

Crystal Chamber

Documentação

Versão 1.1.G

2022 - 2024

Projeto Crystal Chamber, câmara de controle termodinâmico controlada por Arduino para nucleação e crescimento de cristais a partir de soluções salinas saturadas pelo método de evaporação.

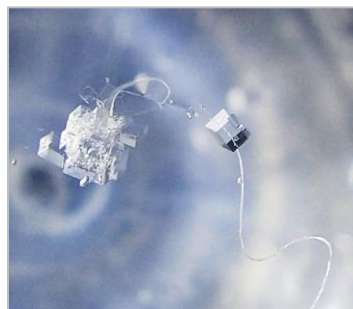
Idealizada e construída por Vinícius Coelho (Voelho)

Versão do sketch principal: Crystal Chamber G – 04/12/2024

Versão do sketch termostato: CC_E – 13/10/2024

SUMÁRIO

1. COMPONENTES	3
2. BIBLIOTECAS	3
3. PINAGEM	3
4. ALGORITMO	1
4.1. Modos de operação	1
4.2. Exposição padrão	1
4.2.1. Setup	2
4.2.2. Operação dos botões	2
4.2.3. Leitura e registro	2
4.2.4. Controle	3
4.2.5. Monitoramento	7
4.2.6. Notas operacionais	7
4.2.7. Comportamento típico	8
4.3. Ajuste do termostato	9
4.4. Operação com balança	11
5. VARIÁVEIS E PARÂMETROS	12
5.1. Operação	12
5.2. Intervalos	12
5.3. Médias Móveis	12
5.4. Parâmetros de operação	13
5.5. Acompanhamento	13
6. ESQUEMÁTICOS	14
6.1. Estrutura	14
6.2. Conexões	15
6.3. Display	16
6.4. Imagens	17



1. COMPONENTES

Item	Qtd
Arduino UNO	1
Protoboard 400 Pontos	1
Fonte 12V 10A	1
Módulo XL4015 step-down	2
Fan + Dissipador	2
Pastilha Termoelétrica 12705	1
Microservo SG90 0 - 180°	2

Item	Qtd
Sensor DHT22	3
Mini cooler 4 x 4 cm 5v 0,14A	1
Módulo Relé	3
Módulo MicroSD	1
Display OLED 128 x 64	1
Buzzer	1
Botões, cabos e resistores	-

2. BIBLIOTECAS

Operação padrão

Arduino.h		Biblioteca básica
DHT.h	1.4.6 Adafruit	Leitura dos sensores DHT
PinButton.h	Multibutton 1.2.0 Poelstra	Controle de botões
SD.h		Registro em módulo SD
SPI.h		Comunicação serial
U8x8lib.h	U8g2 - 2.34.22 Oliver	Exibição do display com baixo consumo de memória
VarSpeedServo.h	Version 2 – 2013 Philip van Allen	Controle dos servos

Alternativos

HX711.h	HX711 0.7.5 Bodgan	Interação com célula de carga, apenas no modo de operação com balança
---------	-----------------------	---

3. PINAGEM

Operação padrão

Pino	Ligação	pinMode
2	DHT 2	-
3	Fan.Ext. RPM	-
4	TEC	output
5	DHT 1	-
6	DHT 3	-
7	Buzzer	-
8	SD - CS	-
9	Servo 1	-

Pino	Ligação	pinMode
10	Fans da TEC	output
11	SD – MOSI	-
12	SD – MISO	-
13	SD – SCK	-
A0	Fan.Vent.	output
A1	BT Up	input
A2	BT Mid	input
A3	Servo 2 - Termostato	-

4. ALGORITMO

Esta seção descreve o funcionamento do algoritmo de controle na sequência de execução dos programas de forma esquemática. Maiores detalhes estão documentados no próprio Sketch.

4.1. Modos de operação

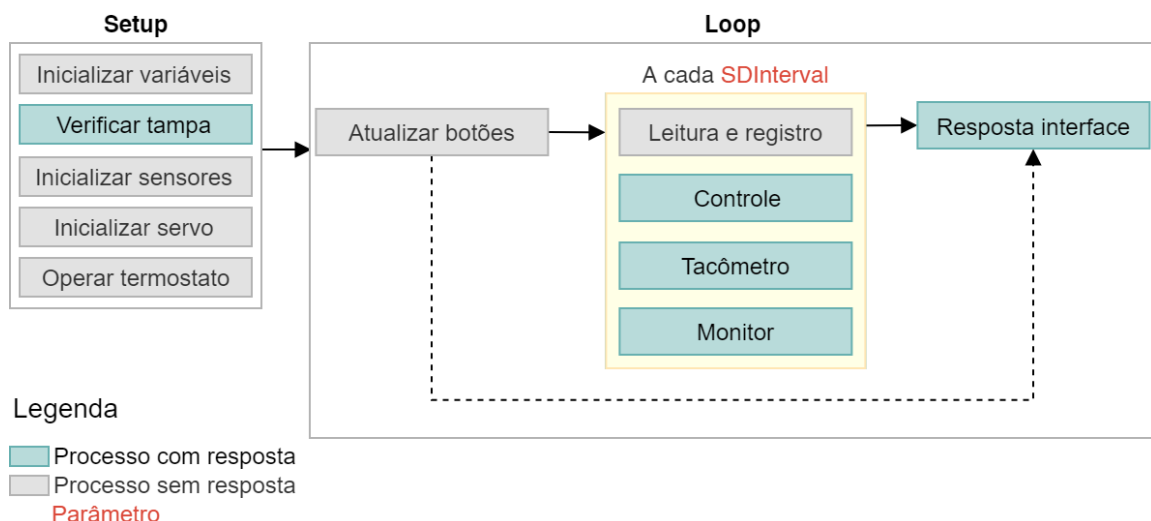
O sistema dispõe de 5 modos de operação, para diferentes condições higrótérmicas ou necessidade de ajustes.

Modo	OPE	Indicador	Descrição
Manutenção	0	MAN	Modo onde os periféricos são desligados para operação física da câmara em caso de manutenção, observação ou ajustes. Útil para acompanhamento das condições de cristalização, já que tem que se ter acesso à câmara de umidade.
Controle T	1	T:	Primeira etapa do modo de operação, ajustando a faixa de temperatura para posterior ajuste da umidade.
Controle U	2	U:	Segunda etapa do modo de operação, permite o controle da umidade por secagem, apenas se dentro da faixa de temperatura estabelecida.
Apenas temperatura	3	T_	Controla apenas a temperatura para a faixa determinada. Útil para calibração dos sensores.
Ventilação	4	—	Modo de ventilação, não liga o controle térmico nem de secagem. Útil para calibração dos sensores ou exposição da solução em temperatura próxima à ambiente.
Apenas umidade	5	_U	Controla apenas a umidade para uma faixa determinada. Tem variação em função do comportamento dos DHT's em faixas de temperatura distintas. Útil para calibração dos sensores.

4.2. Exposição padrão

O sistema opera em verificação das condições de operação a cada *SDInterval*, realizando os ajustes nos controles e verificações de segurança. A inicialização tem como premissa a autonomia da operação, para caso de interrupções ou quedas de energia, então vários processos de verificação têm prioridade de execução.

Diagrama 1 – Visão geral do algoritmo



4.2.1. Setup

O controle térmico é inicializado como desligado.

A verificação da tampa também tem como premissa a segurança da operação, garantindo que a ventoinha do dissipador quente da TEC esteja operando adequadamente para evitar sobreaquecimento. Se há leitura no tacômetro, então a caixa está fechada e a tampa externa está conectada à câmara. Os modos de operação com controle térmico requerem que a tampa esteja conectada, enquanto o modo de operação de calibração requer a tampa aberta, para evitar sobreaquecimento pela ventoinha interna da câmara de umidade.

Há movimentação do servo de controle de umidade para verificação visual de seu funcionamento, já que é crucial para o controle da umidade.

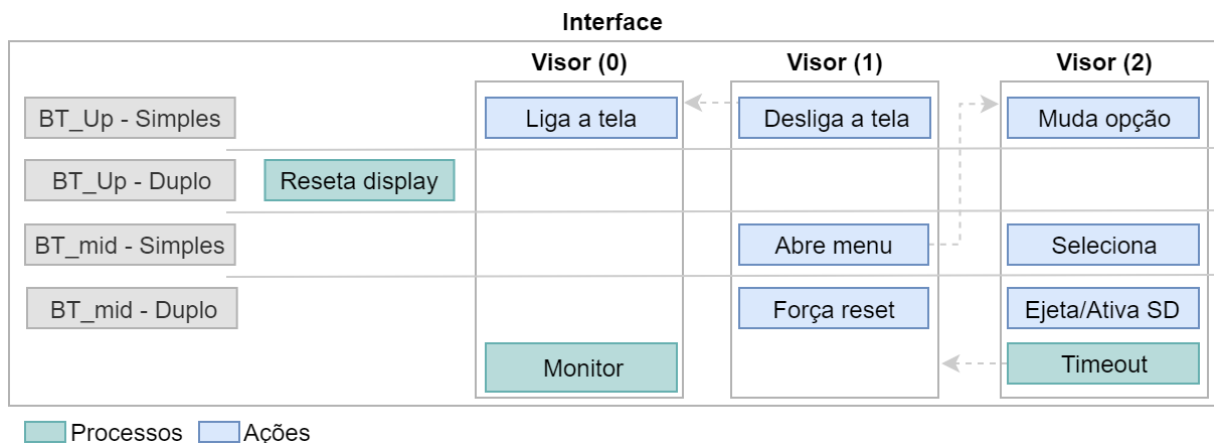
4.2.2. Operação dos botões

A interação dos botões é verificada a cada ciclo **Loop**, sendo registrada atividade a resposta dependerá do status do display (variável *Visor*). O duplo clique no *BT_Mid* durante *Visor 1* chama função *retomaOp*, para forçar um reset nas leituras e status do *Monitor*.

Duplo clique no botão *BT_Up* invoca reinicialização do visor, pois às vezes a conexão com o Arduino pode ser corrompida por mal contato nos fios ou alguma agitação nos terminais do display LCD.

Variável *intInterval* controla o período de timeout do menu, retornando à tela de acompanhamento de operação.

Diagrama 2 – Ações da interface

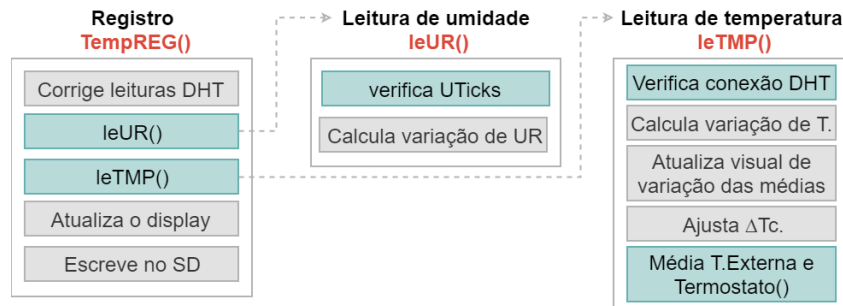


4.2.3. Leitura e registro

As leituras de temperatura e umidade são realizadas pela função *TempReg()*. Neste estágio são aplicadas as equações de calibração dos sensores DHT e se organizam os dados no display caso *Visor = 1*. Não é feita leitura ou registro no *modo de manutenção* (item 4.1)

Se o cartão SD estiver conectado (*vSD* = true), verifica-se se é o momento de fazer o registro das informações (*SDticks* = 0), se não, registra-se o salto do intervalo. O atraso evita a escrita de múltiplos dados em intervalo relativamente pequeno (todo *SDInterval*), que produz um arquivo longo e com informações desnecessárias.

Diagrama 3 – Leitura e registro



Leitura de umidade (Função **leUR**)

A leitura de umidade também é atrasada (**UTicks**) para diminuir a influência de flutuações momentâneas derivadas de pequenas variações de temperatura ou de condições operacionais no controle.

Leitura de temperatura (Função **leTMP**)

É verificado se há algum mal contato ou perda de conexão com o sensor DHT do ambiente de exposição (sinalizado ao monitor com **MoSt = 7**). Também é feita a leitura instantânea, atualização das médias móveis e do indicativo visual de variação (item 6.1).

Nesta função também é feito o ajuste do fator de correção da função do termostato. Às vezes a curva de calibração ainda não está alinhada com o regime de operação, desvios da temperatura desejada (**Talvo**) existindo possibilidade de ajuste. Neste caso, compensa-se o **DT** (diferença de temperatura entre ambiente externo e interno) com um valor **DTc** igual ao último valor de ajuste somado da diferença entre a temperatura estabilizada e **Talvo**. Este ajuste é realizado a cada **varInterval** de acordo com a condição observada (se **DTc ≤ 0** e a temperatura está aumentando; se **DTc > 0** e a temperatura está caindo ou quando a temperatura está constante), observando-se o limite do servo de controle do termostato.

Ou seja, não é feito o incremento do **DTc** para cima caso o termostato já esteja em potência máxima (180°) nem para baixo quando o termostato já se encontra com potência mínima (0°).

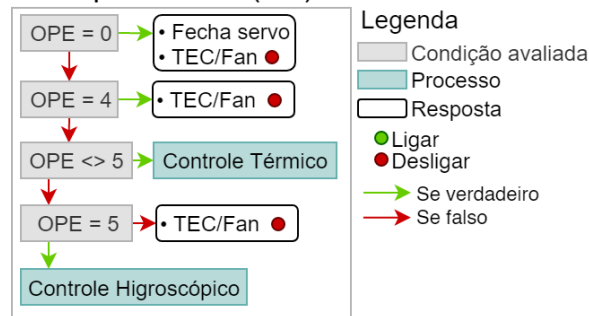
4.2.4. Controle

Operação Geral

A resposta do sistema de controle é dependente do modo de operação vigente, variável **OPE** (Item 5.1), sendo prioridade o estado de manutenção, também utilizado para interromper o controle em caso de alguma violação das condições de segurança.

As condições de segurança são verificadas pela função **Monitor()**, buscando evitar que cenários desfavoráveis à evaporação ou estabilidade do crescimento dos cristais ocorram (ex. umidade relativa muito baixa).

Diagrama 4 – Resposta ao modo de operação
Resposta ao modo (OPE)



Controle Térmico

Dada a dependência da umidade relativa em relação à temperatura, busca-se estabilizar a exposição dentro da faixa alvo antes de iniciar o controle de umidade. É utilizada como referência de acompanhamento a média móvel (T.méd), para minimizar a influência de flutuações do sensor.

Os eventos marcados no diagrama são ilustrados no gráfico dos cenários de temperatura, com os comportamentos possíveis da temperatura média. Dada a premissa de ajuste constante da temperatura, somente um erro crítico sinalizado pelo *Monitor()* irá desativar o modo de controle de umidade após ter sido ativado.

Diagrama 5 – Diagrama do controle térmico
Controle Térmico

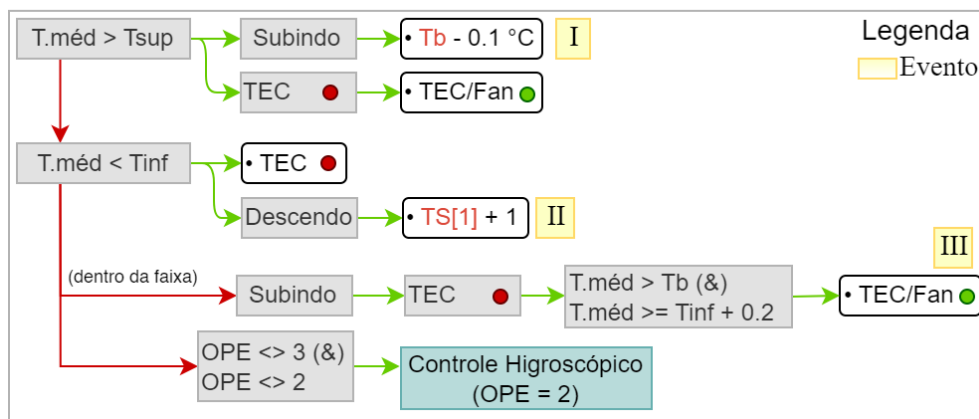
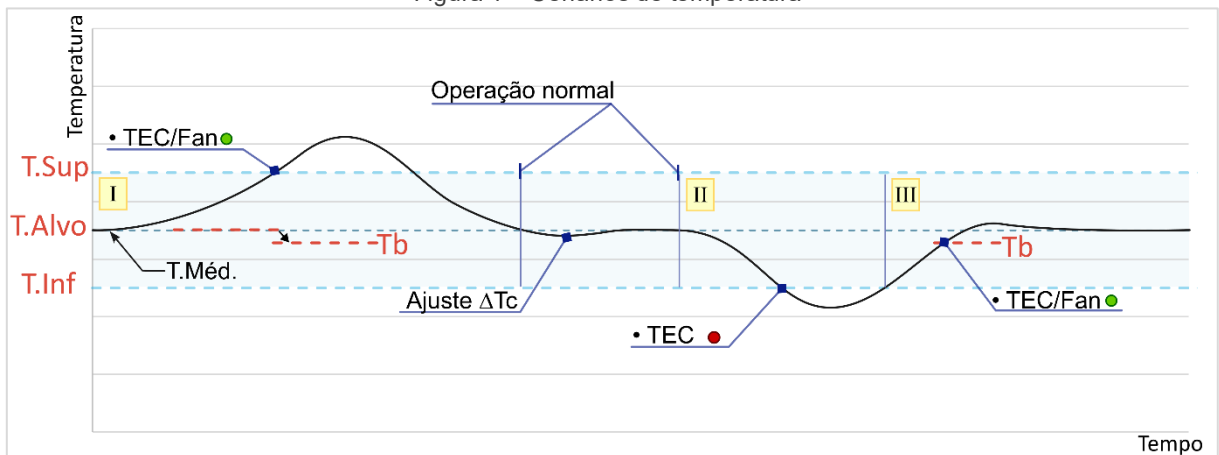


Figura 1 – Cenários de temperatura

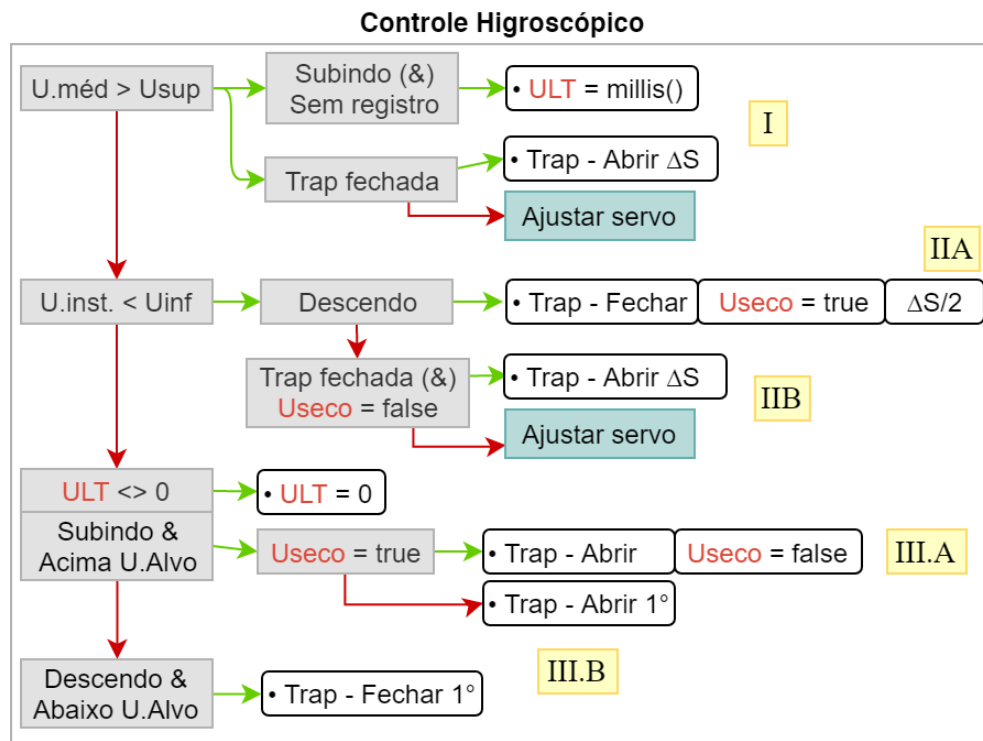


Controle Higroscópico

O regime de controle higroscópico busca ajustar a abertura do servo para aproximar a umidade relativa da câmara do valor alvo (Ualvo). O valor de equilíbrio da exposição depende da evaporação das soluções salinas e da adsorção da sílica gel. A primeira é função da área de exposição, da quantidade de solução e sua concentração, e da própria umidade relativa, enquanto a segunda depende ainda do nível de saturação da sílica, parâmetros interrelacionados e de relação complexa, dependentes ainda da temperatura. Logo, o equilíbrio é atingido de forma dinâmica, observando como uma determinada abertura da *trapdoor* modifica a umidade da câmara e ajustando-a para manter dentro dos níveis esperados.

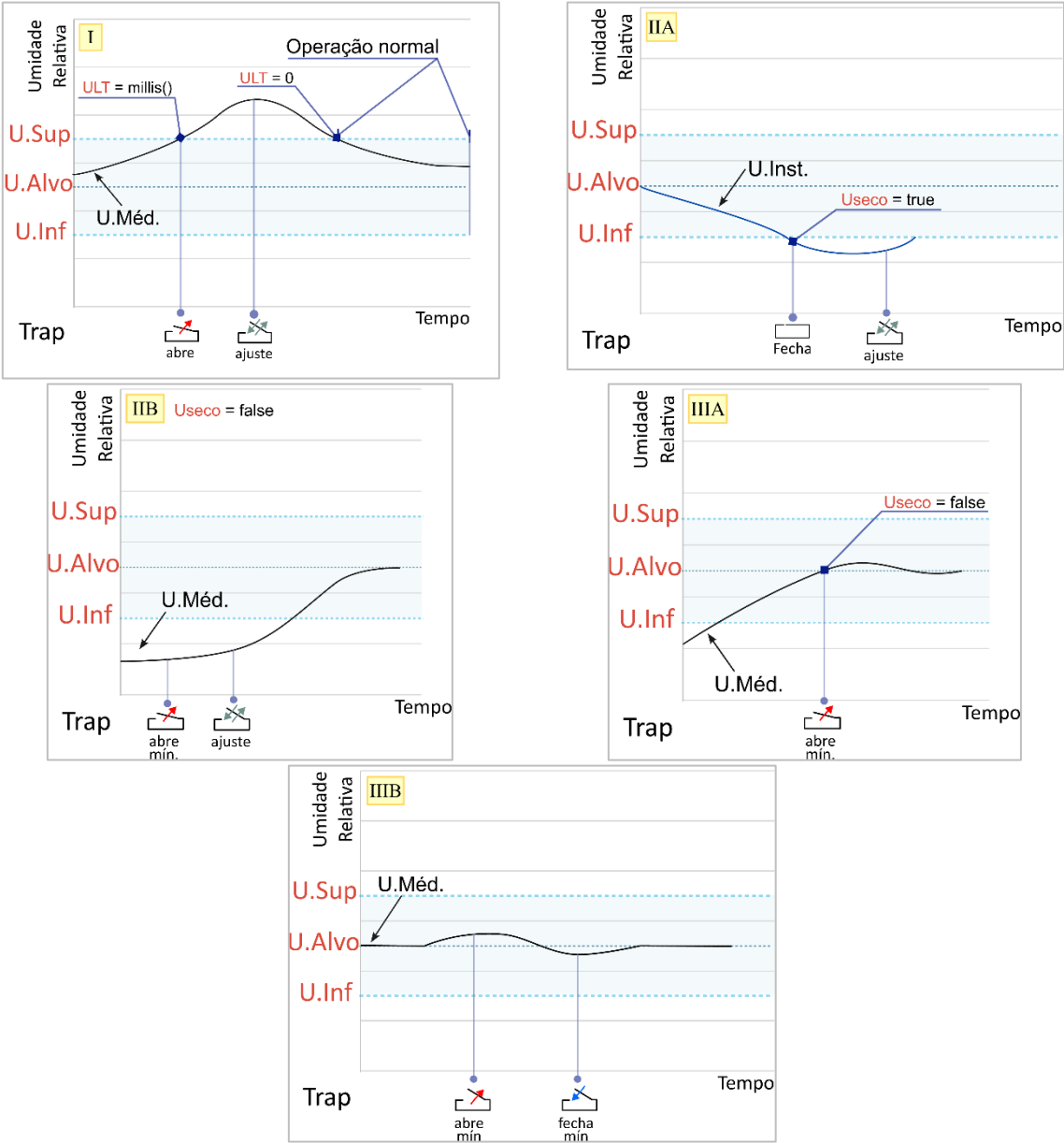
Em resumo, o controle é baseado no ajuste da intensidade de secagem. O aumento da umidade relativa ocorre apenas em função evaporação da solução, principalmente quando a *trapdoor* está em posição mínima.

Diagrama 6 – Diagrama do controle higroscópico



ΔS = variação de graus do servo

Figura 2 – Cenários de Umidade



4.2.5. Monitoramento

Verificações de segurança e estabilidade são realizadas a cada *SDInterval*, se a tela estiver ligada, e a cada ciclo da função *Loop*, se a tela estiver desligada, por meio da função *Monitor()*. As eventuais violações às situações verificadas são reportadas como erros por meio da variável *MoSt* (sigla para Monitor Status).

Se um alerta for disparado, o display é ligado e é emitido alerta pelo buzzer.

MoSt	Situação
0	Sistema em manutenção, é interrompida a realização das leituras e os componentes são desativados, possibilitando a remoção ou alteração de componentes sem corromper as leituras ou funcionamento
1	Sistema retornando de um estado de manutenção, há uma tolerância para algumas verificações relacionadas à temperatura, por exemplo a que dispara <i>MoSt = 6</i>
2	❖ Temperatura está mais elevada que a faixa operacional por mais de 4 horas. Possível situação de baixa potência de resfriamento. ❖ Caso a temperatura instantânea esteja 0,3 °C acima da Talvo, 30 min após o reset da média do termostato realizado quando esse limite foi detectado pela primeira vez.
3	Umidade acima do limite superior por mais de duas horas. Possível saturação da sílica gel a um nível que não mais adsorve o suficiente, sinalizando necessidade de substituição.
4	Mais de 4 ocorrências da temperatura média abaixo de <i>Tinf</i> . Possível situação de potência de resfriamento muito elevada.
5	RPM da fan externa menor que o limite por 1 minuto. Possível falha nas conexões ou comprometimento da ventoinha, de modo que o sistema pode sofrer sobreaquecimento ou perder eficiência. É uma situação crítica que dispara manutenção.
6	Temperatura média interna acima de 2 °C de <i>Tsup</i> e subindo. Possível falha de algum componente, situação crítica que dispara manutenção.
7	Leitura de temperatura igual a zero. Possível perda de conexão com o sensor ou falha dele. Pode disparar manutenção se associado à condição do <i>MoSt = 4</i> .

4.2.6. Notas operacionais

retomaOp

É a função que faz o reset da operação, zerando a maior parte dos parâmetros de controle. Chamada ao retornar de um estado de manutenção, para *retomada da operação*, ou durante um reset forçado pelo clique duplo no *BT_Mid*

Nos modos de operação 4 e 5 o ventilador interno só é ligado se a tampa estiver desconectada

O cartão SD faz a descarga do buffer (flush) a *SDticks* ciclos para garantir que os dados sejam escritos e não perdidos em caso de falha de energia ou outra interrupção.

A interface com o cartão só é finalizada com a função *operaSD*, responsável por finalizar e reinicializar o cartão junto ao sistema, permitindo a remoção temporária durante operação.

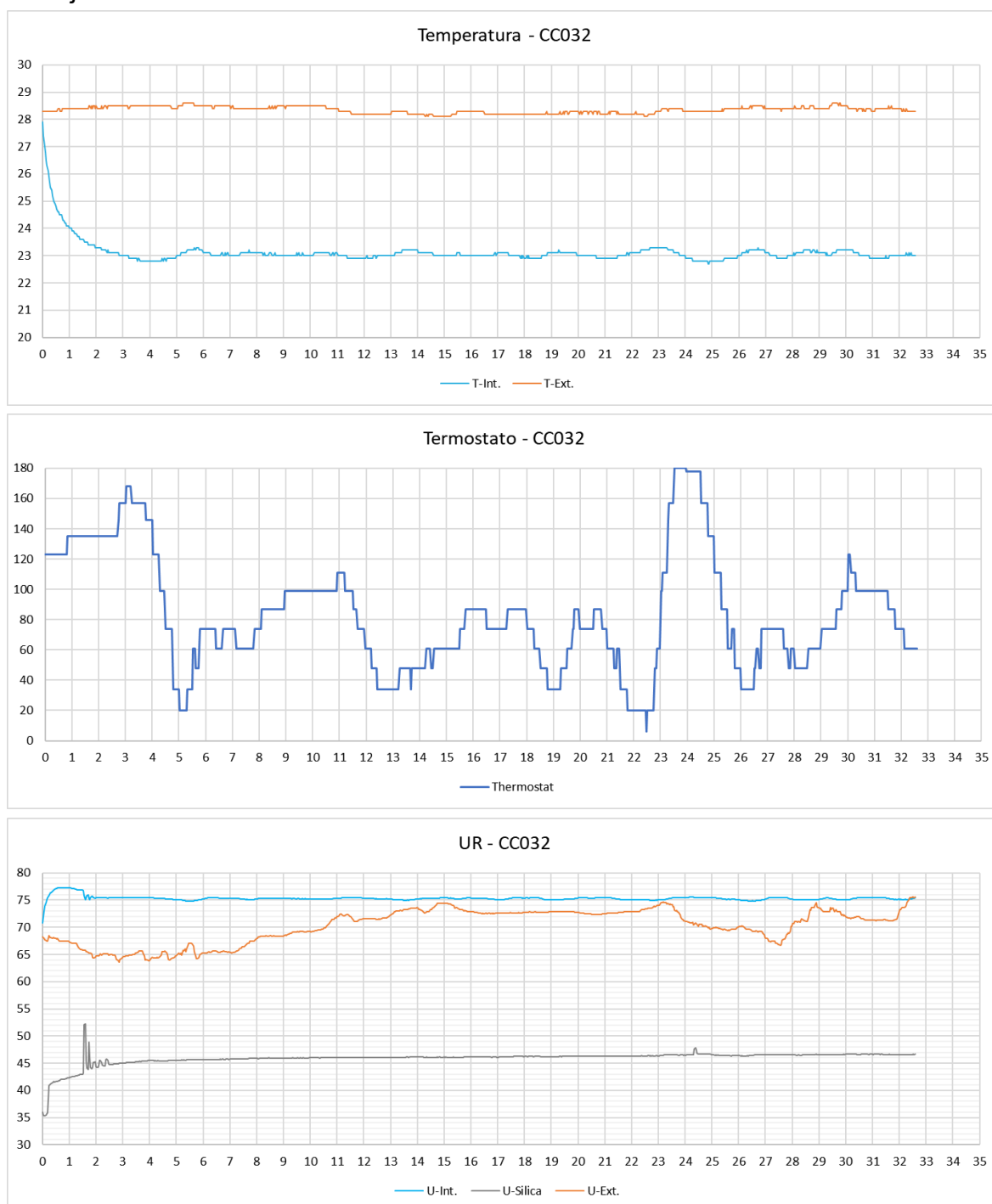
Função de ajuste do servo (*ajServo*) possui sistema de freio para evitar variações de umidade muito bruscas que podem comprometer a formação cristalina, garantindo também que a variação não seja muito baixa em momentos muito afastados da faixa alvo – o que tornaria a exposição muito demorada.

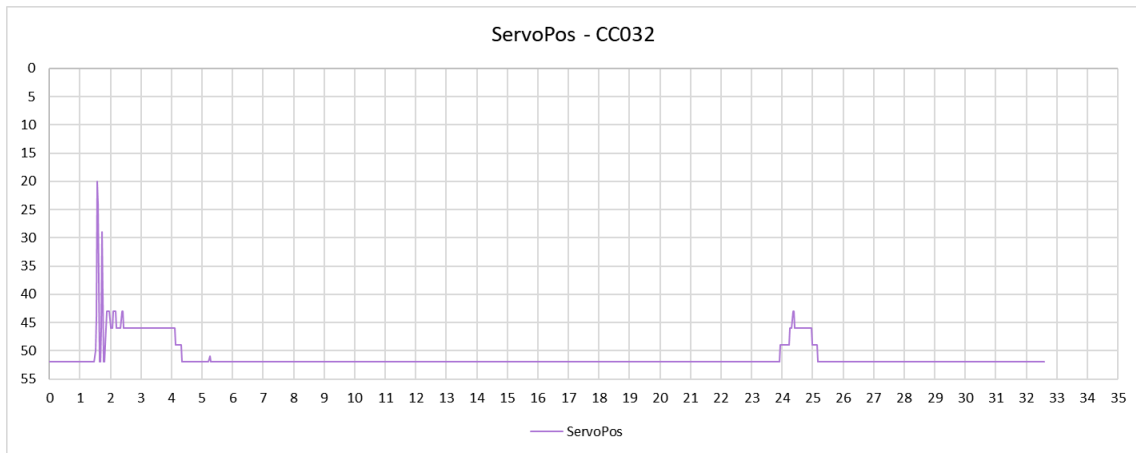
Os valores limites são relativos à distância entre a umidade média e a faixa alvo durante a última verificação registrada a cada *Uticks* ciclos. Por padrão, as faixas de controle são: Acima de 5%, entre 2% e 5% e abaixo de 2%, com as variações máximas permitidas de: 1%, 0,5% e 0,2% respectivamente.

4.2.7. Comportamento típico

Os gráficos abaixo mostram o comportamento típico das condições da câmara. A câmara foi configurada para *Talvo* de 23,0 °C e *Ualvo* de 75,4%. Após atingir o ponto de equilíbrio, a temperatura interna oscilou em $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, enquanto a umidade relativa média ficou em torno de 75,2%. É interessante observar que as variações mais expressivas ocorrem de forma suave após atingir o ponto de equilíbrio, garantindo que o ambiente de exposição não sofra choques termodinâmicos que possam comprometer a formação cristalina.

Também é representada a curva de umidade relativa do recipiente com a sílica gel, útil para determinar quando o dissecante já estiver suficientemente saturado. Com a porta fechada há mínima transferência de ar, levando ao aumento gradual da umidade. Quando aberta, a resposta é rápida, justificando a necessidade de ajuste constante da abertura.

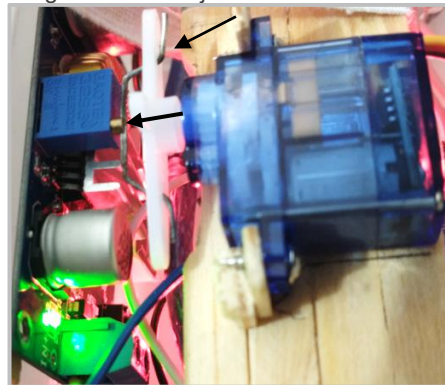




4.3. Ajuste do termostato

O controle da potência de resfriamento é realizado por um servo (*termostato*) fisicamente conectado à fonte de tensão que alimenta a TEC. O ângulo do servo determina a voltagem de saída da fonte, enquanto esta determina a potência de resfriamento que está associada a uma determinada diferença de temperatura entre o ambiente externo e a parte interna da câmara (*DT*).

Figura 3 – Arranjo físico do termostato

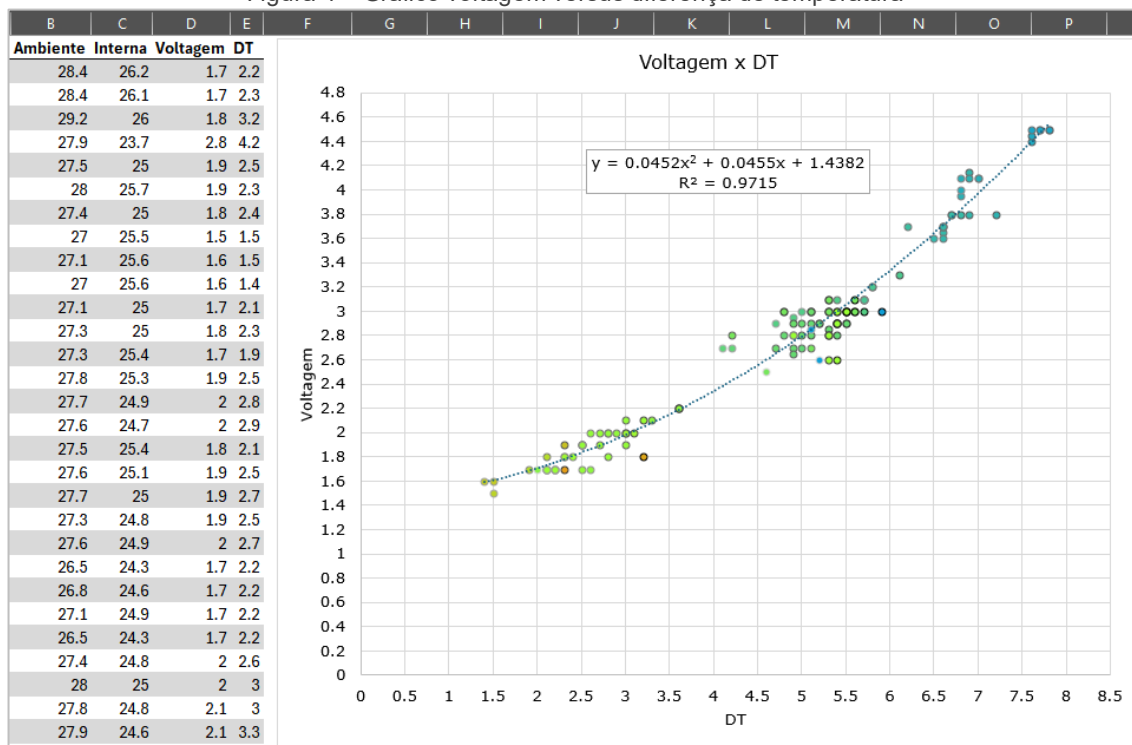


É importante observar que o arranjo físico da câmara, em especial sua capacidade de isolamento, é o principal fator associado ao desempenho térmico do sistema e à capacidade de resposta às variações da temperatura ambiente.

É necessário um período de observação e coleta de dados para relacionar o ângulo do servo com a potência da TEC e a temperatura interna de equilíbrio:

Primeiro, deve-se observar quais os valores de equilíbrio da temperatura interna de acordo com a tensão de alimentação do circuito, coletando-se a temperatura ambiente, a temperatura interna e a voltagem aplicada. Desta forma, pode-se traçar um gráfico que relaciona a voltagem com a diferença de temperatura (entre ambiente externo e interno) e obter uma curva de regressão (função *voltagem(DT)* em regressão quadrática usando o excel Figura 4.

Figura 4 – Gráfico voltagem versus diferença de temperatura



Segundo, para incorporar o controle do servo termostato, deve-se lembrar que seu posicionamento varia entre 0 e 180 °, logo, busca-se posicionar o arranjo físico da fonte de tensão na posição mais próxima possível da região de interesse em relação à diferença de temperatura externa com alguma margem para que o ajuste seja feito ao longo da variação diária.

Por exemplo, desejando-se operar a câmara com a curva apresentada na Figura 4 a 23 °C com temperatura ambiente média de 28 °C, uma diferença de 5 °C, deve-se posicionar o parafuso de regulagem próximo à posição de 2,8 V, alinhando o servo a 90° nessa posição.

Em seguida, deve-se conhecer a relação entre o ângulo do servo e a voltagem resultante. A forma mais simples de se obter este dado é variar a posição do servo, anotar os valores resultantes (ver **sketch Termostato**) e determinar a função que descreve este comportamento (Figura 5 – função *graus(voltagem)* obtida por regressão linear)

Figura 5 – Regressão linear dos dados graus x voltagem para uma configuração do termostato

Servo			Graus(voltagem) - linear	
graus	↑	voltagem	a	b
0		2.5	369.7916667	-942.60417
60		2.7		
120		2.9		
20		2.7		
80		2.7		
140		2.9		
40		2.7		
100		2.8		
160		3		
180		3		
10		2.6		

Com a aplicação da função *voltagem(DT)* na função *graus(voltagem)* se obtém a função *graus(DT)* que é inserida no Sketch na função *Termostato()*.

Figura 6 – Coeficientes da equação de controle do termostato

	a	b	c
G(DT)	-19.1	310.3	-983.4

Observações

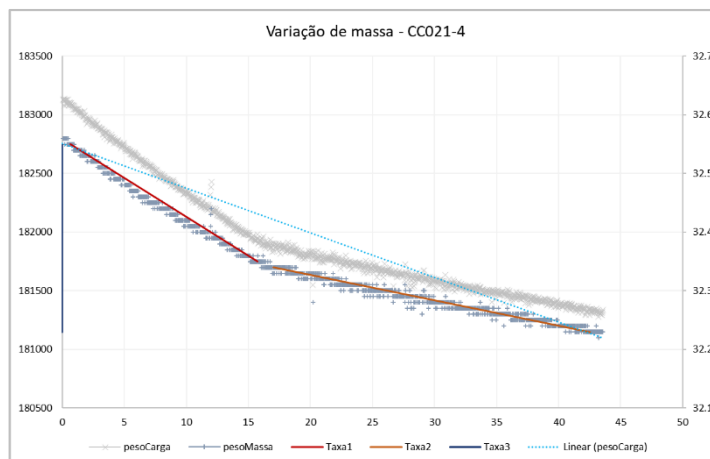
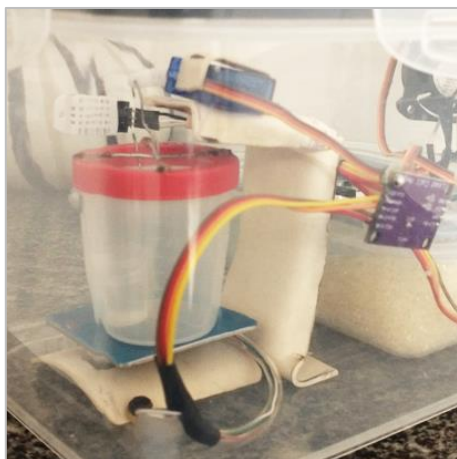
- ❖ Como a posição do termostato fica limitada ao arranjo físico, deve ser obtida uma nova curva *graus(DT)* sempre que for alterada a faixa de temperatura de operação para valores além do domínio atual ou quando houver mudança sazonal da temperatura externa média.
- ❖ Apesar de existir o ajuste dinâmico da temperatura (por meio da diferença *DTc*), há variabilidade advinda da baixa precisão de ajuste da fonte de tensão e outros fatores associados que podem atrasar a capacidade de ajuste. Desta forma, é interessante que sejam coletados os dados de ajuste do termostato (externa, interna e voltagem) em condições de equilíbrio (recomendado *VarV* de 11xx ou mais estável) regularmente, o que possibilita a obtenção de uma curva *voltagem(DT)* mais precisa e consequentemente um ajuste mais assertivo.
- ❖ A estabilidade da temperatura interna depende do balanço de energia térmica da câmara (com destaque para a condutibilidade térmica do arranjo), a coleta de dados de equilíbrio em várias voltagens pode originar uma curva característica que auxilia a determinar se a faixa de trabalho desejada é possível. Igualmente, se houverem modificações na estrutura da câmara, uma nova curva deve ser calculada.

4.4. Operação com balança

Um arranjo alternativo para a câmara consiste em utilizar um módulo HX711 junto a uma célula de carga para fazer a medição direta da variação de massa da solução salina, observando-se assim a taxa de evaporação real em função das condições de exposição.

A experiência mostrou que para reduzir o erro associado à célula de carga, se faz necessário calibrar o sensor antes de cada leitura, evitando desvios e acúmulo de erros com o tempo. Assim, é necessário remover o frasco do prato de pesagem, iniciar e tarar a balança e só então recolocá-lo e realizar a pesagem. A solução adotada foi utilizar um servo para suspender e abaixar o frasco com a solução durante estes estágios.

Esta variação usa um sketch próprio e precisa de quase todos os pinos disponíveis no Arduino. Além disso, há requerimentos quanto ao suporte do servo, estrutura de apoio da célula de carga e do elemento de suspensão do frasco que não fazem parte do detalhamento deste material. Abaixo é apresentado o esquema utilizado e um resultado típico da variação de massa ao longo do tempo.



5. VARIÁVEIS E PARÂMETROS

O sistema prioriza a adoção de lógica aritmética de inteiros durante os cálculos e verificações, para poupar memória e otimizar o processamento do Arduino UNO. É utilizado cálculo em ponto flutuante apenas em momentos específicos. Na descrição das variáveis, os valores padrão são destacados em negrito.

5.1. Operação

Tipo	Nome	Valores	Descrição
unsigned char	intLim	0	Registra a quantidade de opções do menu
	OPE	0 – Manutenção 1 – Controle de temperatura 2 – Controle de umidade 3 – Apenas temperatura 4 – Calibração 5 – Apenas umidade	Controla o estado de operação. Tem requisitos com a <u>tampa</u>
	Visor	0 – Desligado 1 – Em operação 2 – Menu	Controla o modo de operação do display.
	SDticks	0	Atrasa a escrita no cartão SD
	Uticks	0	Atrasa a resposta do controle de umidade
	intSel	0	Opera o seletor do menu
char	intSel	0	Opera o seletor do menu
bool	MAN	True/ False	Verifica se sistema veio de um estado de manutenção para reset
	vSD	True/ False	Avalia se o cartão SD está inserido

5.2. Intervalos

Tipo	Nome	Valores	Descrição
unsigned long	SDLT	0	Horário do último ciclo
	TECon	0	Horário que ligou a TEC
	ULT	0	Horário de início do acompanhamento de umidade
	RPMLT	0	Horário que a ventoinha apresentou RPM abaixo do limite
	varLT	0	Horário de registro da última variação da média
	intLT	0	Horário da última ação na interface
	termLT	0	Horário da última alteração do termostato
	buzzerLT	0	Horário do último alerta do buzzer
	tempResLT	0	Horário do último reset do termostato por temperatura alta
const unsigned long	SDInterval	20000	Intervalo de ciclo de operação (milissegundos)
	varInterval	900000	Registro da variação da média a cada 15 minutos
	intInterval	5500	Timeout para ação no menu e retorno à tela padrão
	termInterval	180000	Intervalo para funções do termostato
	buzzerInterval	600000	Horário para repetir os alertas sonoros

5.3. Médias Móveis

Tipo	Nome	Valores	Descrição
unsigned char	pTin	0	Índice de posição do buffer circular da temperatura interna
	pUin	0	Índice de posição do buffer circular da umidade interna
	pTex	0	Índice de posição do buffer circular da temperatura externa
	vTin	0	Validador de dados da média de temperatura interna
	vUin	0	Validador de dados da média de umidade interna
	vTex	0	Validador de dados da média de temperatura externa
int	mTin[6]	0	Buffer circular para média móvel da temperatura interna
	mUin[6]	0	Buffer circular para média móvel da umidade interna
	mTex[6]	0	Buffer circular para média móvel da temperatura externa

5.4. Parâmetros de operação

Tipo	Nome	Valores	Descrição
const int	Tsup		Limite superior da faixa de temperatura
	Talvo		Alvo de temperatura
	Tinf		Limite inferior da faixa de temperatura
	Usup		Limite superior da faixa de umidade
	Ualvo		Alvo de umidade
	Uinf		Limite inferior da faixa de umidade
int	Tb	Talvo	Tolerância para religada da TEC ao retornar de um desligamento abaixo de <i>Tinf</i>
	dUmax	10	Variação de umidade máxima inicial
	DTc	0	Compensação do ΔT no controle térmico
const unsigned char	sClose	52	Posição máxima de fechamento do servo
	sOpen	0	Posição máxima de abertura do servo

5.5. Acompanhamento

Tipo	Nome	Valores	Descrição
bool	intW	True/False	Mantém o display ligado durante interação com menu
	OPT	True/False	Acompanha status da TEC
	tampa	True/False	Observa se a tampa está conectada ou não
	Useco	True/False	Registra se houve secagem excessiva durante operação
int	rpm	5000	Leitura do RPM da ventoinha externa, inicia alto para passar verificação inicial
	US[3]		Status da umidade 0 – Sentido da variação (1: subindo -1: descendo) 1 – Posição do servo trapdoor 2 – Variação do ângulo do servo trapdoor
	varM		Multiplicador da variação para status de 15 minutos
	varV	9000	Indicador de 15 minutos – temperatura
	varU	9000	Indicador de 15 minutos – umidade
	conT[3]		Acompanhamento dos valores de temperatura 0 – Temperatura anterior, para cálculo de variação 1 – Média móvel de 5 leituras 2 – Temperatura há 15 minutos
	conU[4]		Acompanhamento dos valores de umidade 0 – Umidade anterior, para cálculo de variação 1 – Média móvel de 6 leituras 2 – Módulo da última variação 3 – Umidade há 15 minutos
	conE		Acompanhamento da média móvel de temperatura externa
char	TS[2]		Status da temperatura 0 – Sentido da variação (1: subindo -1: descendo) 1 – Ocorrências abaixo de <i>Tinf</i>
	MoSt	1	Status do <i>Monitor</i> 0 – Normal 1 – Retorno de manutenção 2 – Baixa potência TEC 3 – Baixa capacidade de secagem 4 – Alta potência TEC 5 – Falha da ventoinha 6 – Temp. acima de <i>Tsup</i> 7 – Falha com o DHT
unsigned char	sGraus		Ângulo do servo termostato
volatile unsigned long	counter	0	Contador para leitura do RPM da ventoinha externa

6. ESQUEMÁTICOS

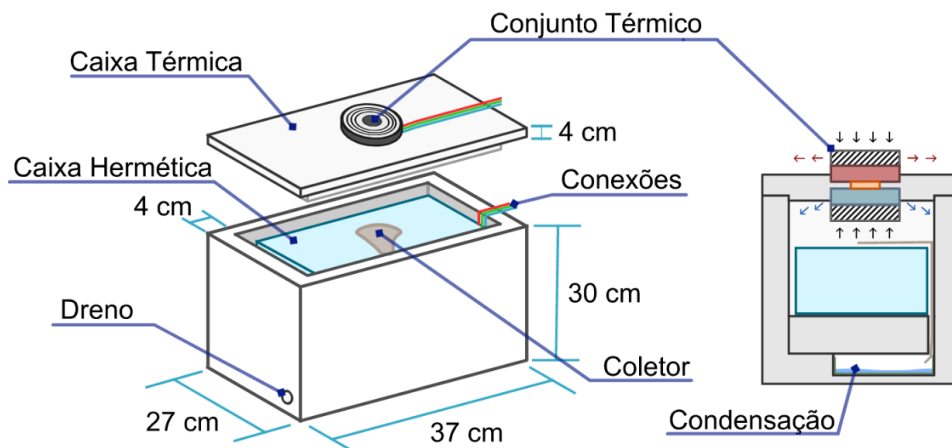
6.1. Estrutura

O isolamento higroscópico da câmara é obtido pelo uso de um pote hermético de polipropileno. A fiação é passada por um furo na lateral da caixa selado com silicone. Para as dimensões deste projeto foi utilizado um pote de 4 Litros, com travas na tampa. O isolamento térmico vem da caixa térmica de isopor (12 litros). As paredes originalmente possuíam 2 cm de espessura e foram reforçadas em mais 2 cm com a colagem de novas placas para melhorar o isolamento.

O conjunto térmico é fixado no centro da tampa. Em cada lado da placa foi fixado um conjunto fan/dissipador de computador. Pasta térmica é utilizada em todas as interfaces. É possível que a temperatura interna atinja o ponto de orvalho no dissipador frio, causando condensação de umidade dentro da câmara. Por isso, deve-se ter cuidado com o arranjo do dissipador interno para evitar que escorrimento de água atinja as partes eletrônicas da fan e cause danos. Além disso, o gotejamento sobre o pote hermético é incômodo e pode atrapalhar a operação. Para evitar o acúmulo de água, usa-se um tecido como coletor, direcionado pela lateral da caixa térmica até um compartimento na parte inferior, onde será depositada a água por capilaridade. Um pequeno furo na frente da câmara atua como dreno para comodidade, sendo interessante que seja tampado, já que o volume de água de condensação é usualmente pequeno.

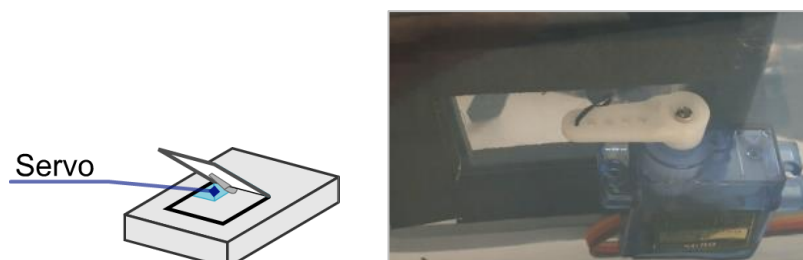
Os sensores DHT são posicionados: 1) dentro do pote da sílica gel 2) No interior do pote hermético 3) No lado externo da câmara

Figura 7 – Esquema e corte da câmara



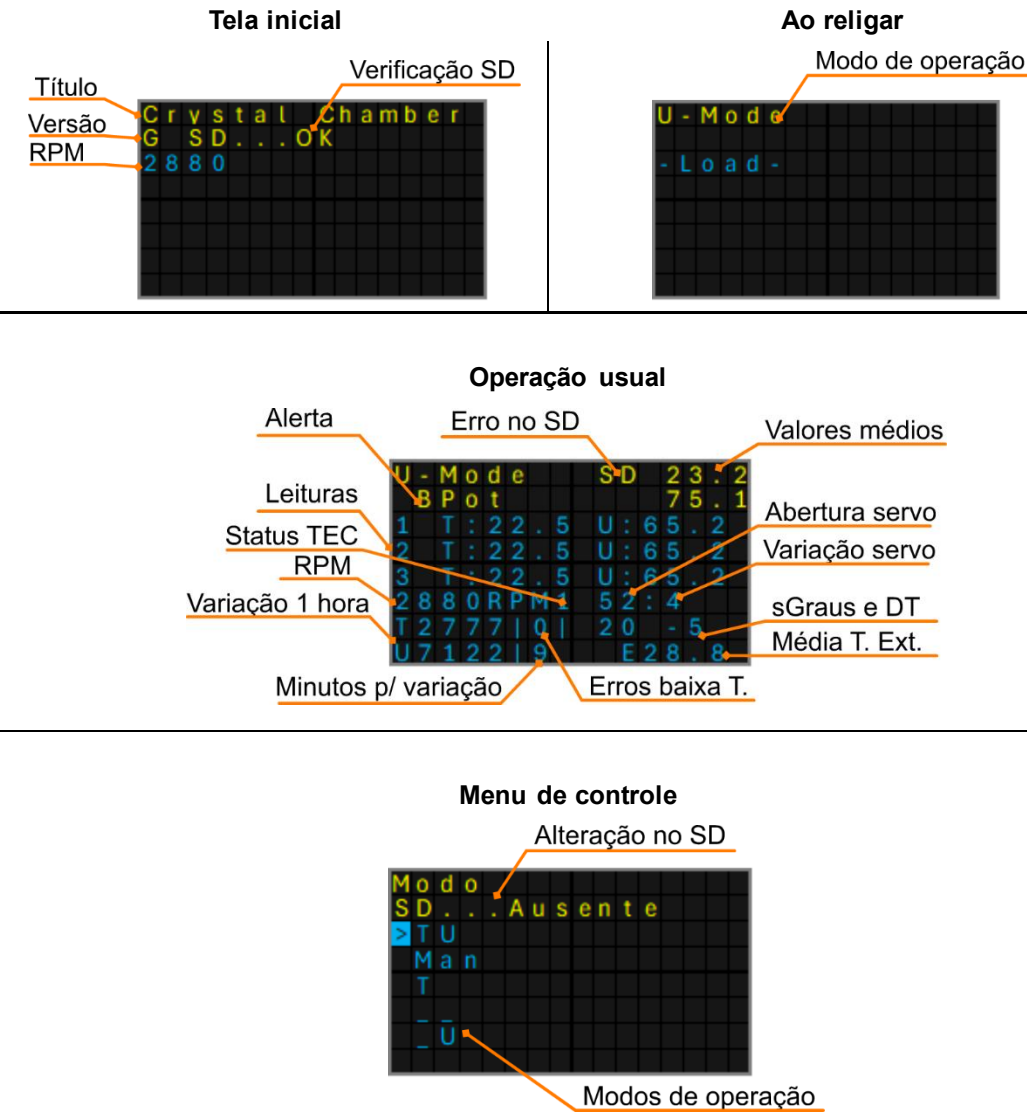
O alçapão dissecante também foi feito utilizando um pote hermético, com um corte na tampa e posicionamento do servo na parte interna, anexando seu braço à tampa para que além de empurrar para abrir, possa puxar para fechar.

Figura 8 – Esquema do alçapão dissecante



6.3. Display

O sketch atual utiliza um display de 128 x 64 pixels e a biblioteca U8x8, onde cada caractere possui 8 pixels, resultando em uma grade de 16 x 8 para disposição das informações com as seguintes variações:



A variação da média é verificada periodicamente e exposta de forma codificada, permitindo o acompanhamento do histórico recente:



6.4. Imagens

Figura 9 – Visão geral externa



Figura 10 – Visão lateral

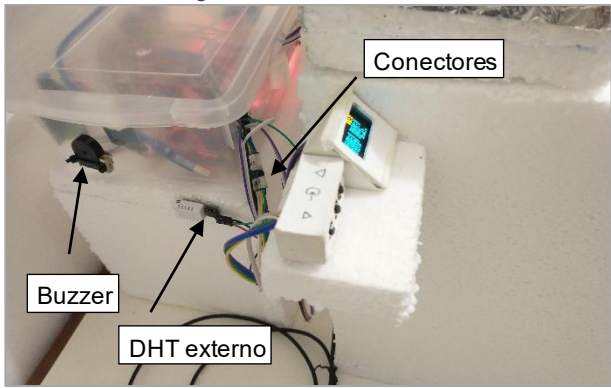


Figura 11 – Visão superior

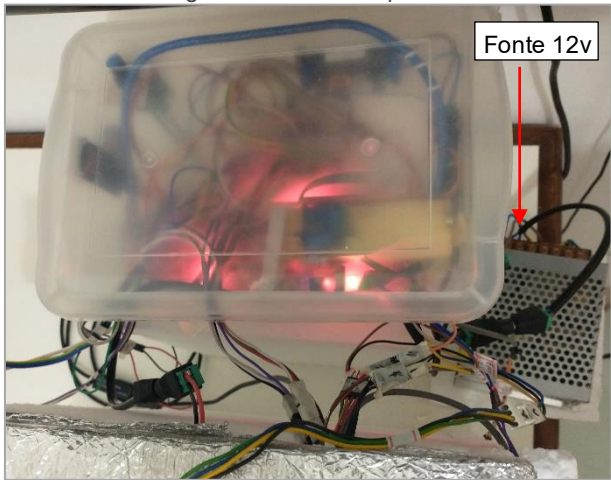


Figura 12 – Caixa dos eletrônicos

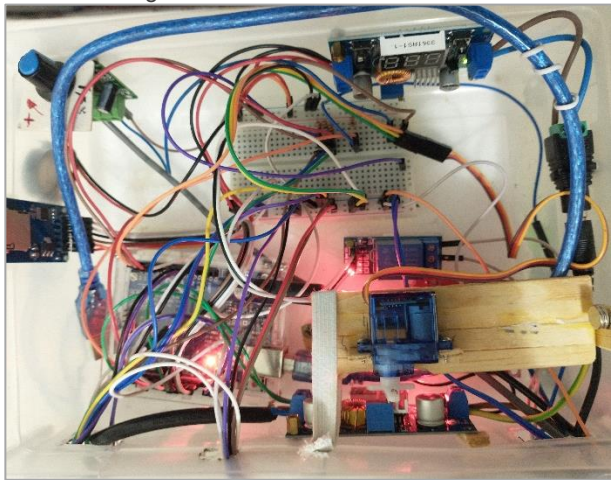


Figura 13 – Vista interna

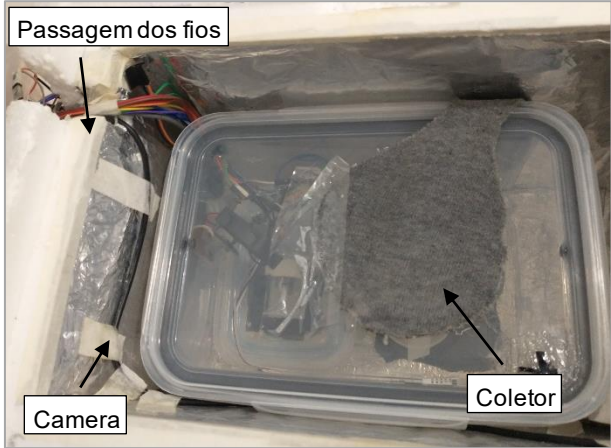


Figura 14 – Interno, sílica gel e ventilador

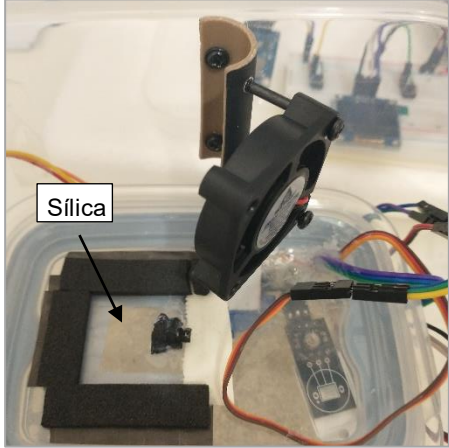


Figura 15 – Ambiente de exposição

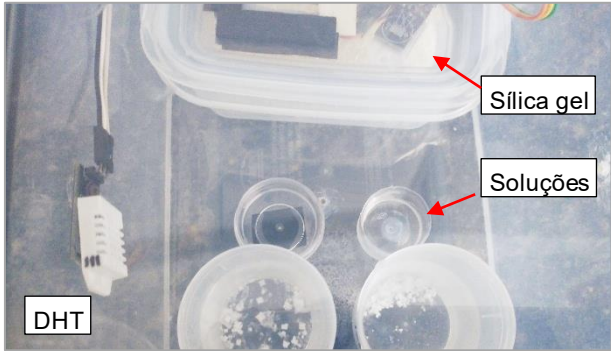


Figura 16 – Reservatório

