleta. Os aspectos microscópicos não foram considerados.

Figura 9:Inclinação do besouro da namíbia.



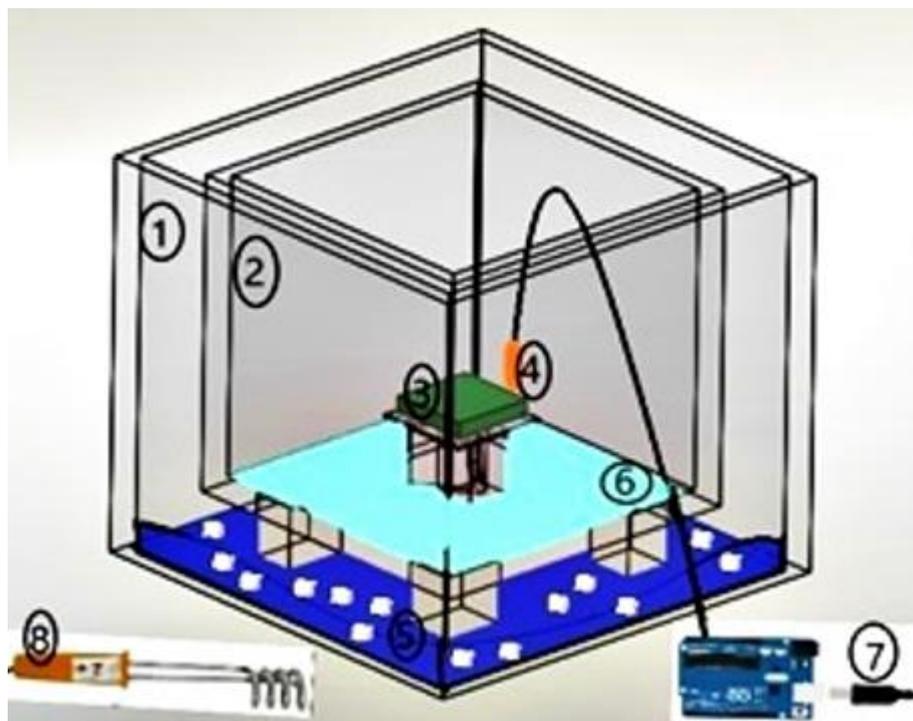
Fonte: (FERREIRA, 2017).

### 3.1. CÂMARA ATMOSFÉRICA

Para análise do estudo de condensação das superfícies, foi necessário o dimensionamento e construção de uma câmara simplificada de condensação atmosférica, na figura 10, apresenta-se croqui da parte interior da câmara de condensação isolada externamente por placas de isopor de 20 mm, ver na figura 14.

Apesar das normas para construir câmara de condensação e para pintura industrial como por exemplo ASTM D2047, ASTM D4585, ASTM D 2247 e ASTM D 870, a câmara do trabalho foi feita sem considerar essas normas de modo exclusivo.

Figura 10: Esquematização do interior da câmara que contém parte exterior vedada com isopor .



Fonte: do Autor.

TABELA 2: Itens apresentados no croqui da câmara.

	Identificação	Especificação
1	Recipiente externo	25 x 25 x 25 cm
2	Câmara atmosférica (8Litros)	20 x 20 x 20 cm
3	Corpos de prova	zinco, vidro e polipropileno
4	Sensor DHT22	AM2302
5	Água e gelo	800 mL
6	Água quente	100 mL
7	Arduino	Uno R3
8	Ebulidor elétrico	-

Fonte: do Autor.

A câmara contém dois recipientes de vidro (itens 1 e 2), o recipiente maior (1) tem 4 mm de espessura que funciona como uma parede externa sendo isolado com isopor de 28 mm de espessura com intuito de reduzir a troca de calor do meio interno com o meio externo da câmara simplificada de condensação e o recipiente menor (2) tem 4 mm de espessura é a câmara atmosférica que contém uma mesa de isopor com os pés de acrílico em seu centro sobre o qual são postos os corpos de prova para

estudo da condensação (item 3). A câmara atmosférica possui quatro suportes de acrílico de 2 mm de espessura posicionados dentro do recipiente maior, os dois recipientes ficam parcialmente herméticos através de tampa de isopor de mesma espessura, durante os testes com intuito de manter o sistema com pouca troca térmica possibilitando estabilidade das condições da temperatura e umidade interna.

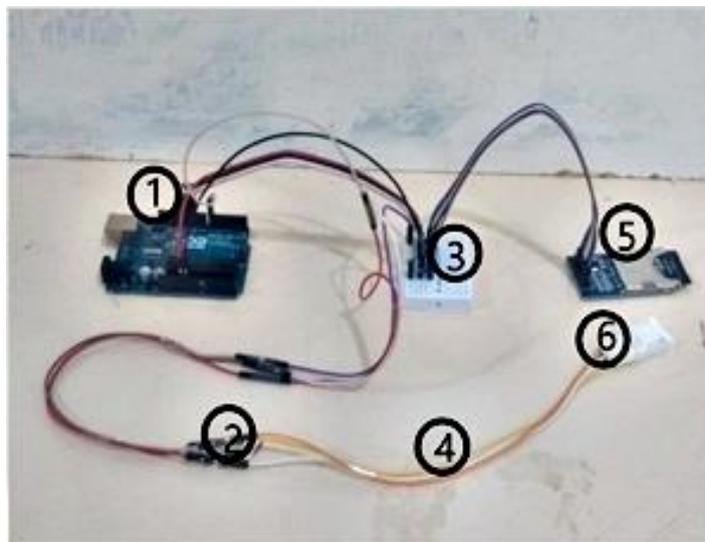
### 3.2. ARDUINO UNO R3

Nos experimentos foi utilizado a plataforma software e hardware Arduino UNO R3 que foi conectado o sensor de umidade e temperatura DHT22 / AM2302 através da porta 7. Este sensor realiza medidas de temperatura entre  $-40^{\circ}$  até  $80^{\circ}$  celsius e umidade relativa do ar nas faixas de 0 a 100%. A precisão do sensor para medição de temperatura é de  $0,5^{\circ}$  celsius e para umidade é de 2%, apresentado na figura 11 (a) e no Anexo A: Datasheet do DHT22.

Figura 11: Sensor DHT22 e esquema de montagem do sensor no arduino.



(a) Figura 01



(b) Figura 02

Fonte: do Autor.

TABELA 3: Itens apresentados no sistema sensor no arduino.

Número	Identificação
1	Arduino UNO R3
2	Resistor 10 k
3	Placa protoboard
4	Jumpers
5	Card SD
6	Sensor DHT22

Fonte: do Autor.

As conexões detalhadas do circuito de medição e datalogger do arduino estão presentes no apêndice B.

Foi feito upload do código em extensão (Arquivo de linhas de comando do Arduíno) no Arduino no qual foi conectado o sensor de umidade, conforme Apêndice A, o sensor DHT22 foi conectado através de uma placa protoboard, jumpers e um resistor de 10k, medindo-se temperatura (T) e a umidade relativa (UR) e salvas no datalogger SD card, apresentado na figura 11(b).

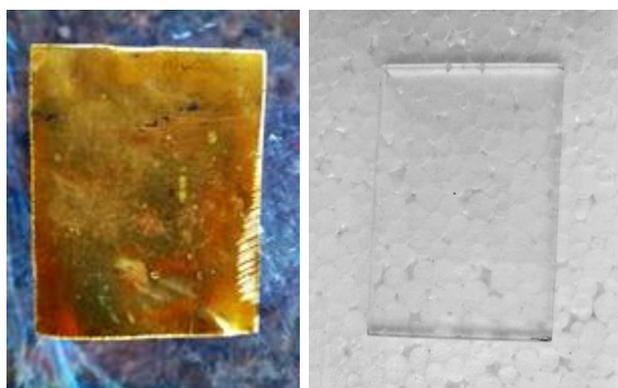
### 3.3. SUPERFÍCIES

As superfícies utilizadas com dimensões de acordo com a limitação da abertura da câmara e material diferentes para serem comparável como corpo de prova nos experimentos foram:

Superfície 1- Chapa de zinco com 0,4 mm de espessura, Figura 12(a).

Superfície 2- Chapas de vidro com 0,4 mm de espessura, Figura 12 (b).

Figura 12: Corpo de prova de zinco (a) e de vidro (b).



(a) Figura 01

(b) Figura 02

Fonte: do Autor

Superfície 3- Corpo de prova plano, figura 13(a), e bio-inspirados, Figura 13(b) com material plástico polipropileno (PP), modelados no software SOLIDWORKS, anexo C e impressos em máquina de impressão 3D, na impressora 3d creality cr 10. O modelo bio- inspirado foi criado através do cálculo e desenho apresentado no anexo B e o corpo de prova plano com material polipropileno (PP) tem a mesma área do corpo de prova bio-inspirado  $14,55 \text{ cm}^2$ , foram ensaiadas 03 amostras de cada.

Figura 13: Corpo de prova plano (a) e bio-inspirado (b).



(a)Figura 01

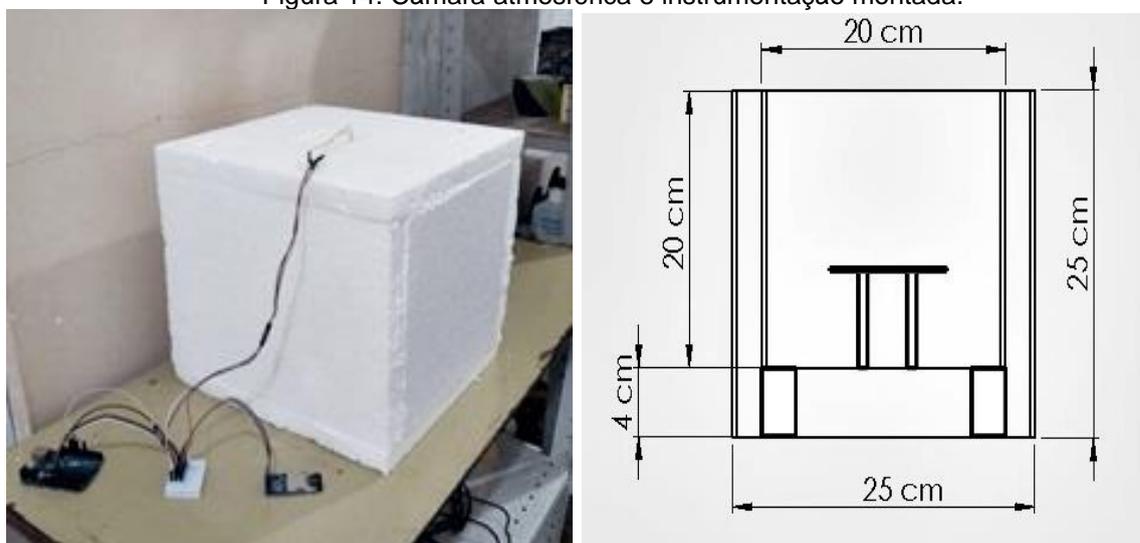
(b) Figura 02

Fonte: do Autor

### 3.4. MÉTODOS

Na primeira etapa foi feita a construção da câmara simplificada de condensação atmosférica e instalado o sensor DTH22 com todas as conexões para arduino e datalogger. No interior da câmara atmosférica (item 2) foram colocadas as superfícies sobre o apoio para testar seu comportamento com a variação de temperatura e umidade, sendo realizadas as coletas de dados. A imagem da câmara atmosférica com volume de 8 litros, mostrada na figura 14.

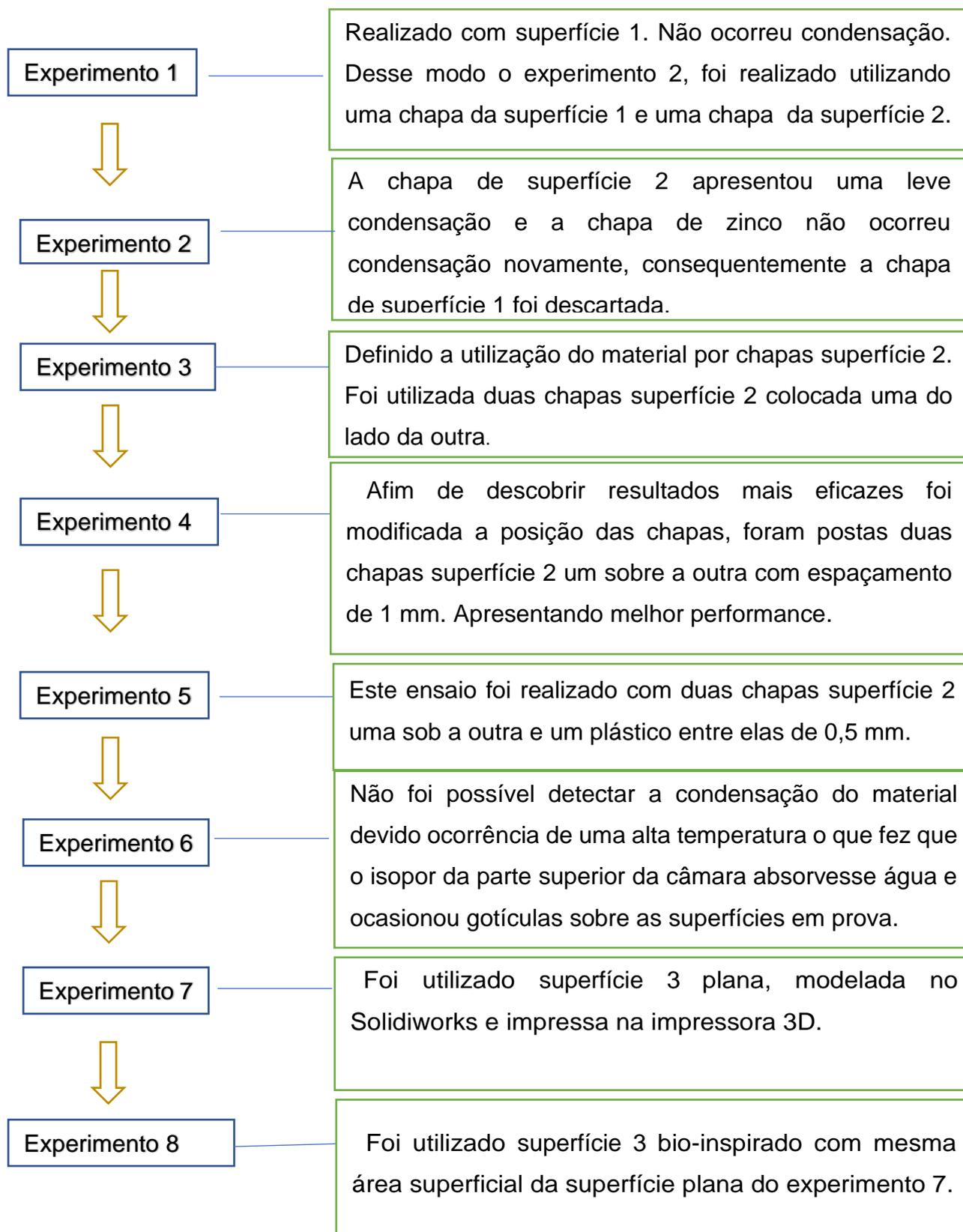
Figura 14: Câmara atmosférica e instrumentação montada.



Fonte: do Autor.

Os ensaios foram realizados de acordo com o fluxograma, figura 15.

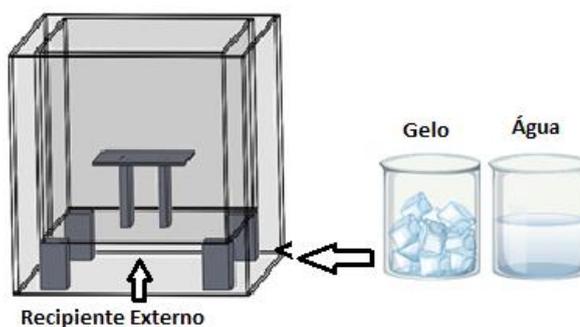
Figura 15 : Fluxograma da metodologia.



Fonte: do autor.

Para realização dos experimentos 1 e 2, foi acrescentado somente gelo e água no recipiente maior a 0° C, ver figura 16.

Figura 16: Esquemática do procedimento da câmara que está vedada com isopor.



Fonte do autor.

**Experimento 1:** Foi utilizada uma chapa de zinco como superfície em estudo, Figura 17(a);

- Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- Foi posto a chapa de zinco no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) onde encontra-se o corpo de prova, para leitura da temperatura e humidade. Esse experimento não utilizou cartão SD card, a leitura foi direto no software arduino.
- No recipiente externo e na câmara na parte superior as pontas estão cobertas por isopor e na parte central a câmara e foi fechada com película de plástico transparente de 0,2 mm utilizado em empacotamento. Não existia tampa de isopor.
- O experimento teve tempo de duração de 10 horas.
- Ao fim do ensaio a análise da superfície do corpo de prova foi realizada visualmente.
- Foi colocada horizontalmente para não ocorrer escoamento.

**Experimento 2:** Foram colocadas duas chapas, uma de zinco e outra de vidro 3 cm uma da outra, Figura 17(b).

- a) Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- b) Foi posto a chapa de zinco e a chapa de vidro no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e umidade. Esse experimento não utilizou cartão SD card a leitura foi direto no software arduino.
- d) No recipiente externo e na câmara na parte superior as pontas estão cobertas por isopor e na parte central a câmara e foi fechada com película de plástico transparente de 0,2 mm utilizado em empacotamento. Não existia tampa de isopor.
- e) O experimento teve tempo de duração de 22 horas, até a temperatura da câmara se igualar a temperatura ambiente.
- f) Ao fim do ensaio foi analisada a superfície do corpo de prova visualmente.
- g) Foi colocada na horizontal para não ocorrer escoamento.

Figura 17: Experimentos (1) e (2).



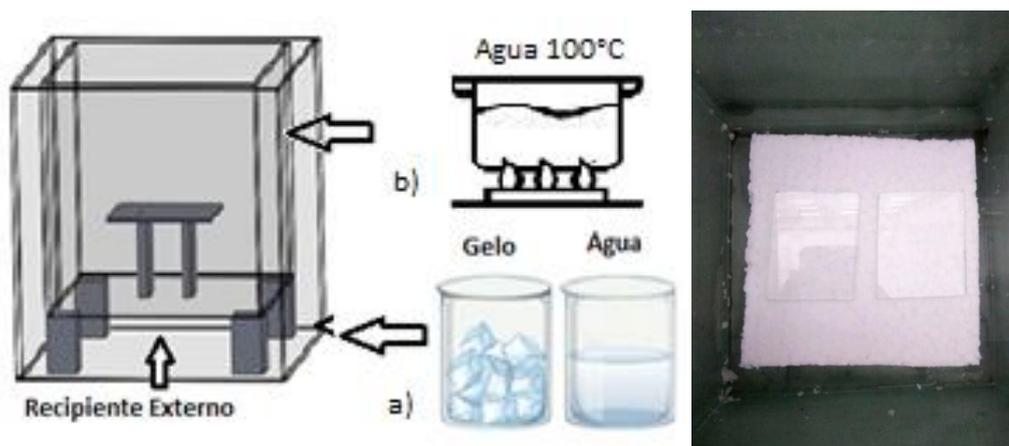
(a) Experimento 01

(b) Experimento 02

Fonte: do Autor.

**Experimento 3:** Foram utilizadas 2 chapas de vidro com 3cm de distância uma da outra, Figura 18; Para realização dos experimentos 3 a 6, foram primeiramente acrescentados gelo e água no recipiente maior a 0° C e posteriormente 100ml de água fervendo a 100° C na câmara de umidade, ver figura 18.

Figura 18: Esquematização do procedimento (a) e experimento 3 (b).



(a)

(b)

Fonte: do Autor.

- a) Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- b) Foram postas as chapas de vidro no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e humidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino.
- d) Já neste experimento a câmara foi totalmente fechada com isopor, com intuito de obter uma melhor vedação.
- e) Uma hora após a redução da temperatura dentro da câmara, esta foi aberta e acrescentou-se 100 mL de água fervendo a 100° C e fechou a câmara novamente.
- h) O experimento teve tempo de duração de 20 horas, até a temperatura da câmara se igualar a temperatura ambiente.
- f) Ao fim do ensaio foi analisada a superfície do corpo de prova visualmente.

**Experimento 4:** Foram utilizadas 2 chapas de vidro uma posta sobre a outra com espaçamento de 1mm;

- a) Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- b) Foram postas as chapas de vidro no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e humidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino.
- d) Posteriormente adicionou-se 100 ml de água fervendo a 100° C.
- e) A câmara foi totalmente fechada com isopor, para reduzir troca termica de calor do meio interno da câmara com ambiente externo.
- i) O experimento teve tempo de duração de 20 horas, até a temperatura da câmara se igualar a temperatura ambiente.
- f) Ao fim do ensaio foi analisada a superfície do corpo de prova visualmente.

**Experimento 5:** Utilizou 2 chapas de vidro uma posta sobre a outra, entre elas foi posto um plástico com 0,5mm, por este material ser hidrofílico, Figura 19(a);

- a) Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- b) Foram postas as chapas de vidro no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e humidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino.
- d) Posteriormente acrescentou-se 100 ml de água que foi aquecida a 100° C por meio de um ebulidor.
- e) A câmara foi totalmente fechada com isopor, para reduzir troca termica de calor do meio interno da câmara com ambiente externo.
- j) O experimento teve tempo de duração de 20 horas, até a temperatura da câmara se igualar a temperatura ambiente.
- f) Ao fim do ensaio foi analisado a superfície do corpo de prova visualmente.

**Experimento 6:** Foram utilizadas 2 chapas de vidro uma posta sobre a outra onde entre elas estava posta um plástico com 0,25mm. As placas foram colocadas na vertical, pois foi notado que não iria ocorrer escoamento, Figura 19(b);

- a) Foi acrescentado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara.
- b) Foram postas as chapas de vidro no centro da mesa de isopor que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e humidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino.
- d) Posteriormente acrescentou-se 100 ml de água que foi aquecida a 100° C por meio de um ebulidor .
- e) O experimento teve tempo de duração de 20 horas, até a temperatura da câmara se igualar a temperatura ambiente.
- f) Ao fim do ensaio foi analisado a superfície do corpo de prova visualmente.

Figura 19: Experimentos (5) e (6).

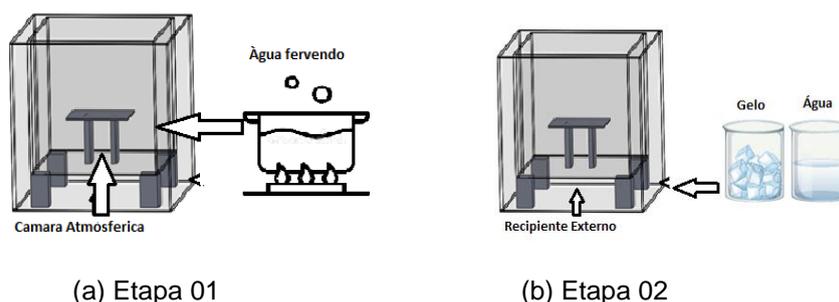


(a) Experimento 05

(b) Experimento 06

Fonte: do Autor

Figura 20: Esquematização do procedimento da câmara que está vedada com isopor água fervendo (a) adicionado água e gelo (b).



(a) Etapa 01

(b) Etapa 02

Fonte: do Autor.

**Experimento 7:** Foram utilizados 3 corpos de provas planos com material plástico polipropileno (PP) os quais possuem a mesma área superficial dos corpos de prova do experimento 8, postos um do lado do outro dentro da câmara atmosférica sob uma mesa de vidro. Figura 21(a).

Para realização dos experimentos 7 e 8 foram primeiramente acrescentados 100 ml de água aquecida a 60°C na câmara de umidade e posteriormente gelo e água no recipiente 1 (figura 10) mantido á 0°C pela passagem do gelo, imagem do esquema de funcionamento na figura 20. Foram modificados os procedimentos para alcançar resultados distintos mais rapidamente.

- a) Foi acrescentado 100 ml de água que foi aquecida a 60° C por meio de um ebulidor na câmara de condensação .
- b) Antes do ensaio, os três corpos de prova foram pesados em uma balança com precisão, utilizando uma espátula, após a pesagem as chapas plana de material polipropileno (PP) foram postas no centro da mesa de vidro que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e umidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino. A câmara foi fechada.
- d) Após a umidade alcançar 100 % foi colocado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo, através de um espaço feito no isopor que permite a inserção no recipiente externo.
- e) O experimento teve tempo de duração de 20 horas.
- f) Ao fim do ensaio os corpos de prova foram retirados, analisados visualmente e foi realizada uma nova pesagem.

Figura 21: Experimentos (7).



Fonte: do autor.

**Experimento 8:** Foram utilizados 3 corpos de provas com formato do dorso do besouro da Namíbia, citado na introdução do trabalho o qual o perfil foi extraído da foto do besouro da Namíbia, assim simulando uma curva no excel e calculando sua área superficial. A partir disso foi modelada a peça no SOLIDWORKS® e impressa na impressora 3D, com material plástico polipropileno (PP), postos um do lado do outro dentro da câmara atmosférica sob uma mesa de vidro. Figura 22(b).

- a) Foi acrescentado 100 ml de água que foi aquecida a 60° C por meio de um ebulidor na câmara de condensação .
- b) Antes do ensaio, os três corpos de prova foram pesados em uma balança com precisão utilizando uma espátula, após a pesagem os corpos de prova bio inspirado de material polipropileno (PP) foram postos no centro da mesa de vidro que localiza-se dentro do recipiente interno da câmara.
- c) Foi colocado o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) para leitura da temperatura e humidade. O experimento foi realizado com card SD instalado no Arduino. A câmara foi fechada.
- d) Após a umidade alcançar 100 % ver na figura 25 foi colocado 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> gelo no recipiente externo, através de um espaço feito no isopor que permite a inserção no recipiente externo.
- e) O experimento teve tempo de duração de 20 horas.
- f) Ao fim do ensaio os corpos de prova foram retirados, analisados visualmente e foi realizada uma nova pesagem.

Figura 22 : Experimentos (7) e (8).



Fonte: do Autor.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados aqui tratados têm o objetivo de permitir uma análise dos resultados das superfícies do corpo de prova de chapa de zinco, chapa de vidro e material plástico, mostrando se ocorreu ou não o fenômeno de condensação.

### 4.1. EXPERIMENTOS PRELIMINARES 1 E 2

a) Experimento 1 - Este experimento não gerou gráfico, pois ainda não estava sendo utilizado o card SD, o qual foi implantado posteriormente no Arduino. Ocorreu temperatura mínima de 19 °C e máxima de 26 ° C. Também ocorreu variações de 90 a 100 por cento na umidade decorrente do papel filme não apresentar uma boa eficácia na vedação da câmara de condensação. Neste experimento não ocorreu condensação nas superfícies do zinco.

b) Experimento 2 - Por ser realizado sem utilizar o card SD, não obteve assim aquisição de dados durante toda a duração de tempo do teste o qual foi implantado posteriormente no Arduino. Sendo assim os dados foram coletados somente pelo software do ARDUINO UNO R3 registrado na figura 23, onde ocorreu uma temperatura mínima de 18° C e posteriormente foi observado temperatura máxima de 25°C. A umidade permaneceu constante em 100%.

Figura 23: Dados do experimento 2.

Umidade: 99.90% / Temperatura: 18°C

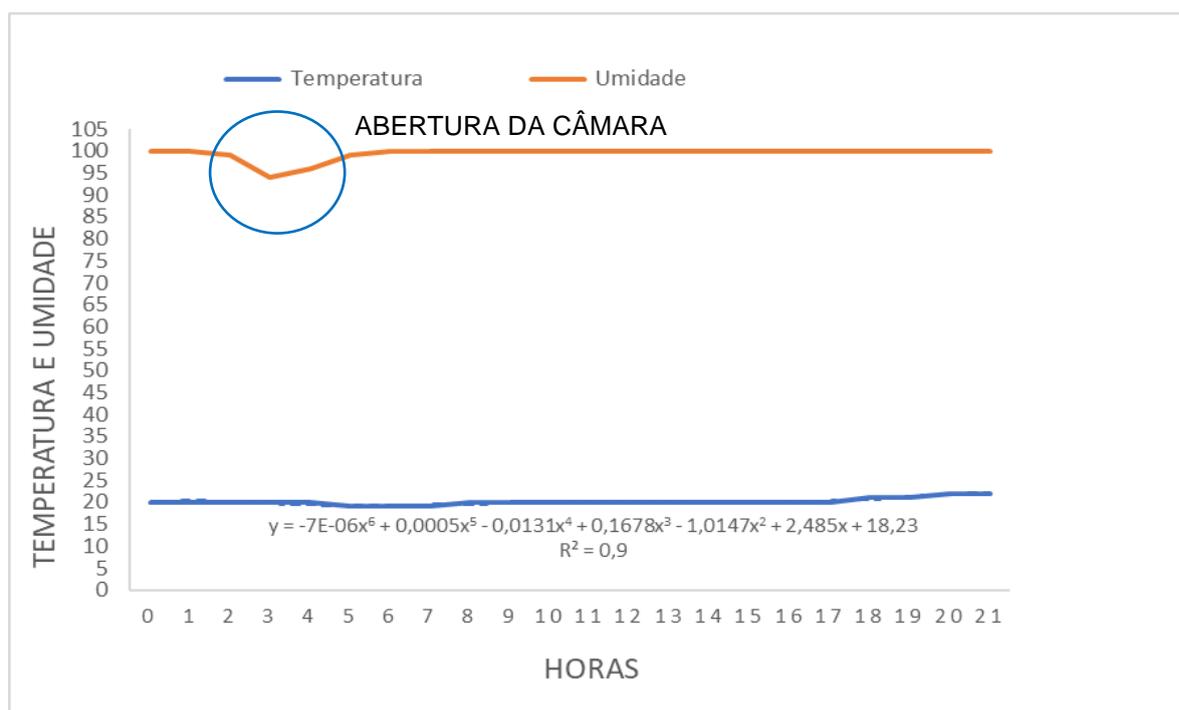
Fonte: do autor.

Neste experimento não ocorreu condensação nas superfícies do zinco que apresenta maior condutividade térmica, por consequência este corpo de prova foi descartado, já a superfície de vidro apresentou um filme de condensação.

## 4.2. EXPERIMENTO 3

Neste experimento, Figura 24, devido ao procedimento realizado ocorreu variação na umidade, diferente dos outros experimentos que manteve a umidade constante .

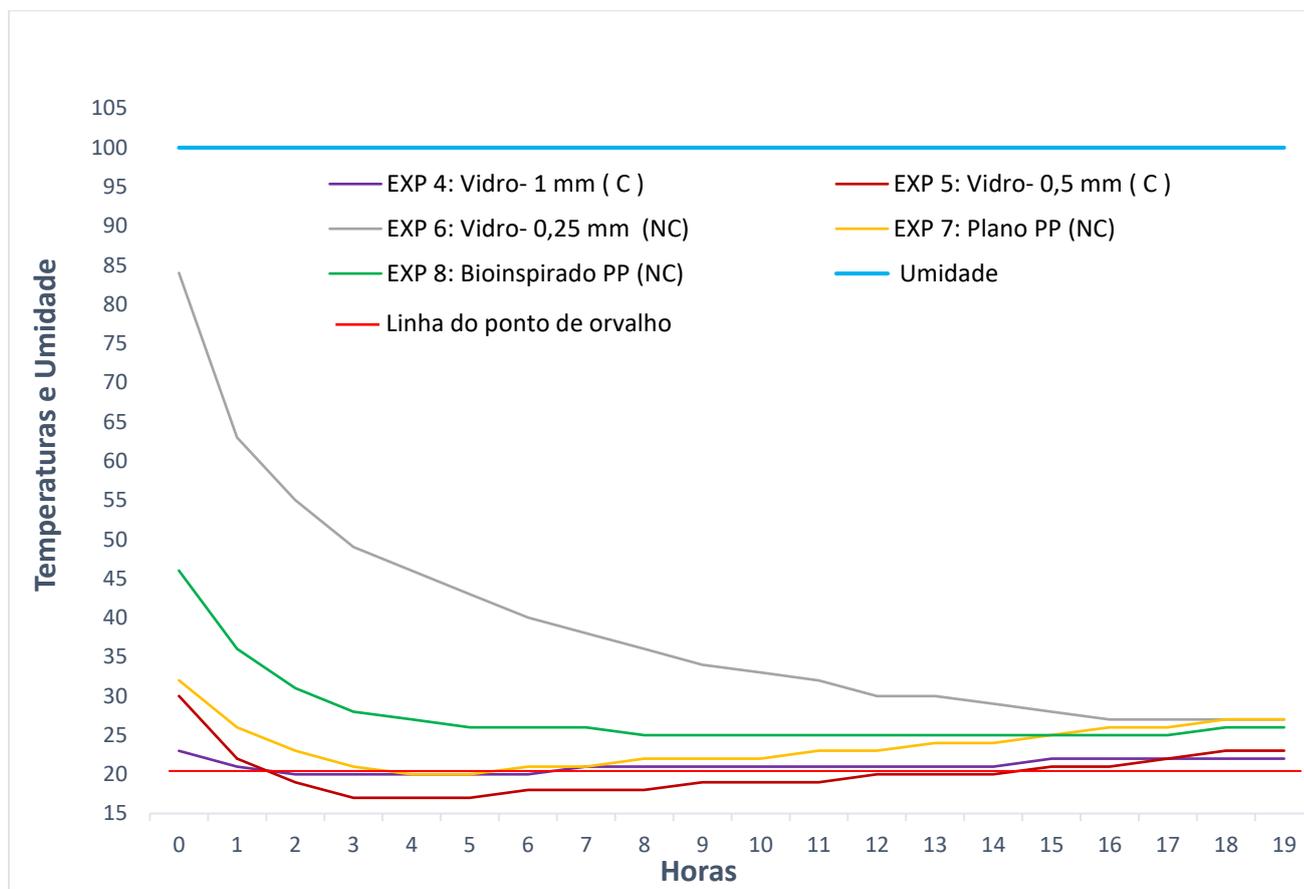
Figura 24: Experimento realizado com duas chapas de vidro.



Fonte: do Autor.

O gráfico apresenta uma temperatura com a mínima de 19° C e máxima de 22° C e apresenta uma variação de umidade de 100% para 93% decorrente da abertura da câmara de condensação (figura 24) após uma hora de ensaio para inserção da água aquecida nesta, procedimento desnecessário, pois ocasionou troca de calor da câmara de condensação com o meio externo. Após ser fechada novamente, a umidade variou de 93% a 100%. Não houve condensação neste ensaio.

Figura 25: Resultados experimentais de 4 á 8. PP(polipropileno); C(apresentou condensação); NC( não apresentou condensação).



Fonte: Do autor.

Na figura 26, são apresentadas as linhas de tendência das curvas de temperatura da figura 25.

Figura 26: Linha de Tendência das Temperaturas.

Linhas de Tendência	Y	R <sup>2</sup>
Temperatura Exper. 4	$3E-0,7 x^6 - 0,0001 x^5 + 0,0053 x^4 - 0,1079 x^3 + 1,0382 x^2 - 4,4002 x + 26,455$	0,9437
Temperatura Exper. 5	$1E-0,5 x^6 - 0,0009 x^5 + 0,0288 x^4 - 0,4629 x^3 + 3,9429 x^2 - 16,383 x + 42,713$	0,99
Temperatura Exper. 6	$5E-0,5 x^6 - 0,0035 x^5 + 0,0963 x^4 - 1,3457 x^3 + 10,07 x^2 - 40,716 x + 115,21$	0,9981
Temperatura Exper. 7	$9E-0,7 x^6 - 0,0002 x^5 + 0,0097 x^4 - 0,2097 x^3 + 2,2474 x^2 - 11,277 x + 41,228$	0,9923
Temperatura Exper. 8	$2E-0,5 x^6 - 0,0013 x^5 + 0,0391 x^4 - 0,5888 x^3 + 4,8105 x^2 - 20,52 x + 62,164$	0,998

Fonte: Do autor.

De acordo com a figura 26, na maioria das curvas o R<sup>2</sup> ( desvio entre a curva e dado real), deram resultados menores que 5% de desvio.

### 4.3. EXPERIMENTO 4

O gráfico da figura 25, apresenta uma temperatura mínima de 19° C e temperatura máxima de 23° e umidade constante de 100%. Este experimento apresentou uma película de condensação. A água ficou na temperatura ambiente durante as primeiras três horas do experimento neste período de duração do tempo foi acrescentado a fonte de energia á quente o que provocou ebulição no volume da câmara, a partir da terceira hora até a oitava hora a câmara se manteve entre 19 e 20°C, apresentado-se nesta temperatura com o tempo de duração de 5 horas.

### 4.4. EXPERIMENTO 5

O gráfico, Figura 25, apresenta maior variação de temperatura com mínima de 17° e temperatura máxima de 25° C em relação aos gráficos do experimento 3 e 4 com umidade constante de 100%. Este experimento, assim como o experimento 4, apresentou uma película de condensação. A água permaneceu na temperatura acima de  $T_{po}$  durante as primeiras três horas do experimento neste intervalo de duração do tempo foi acrescentado a fonte de energia á quente o que provocou ebulição no volume da câmara, a partir da terceira hora até a oitava hora a câmara se manteve entre 17 e 18° apresentam-se nesta temperatura com o tempo de duração de 5 horas. A diferença de mínima da temperatura deste experimento relacionado ao experimento 4 pode ser explicada pela temperatura externa. O experimento 4 foi realizado 01/09/2020 e a temperatura externa estava entre 23° e 28°C, já o experimento 5 foi realizado 02/09/2020 e a temperatura externa estava entre 22° e 27°C, a temperatura não precisou ser controlada pois obteve uma faixa de regime de condensação por três horas. Neste experimento ao compará-lo também com experimento 4 foi possível identificar o efeito *Mpemba* (ANEXO D), ou seja, o experimento 5 iniciou com uma maior temperatura e obteve um resfriamento mais rápido em comparação ao experimento 4 e alcançou menor temperatura 17°C, em relação aos outros experimentos.

#### 4.5. EXPERIMENTO 6

O gráfico, Figura 25, apresenta uma elevada variação de temperatura em relação aos gráficos dos experimentos 3, 4 e 5 com temperatura máxima de 84° C e temperatura mínima de 25°, devido ao ensaio ter sido submetido a uma temperatura maior que 100°C, o que ocasionou uma alta vaporização sendo este absorvido pelo isopor superior da câmara, no isopor o vapor retorna ao estado líquido gerando gotículas que caíram sobre o corpo de prova. A umidade manteve-se constante em 100%.

Neste experimento não foi possível identificar se houve ou não condensação no corpo de prova.

#### 4.6. EXPERIMENTO 7

O gráfico, Figura 25, apresenta temperatura mínima de 20°C e temperatura máxima de 32° C e umidade constante em 100%. Diferente do corpo de prova de vidro que apresentou uma película de água, o material plástico polipropileno (PP) com superfície plana não apresentou condensação, o experimento ficou apenas uma hora e meia na faixa de 20°C o que mostrou não ser um tempo de duração satisfatória em relação ao experimento 4 e 5 que durou 5 horas numa faixa menor ou igual a 20°C e não apresentou condensação em sua superfície e também provavelmente pelo material plástico polipropileno apresentar uma menor capacidade térmica.

#### 4.7. EXPERIMENTO 8

O gráfico, Figura 25, apresentou temperatura máxima de 46°C e a mínima de 25° C e umidade constante em 100%. Este experimento ocasionou condensação na mesa de vidro e conseqüentemente condensação entre a mesa e o corpo de prova, porém assim como no experimento 7 o plástico polipropileno (PP) em sua superfície não ocorreu presença de condensação.

#### 4.8. PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO DA CÂMARA DE CONDENSAÇÃO:

Para utilização da câmara de condensação deve-se por fim seguir o procedimento, adquirido a partir da avaliação do comportamento das curvas mostradas na Figura 25. Citados a seguir:

- Tamanho máximo da amostra a ser ensaiada: 5 cm de diâmetro (Limitado pela abertura da câmara).

- 1) Acrescentar 800 ml de água e 960 cm<sup>3</sup> de gelo no recipiente externo da câmara (Item 1);
- 2) Inserir o corpo de prova seco dentro do recipiente interno da câmara;
- 3) Certificar-se que o sensor DHT22 na câmara (recipiente interno) esteja disponível para medição da temperatura e humidade. Avaliar saída no terminal do arduíno;
- 4) Posteriormente acrescentou-se 100 ml de água que foi aquecido a 100° C por meio de um ebulidor (1 min);
- 5) Fechar câmara com a tampa de isopor;
- 6) Aguardar 3 horas (180 min) para que a temperatura esteja entre 17 e 20°C (*T<sub>po</sub>*);
- 7) A temperatura de ponto de orvalho (*T<sub>po</sub>*=20°C) para UR=100% estará disponível na câmara no intervalo de 180 min a 360 min após o fechamento da câmara;
- 8) Se a temperatura do ar da câmara for aumentada até cerca de 42°C antes do fechamento a queda de temperatura será mais pronunciada, ver Figura 25, Experimento 5;
- 9) Não abrir a câmara durante o experimento pois pode acarretar na perda de 7% de umidade em 10 segundos com tempo de retorno para umidade relativa de 100% somente após 60 min;
- 10) A temperatura da câmara se igualará a temperatura externa após 17 horas, se a temperatura do ambiente não exceder 27°C;
- 11) Proceder com a retirada do corpo de prova após 5 horas de fechamento para avaliação de condensação;
- 12) Drenar as câmaras de água após retirada dos corpos de prova e antes do início de novo ensaio;
- 13) Coletar os dados gravados em planilha no cartão SD.

## 5. CONCLUSÕES

A biomimética se apresenta como uma metodologia de utilização das analogias funcionais das plantas e animais na construção de produtos e sistemas, porém, é necessário um aprofundamento científico por meio de realizações dos experimentos com o objetivo de ter uma base sólida que apresentem conhecimento mensurável e replicável.

Com a construção da câmara simplificada de condensação, contendo uma temperatura entre 17°C e 20 ° C e 8 Litros, foram realizados os experimentos que evidenciaram condensação de água sobre a superfície com a característica laminar.

Nos materiais que houve condensação, foi visto apenas condensação por uma película líquida contínua em vidro, os corpos de prova feitos de polipropileno (PP) e a chapa com material de zinco não apresentaram condensação superficial.

A chapa de zinco utilizada nos experimentos 1 e 2, não apresentou fenômeno de condensação em sua superfície, provavelmente pelo material apresentar maior condutividade térmica, por consequência foi descartado.

As chapas de vidro foram as que mostraram melhor eficácia e apresentaram condensação nas suas superfícies de acordo com análises dos experimentos 2, 4 e 5 , apresentando entre 180 minutos e 360 minutos temperaturas iguais ou menores que 20°C ( $T_{po}$  a UR de 100%) , garantindo a ocorrência de condensação. Este material possui uma menor condutividade térmica em relação a chapa de zinco.

O material plástico polipropileno (PP), utilizado nos experimentos 7 e 8 não apresentou o fenômeno de condensação provavelmente pelo experimento não apresentar uma temperatura igual ou menor que 20°C durante o tempo de duração 180 minutos e 360 minutos e o material plástico polipropileno apresentar uma menor capacidade térmica, mesmo utilizando um formato de corpo de prova bio inspirado, sendo necessários mais ensaios para conclusão.

O experimento 5 que de início teve temperatura de 30 °C apresentando 7° a mais em relação ao experimento 4 que no início apresentou 23°C, obteve um resfriamento mais rápido, sendo este fenômeno conhecido como efeito mpemba.

Ao iniciar cada experimento é de grande importância manter a câmara fechada, para que não ocorra perda de umidade e esta permaneça em 100%, evitando assim troca de calor do meio interno com o externo. A temperatura da câmara após 17 horas

de duração do experimento vai ser igual a temperatura externa, se a temperatura ambiente não exceder 27°C.

O trabalho conclui seu principal objetivo que foi a construção da câmara de condensação funcional com procedimento funcional para estudos da capacidade das superfícies por meio da condensação de água presente no volume da câmara, assim posteriormente com realização de novos testes, estes resultados poderão evidenciar aspectos importantes para análise de outras superfícies com capacidade condensante.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser listadas algumas propostas:

1. Recobrir os corpos de prova com outros materiais que têm probabilidade de condensação superficial, sugere-se vidro aliado a forma biomimética pretendida;
2. Realizar testes com outros formatos biomiméticos;
3. Modificar a câmara com o objetivo de proceder com controle ativo da temperatura e umidade;
4. Modificar a câmara para drenagem automática entre os ciclos;
5. Estudar a transferência de calor da câmara a partir dos gráficos obtidos na Figura 25;
6. Instrumentar a câmara externa e a temperatura da superfície do corpo de prova, sugere-se pirômetro ótico no segundo caso;
7. Proceder com pesagem da película de condensação através de balança de precisão;
8. Inserir “contaminante” na câmara com o objetivo de gerar formador de gotas e maximizar a condensação ou estudar fenômenos como a precipitação de água;
9. Utilizar a câmara para ensaiar respostas de evapotranspiração de organismos vivos como plantas.

## 7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Felipe Cardim de. **Estudo via CFD de um sistema de condensação de vapor do ar atmosférico por efeito Peltier**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos: NBR 15.527**. Rio de Janeiro. 2007.

AUTOMOTIVA, TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA; DOS SANTOS, ANDRÉ ORÁCIO ARAUJO; LUCCAS, EDUARDO ANTÔNIO RAGA. **SISTEMA DETECTOR DE EMBAÇAMENTO**.2017.

BAR-COHEN, Yoseph. **Biomimetics, Biologically Inspired Technologies**. Califórnia: Taylor Francis, 2006.

BENYUS, Janine M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza**. Editora Cultrix, 2003.

BOAVENTURA, Daniel Bello. **AUTOMAÇÃO COM OPENHAB DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO HÍBRIDA VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. Universidade de Brasília, 2016.

BOLTON, David. The computation of equivalent potential temperature. **Monthly weather review**, v. 108, n. 7, p. 1046-1053, 1980.

BRITO, Débora, **A água no Brasil: da abundância à escassez**, 2018, Disponível em:<<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/agua-no-brasil-da-abundancia-escassez>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2021.

BRITO, LT de L. et al. **Tecnologias para o aumento da oferta de água no Semiárido brasileiro**. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

COSTA, Juliana Cavalcanti Timotheo da. **O desenho, a biomimetica e a produção de cor estrutural no caso da família Lepidopteran com o foco na borboleta Morpho didius**. 2019. Tese de Doutorado.

CZUBINSKI, Fernando Freitas et al. **Condensação em superfícies expostas a fluxo de vapor de água ascendente na presença de gases não condensáveis**. 2012.

DE AQUINO, Lucas Motta. **ESTUDO DE MEIOS DE OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL A PARTIR DA CONDENSAÇÃO DA UMIDADE DO AR**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE BRITO DIAS, Rafael. **Tecnologias sociais e políticas públicas: lições de experiências internacionais ligadas à água**. Inclusão Social, v. 4, n. 2, 2011.

DE FREITAS, Theska Laila; DE ARRUDA, Amilton José Vieira. **Novas estratégias da biomimética: as analogias no biodesign e na bioarquitetura**. MIX Sustentável, 2018, 4.1: 73-82.

FERREIRA, Carlos Gonçalves Félix. **Perguntar à natureza-Biomimicry thinking: o biodesign como solução para a escassez de água**. Diss. 2017.

GIROTTO JÚNIOR, Gildo; DOMINGOS, Fernando; BAGDONAS, Alexandre. **Efeito Mpemba: desafios para o ensino de termodinâmica a partir de problemas abertos**. Enseñanza de las ciencias, n. Extra, p. 2651-2656, 2017.

GOSS, G. et al. **Transferência de calor e queda de pressão durante a condensação convectiva do r-134a em microcanais paralelos**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Dissertação de Mestrado, 2011.

JOHN, Liana. **Escamas de lagarto inspiram biocultivador para apartamentos**, 2017, Disponível em: < <https://conexaoplaneta.com.br/blog/escamas-de-lagarto-inspiram-biocultivador-para-apartamentos/>>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.

LIMA, Danielle dos Santos de et al. **Condensação convectiva do n-pentano em minicanais paralelos**. 2017.

LOPES, Cintia Abdelnur et al. **Sistema especialista protótipo para apoio a ensaios de condicionadores de ar domésticos**. 2008.

OESTREICH, Juliano Luís et al. **Estudo da condensação em convecção natural de superfícies híbridas (superhidrofóbicas e hidrofílicas)**. 2017.

MARIN, Fábio. **Umidade do ar**. 2017.

MARTINS, Rui Alberto Linheiro. **Biomimética no projecto de estruturas espaciais**. 2012. PhD Thesis. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

MELO, W. O. et al. **Biomimética no semiárido: análise dos princípios funcionais das plantas xerófilas para aplicação conceitual no design de sistema de armazenamento de água**. 2019.

PAROSCIENTIFIC. **MET4 and MET4A calculation of dew point**. 2007.

RIGOTTI, Pedro Antonio Cardias. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistema de condicionadores de ar**. 2015.

SCHUCH, Amanda, et al. **Biomimetizando cores em tecidos de poliéster**. 2019.

SILVA, Bruno Miguel Machado da. **Perspectiva biomimética do ninho da andorinha-dos-beirais**. 2009. Dissertação de Mestrado.

SHUBO, Tatsuo. **Sustentabilidade do abastecimento e da qualidade da água**

**Potável urbana.** Escola Nacional de Saúde Pública. Fund. Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

SOARES, Theska; ARRUDA, Amilton José. **ECOMATERIAIS BIOMIMÉTICOS, UM CAMINHO EFICIENTE PARA A SUSTENTABILIDADE.** MIX Sustentável, v. 3, n. 4, p. 29-45, 2017.

SOARES, Theska Laila de Freitas. **A biomimética e a geodésica de Buckminster Fuller: uma estratégia de biodesign.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Sonntag D.: **Important New Values of the Physical Constants of 1986, Vapour Pressure Formulations based on the IST-90 and Psychrometer Formulae; Z.** Meteorol., 70 (5), pp. 340-344, 1990.

STEWART, Lea, **Beetle-Inspired Bottle Harvests Drinking Water From Thin Air,** 2010, Disponível em: < <https://inhabitat.com/beetle-inspired-bottle-harvests-drinking-water-from-thin-air/>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

Switzerland, Biomimicry, **BIOMIMICRY THINKING,** 2017, Disponível em: < <https://biomimicryswitzerland.org/biomimicry-thinking>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

THERMAL-FLUIDS CENTRAL. **Basics of Condensation.** Disponível em:<<https://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Basicsofcondensation>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

ZANETTE, Guilherme Piazza et al. **Condensação convectiva no interior de um perfil de alumínio tipo MPE contendo oito microcanais paralelos.** 2015.

## 8. APÊNDICES

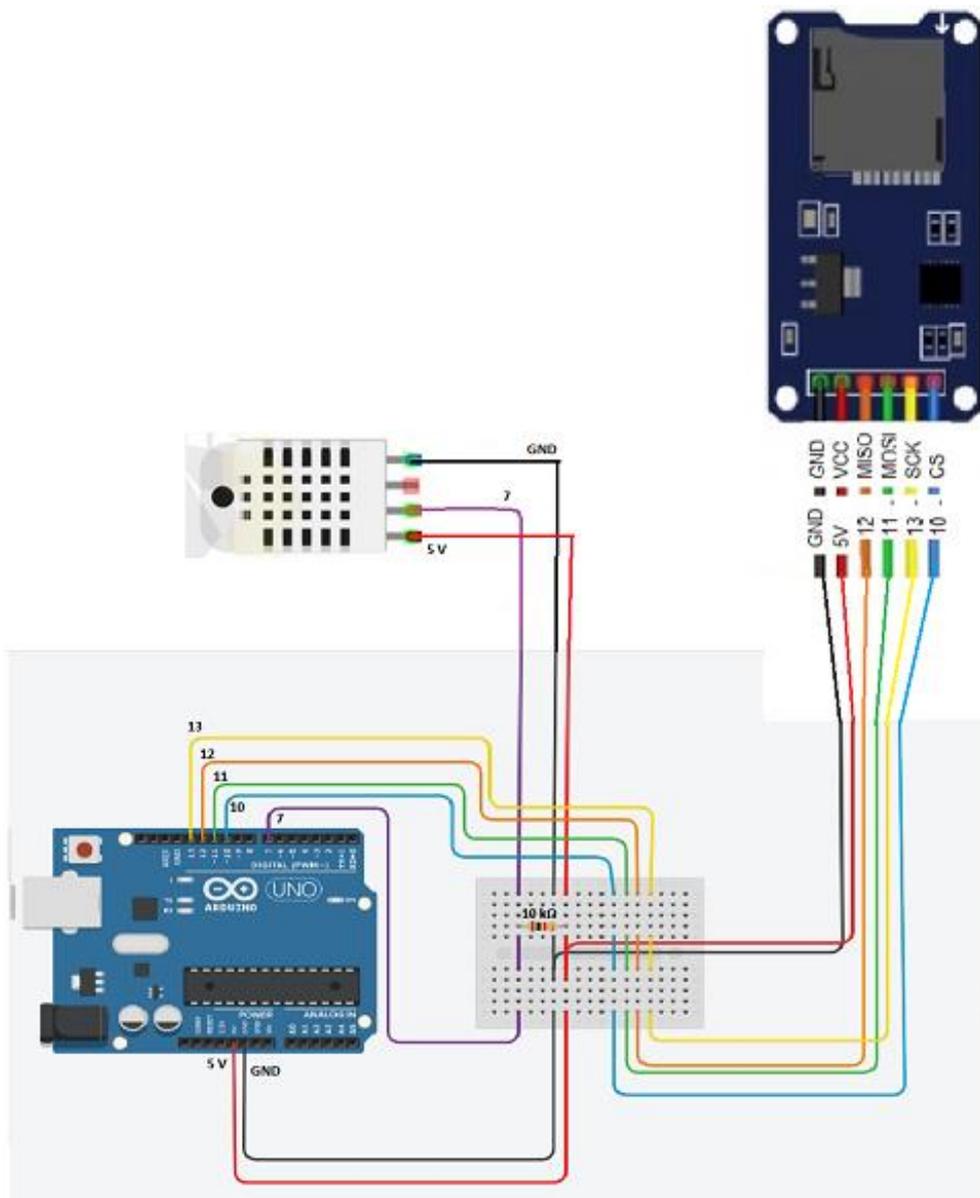
### APENDICE A - CÓDIGO .INO

```

#include<DHT.h>      // Biblioteca Adafruit para sensor de temperatura DHT22
#include <SPI.h>     // Biblioteca de comunicação SPI Nativa
#include <SD.h>      // Biblioteca de comunicação com cartão SD Nativa
#define DHTPIN 7    // Define para o pino D3 do nodeMCU -> D3
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 que será utilizado para comunicação
const int chipSelect = 10; // Constante que indica em qual pino está conectado o Chip Select do módulo de comunicação
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Objeto responsável pela comunicação microcontrolador/sensor
File dataFile;      // Objeto responsável por escrever/Ler do cartão SD
bool cartaoOk = true;
long day = 86400000; // 86400000 milliseconds in a day
long hour = 3600000; // 3600000 milliseconds in an hour
long minute = 60000; // 60000 milliseconds in a minute
long second = 1000; // 1000 milliseconds in a second
void setup()
{ Serial.begin(9600); // Inicialização da porta de comunicação Serial
  dht.begin();
  delay(2000);
  // Inicialização do objeto de comunicação com sensor
  // Se não for possível se comunicar com o cartão SD o código não deve prosseguir
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Erro na leitura do arquivo não existe um cartão SD ou o módulo está conectado corretamente ?");
    cartaoOk = false;
    return; } }
void loop()
{ time();
  // Caso o cartão esteja ok é criado um arquivo no cartão SD com o nome datalog.csv em modo de escrita
  if (cartaoOk){
    dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
    // Serial.println("Cartão SD Inicializado para escrita :D "); }
  //Limpendo Variáveis
  String leitura = ""; // Limpo campo contendo string que será armazenada em arquivo CSV
  float temperatura = 0; // Limpo variável de temperatura a cada nova leitura
  float umidade = 0; // Limpo variável de umidade a cada nova leitura
  //Leitura do sensor
  temperatura = dht.readTemperature(), 0; // Função que realiza a leitura da temperatura do sensor dht22
  umidade = dht.readHumidity(); // Função que realiza a leitura da umidade do sensor dht22
  // Caso os valores lidos do sensor não sejam válidos executamos as seguintes linhas
  if (isnan(temperatura) || isnan(umidade)){
    Serial.println ("Falha na leitura do sensor"); // Informar ao usuário que houve uma falha na leitura do sensor
    delay(60000); // Aguardamos 1 min
    return ; // Retornamos a função para o seu ponto inicial }
  // Se tudo estiver ok, escrevemos os dados a serem armazenados em uma String
  leitura = String(millis())+ " ; " + String(temperatura)+ " ; " + String(umidade) + " %;";
  // Se o arquivo estiver realmente aberto para leitura executamos as seguintes linhas de código
  if (dataFile) { Serial.println(leitura); // Mostramos no monitor a linha que será escrita
    dataFile.println(leitura); // Escrevemos no arquivos e pulamos uma linha
    dataFile.close(); // Fechamos o arquivo }
  delay(60000); // Aguardamos 2 segundos para executar o loop novamente }
void time(){
long timeNow = millis();
int days = timeNow / day ; //number of days
int hours = (timeNow % day) / hour; //the remainder from days division (in milliseconds) divided by hours, this gives
the full hours
int minutes = ((timeNow % day) % hour) / minute ; //and so on...
int seconds = (((timeNow % day) % hour) % minute) / second;
// digital clock display of current time
Serial.print(days,DEC);
printDigits(hours);
printDigits(minutes);
printDigits(seconds);
Serial.println();
}
void printDigits(byte digits){
// utility function for digital clock display: prints colon and leading 0
Serial.print(":");
if(digits < 10)
  Serial.print('0');
Serial.print(digits,DEC);
}

```

## APÊNDICE B - CIRCUITO ARDUINO.



## APÊNDICE C– Tabela com os dados do Gráfico da Figura 25.

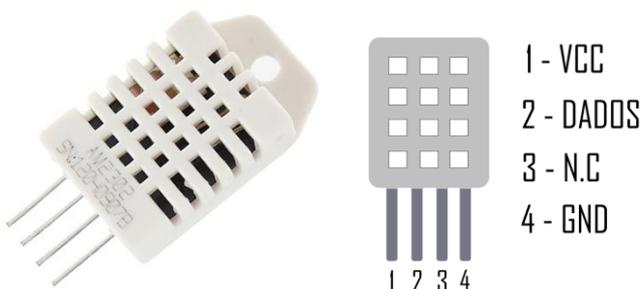
Horas	Temperatura exper. 4	Temperatura exper. 5	Temperatura exper. 6	Temperatura exper. 7	Temperatura exper. 8	Umidade
0	23	30	84	32	46	100
1	21	22	63	26	36	100
2	20	19	55	23	31	100
3	20	17	49	21	28	100
4	20	17	46	20	27	100
5	20	17	43	20	26	100
6	20	18	40	21	26	100
7	21	18	38	21	26	100
8	21	18	36	22	25	100
9	21	19	34	22	25	100
10	21	19	33	22	25	100
11	21	19	32	23	25	100
12	21	20	30	23	25	100
13	21	20	30	24	25	100
14	21	20	29	24	25	100
15	22	21	28	25	25	100
16	22	21	27	26	25	100
17	22	22	27	26	25	100
18	22	23	27	27	26	100
19	22	23	27	27	26	100

Dados completos de cada experimento em:

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1VftOMTEMzNFnLh5wAkkkzCNOIxtsGNmV>

## 8. ANEXOS

### ANEXO A – SENSOR DHT22



O DHT22 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%. É muito fácil de usar com Arduino, Raspberry Pi e outros microcontroladores, pois possui apenas 1 pino com saída digital.

Este sensor AM2302 é compatível com os modelos DHT22/AM2303 e é formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar ao redor, enviando no pino de dados um sinal digital (não é necessário pinos analógicos aqui).

#### Especificações:

- Modelo: AM2302 ([https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_DHT22\\_AM2302.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf))
- Tensão de operação: 3-5VDC (5,5VDC máximo)
- Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR
- Faixa de medição de temperatura: -40° a +80°C
- Corrente: 2,5mA max durante uso, em stand by de 100uA a 150 uA
- Precisão de umidade de medição:  $\pm 2,0\%$  UR
- Precisão de medição de temperatura:  $\pm 0,5$  °C
- Resolução: 0,1
- Tempo de resposta: 2s
- Dimensões: 25 x 15 7mm (sem terminais)

## ANEXO B – CALCULO E DESENHO PARA CRIAÇÃO DO CORPO DE PROVA DA BIOMIMETICA.

### Definição corpos de prova de biomimetica

#### A) Curva aproximada

x	y	y2
0	2	2,00
0,25	1,95	1,89
0,5	1,75	1,46
0,75	1,15	0,70
0,8	0,9	0,51
0,9	0,2	0,09

$$ax^2+bx+c=0$$

$$c= 2$$

$$x1= 0,92$$

$$ax^2+bx+2=0$$

$$a= -2,6$$

$$x1=0,92$$

$$c/a= -0,76923$$

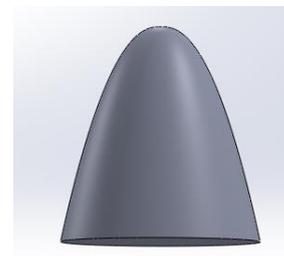
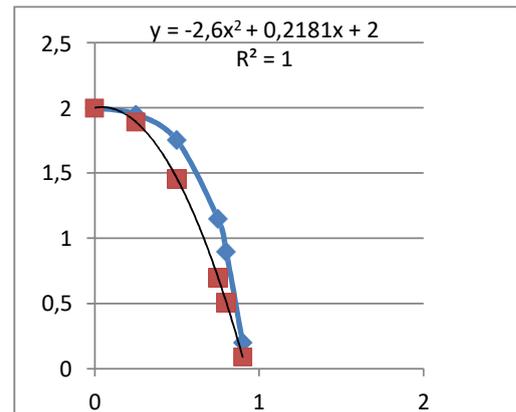
$$x2=$$

$$x2= -0,83612$$

$$x1+x2=-b/a$$

$$b= 0,218087$$

$$x1.x2=c/a$$



#### B) Areas dos corpos de prova

$$f(x) = -2,6 \cdot x^2 + 0,218 \cdot x + 2$$

$$f'(x) = -5,2 \cdot x + 0,218$$

#### C) Parabolóide de revolução (solumaths.com)

$$S8 = 2\pi \cdot \int_{x1}^{x2} (f(x) \cdot \sqrt{1 + f'(x)^2}) \cdot dx$$

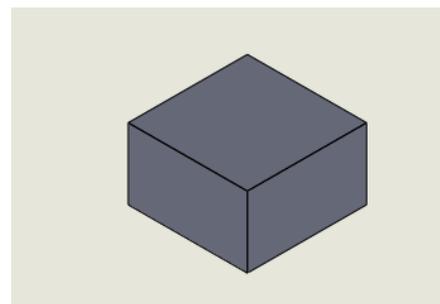
$$S8 = 2\pi \cdot \int_0^{0,92} (-2,6 \cdot x^2 + 0,218 \cdot x + 2 \cdot \sqrt{1 + (-5,2 \cdot x + 0,218)^2}) \cdot dx$$

$$S8 = 2\pi \cdot 2,31845$$

#### D) Area da superfície parabolóide S8

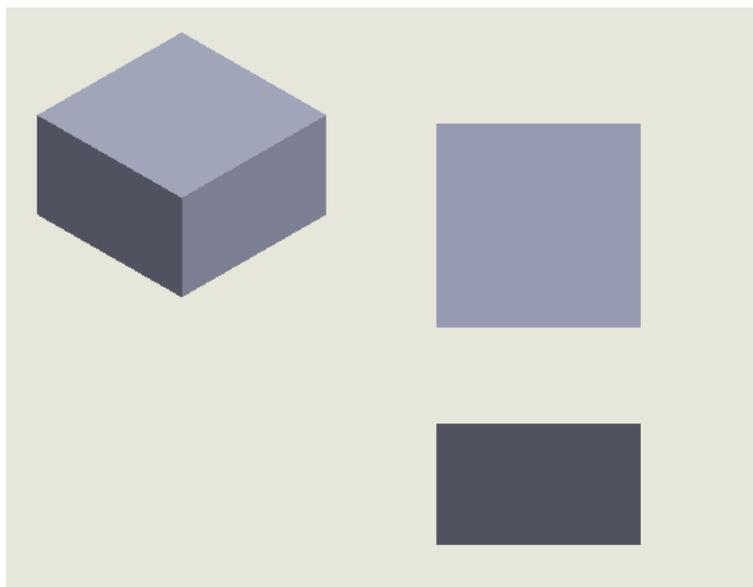
$$\text{Area Teste 8} \quad S8 = 14,55 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lado teste 7} \quad L = 3,814446 \text{ cm}$$



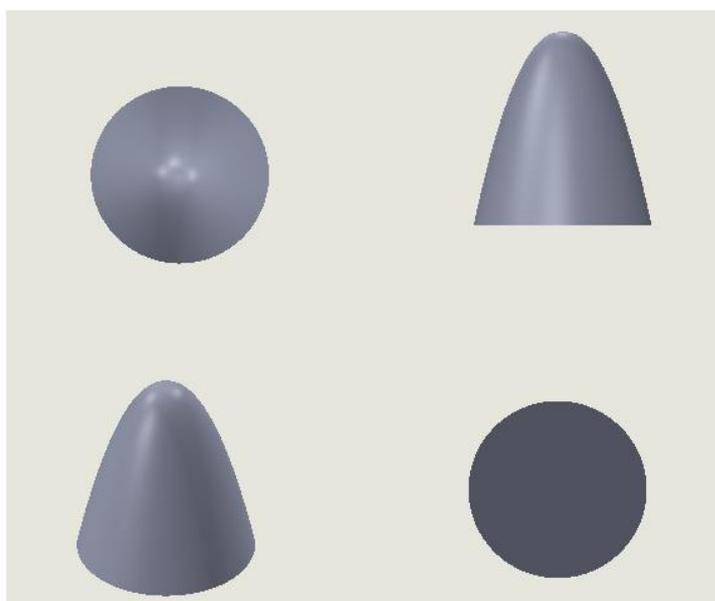
## ANEXO C – MODELAGEM DOS CORPOS DE PROVAS NO SOLIDWORKS.

**Figura 1:** Modelagem do corpo de prova do experimento 7.



Fonte: do autor.

**Figura 2:** Modelagem do corpo de prova do experimento 8.



Fonte: do autor.

## ANEXO D – EFEITO MPEMBA

De acordo com GIROTTO (2017), um estudante conhecido como Erasto Mpemba, em 1963, notou que o leite quente congela de modo mais rápido em relação ao leite morno quando posto no refrigerador. De início seu professor de física não deu importância por esse fenômeno parece contrariar a termodinâmica aplicada no ensino médio. Logo após Denis Osborne lhe ajudou em seus estudos de forma mais detalhada da duração de tempo de congelamentos de líquidos em diversas temperaturas iniciais, percebendo assim que seu professor de física estava errado. Descobrimo assim um fenômeno que já havia sido mencionado em estudos realizados por Aristóteles e René Descartes, porém tinha sido esquecido decorrente da teoria moderna do calor.

Os estudos realizados por Mpemba chamou atenção da comunidade científica para este fenômeno que acontece em algumas condições onde um volume de líquido pode congelar de modo mais rápido do que a mesmo volume de líquido, porém em uma temperatura menor.

Royal Society of Chemistry (RSC), em 2012 ofertou um prêmio para o cientista que apresentasse uma resposta mais coerente para o fenômeno. O vencedor do concurso da RSC, Nikola Bregović, relacionou a causa a quatro fatores: convecção induzida por gradiente de calor, super congelamento, gases dissolvidos e evaporação da água. Porém não existe um esclarecimento unânime sobre a veracidade da causa do fenômeno (GIROTTO, 2017).