

MONITORAMENTO REMOTO PARA CONTROLE DE SISTEMAS DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS

Manual

V1.1

29 de Outubro de 2020

Elaboração

Bruna Seewald: bruna.seewald@gmail.com

Luiza Grossi: Ibarrosgrossi@gmail.com

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Parâmetros monitorados	1
1.2. Modo de utilização (passo a passo)	2
1.2.1. Verificação dos cabos	2
1.2.2. Liga/Desliga	2
2. ARQUITETURA DE HARDWARE	6
2.1. Componentes principais do sistema	6
2.1.1. ESP32	6
2.1.2. Módulo RTC	7
2.1.3. Módulo cartão micro SD	7
2.1.4. Sensores de temperatura	8
2.1.5. pHmetro	8
2.1.6. Condutivímetro	9
2.1.7. Cabo serial para leitura da balança	9
2.1.8. Fontes	10
2.1.9. Display de OLED 128x32	11
2.1.10. LED	11
3. ARQUITETURA DE SOFTWARE	12
3.1. Fluxo	12
3.2. Projeto no Github	13
3.3. Arduino	14
3.4. Gravar o firmware	14
3.5. Modo Debug	15
ANEXO I	16
Termostato W1209	16

1. INTRODUÇÃO

Este manual explica o funcionamento de um sistema automático de monitoramento de experimentos laboratoriais, bem como seus componentes. Todas as sondas originais são adequadas para uso em meio aquoso, sendo necessários cuidados quando expostas a condições agressivas de pH e temperatura.

1.1. Parâmetros monitorados

O sistema possui 5 sensores que monitoram automaticamente temperatura (2 sondas), pH, condutividade e massa (Figura 1). As leituras são realizadas a cada 3 minutos, e os resultados são gravados em um cartão de memória na forma de arquivos CSV.

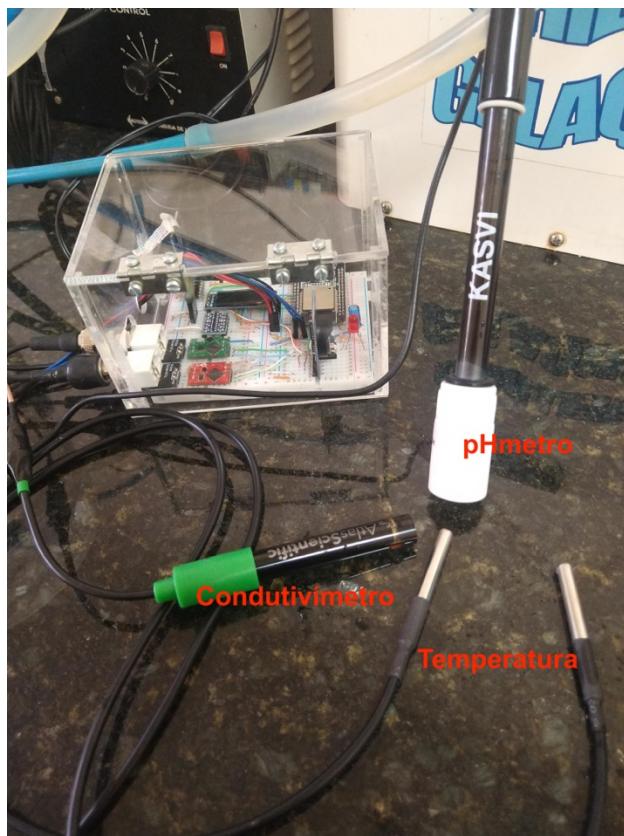


Figura 1: Sistema com indicação de cada um dos sensores

1.2. Modo de utilização (passo a passo)

1.2.1. Verificação dos cabos

Certifique-se que as sondas de pH, condutividade e o cabo da balança estejam devidamente conectados antes de iniciar a operação (Figura 2).



Figura 2: Sistema completo

1.2.2. Liga/Desliga

Para ligar o sistema é necessária conectar duas fontes, uma de 3 e outra de 5V, **sendo ambas bivolt**. Ligue primeiro a de 5V, e depois a de 3V. Certifique-se também de ligar a balança. Caso queira desligar o sistema, basta remover **ambas** as fontes da tomada.

i. *Calibração dos sensores de pH e condutividade*

Logo após ligar o sistema, há uma etapa de configuração do mesmo. A configuração dos sensores ocorre duas vezes na semana, todas as quartas-feiras para o sensor de pH e todas as sextas-feiras para o sensor de condutividade. Essa configuração é feita diretamente no código, portanto, para alterá-la é necessário **regravar** o *firmware* que está na placa principal do sistema.

É possível acompanhar a calibração pela tela. Vale lembrar que o modo calibração aparece apenas às quartas-feiras e às sextas-feiras. Caso ligue o sistema nos demais dias, ele iniciará diretamente a coleta de dados.

- Após ligar todo o sistema, a mensagem "*Modo Calibracao pH*" ou a mensagem "*Modo Calibracao EC*" irá aparecer na tela;
- **Calibração do pHmetro:**
 - A partir do momento que a mensagem "Calibracao pHmetro" aparecer serão 30s até a calibração do pH 7 iniciar. Enquanto isso, prepare o eletrodo, lavando-o com água destilada e secando-o. Insira o eletrodo limpo e seco na solução de calibração de pH 7. A mensagem "Calibracao pH 7" será mostrada na tela e permanecerá até que 10 pontos de leitura sejam iguais. Uma mensagem ao final dessa primeira parte irá indicar qual foi o último pH lido com o eletrodo e que o sensor foi calibrado;
 - Após a mensagem de confirmação, haverá novamente 30s para limpeza e preparação do eletrodo para a calibração no pH 4. A mensagem "Calibracao pH 4" irá aparecer na tela, iniciando o processo. Lembre-se que esse passo não tem um tempo definido, ela irá ocorrer até que 10 pontos de leitura sejam iguais. Ao final, será mostrado na tela o último ponto lido do eletrodo e que o sensor foi calibrado;

!!! ATENÇÃO: verifique se os valores mostrados estão condizentes com a etapa de calibração!!!
- Entre a calibração do pHmetro e do condutivímetro há um intervalor de 20s para manuseio das soluções;
- **Calibração do condutivímetro:**
 - A mensagem "Calibracao condutivimetro" indica o início dessa etapa, havendo um intervalo de 10s .
 - A primeira etapa é a "Calibracao seca". Essa mensagem aparece na tela indicando que está ocorrendo. O eletrodo é calibrado, **seco**, ao ar (condutividade = 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$);
 - Uma vez calibrado ao ar, haverá um intervalo de 40s para preparação do sensor para a calibração baixa. Durante este tempo, lave o eletrodo com água destilada, seque-o e insira na solução de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A mensagem "Calibração 100 μS " indica o início dessa etapa e também exige 5 pontos de leitura iguais. Ao final, uma mensagem mostrando o último valor lido será mostrado na tela e que o sensor foi calibrado;

- Como última etapa, haverá um intervalo de 30s para limpeza e preparação do eletrodo para a calibração alta. Para isso, lave, seque e o insira na solução de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A mensagem “Calibração 1413uS” será mostrada indicando o início dessa etapa. Aqui também são exigidos os 5 pontos de leitura iguais. Ao final, uma mensagem mostrando o último valor lido será mostrado na tela e que o sensor foi calibrado;
- **Uma vez calibrado, o sistema está pronto para ser usado e iniciará a coleta dos dados.**

ii. Extração dos dados no cartão micro SD

Para recolhimento dos dados do cartão é necessário removê-lo do sistema e copiar os arquivos, que serão abertos automaticamente pelo Excel. Para a remoção do cartão, basta apertá-lo para que desencaixe do leitor.

!!! ATENÇÃO, o sistema deve estar DESLIGADO para essa operação !!!

!!! ATENÇÃO, ao abrir a caixa de acrílico, NUNCA MANUSEIE O SISTEMA COM LUVAS OU MÃOS MOLHADAS, pois todos os componentes estão expostos na protoboard e o risco de curto-circuito é alto !!!

Após a remoção do cartão micro SD do sistema, utilize um adaptador (o sistema acompanha) para realizar a coleta no computador. Não é necessário apagar o arquivo pois o cartão possui uma memória grande (mas caso o usuário deseje, a operação é possível).

A cada dia, dois novos arquivos são gerados e os nomes seguem o seguinte padrão: *sensors_AAAAMMDD.csv* e *weighing_AAAAMMDD.csv*. A título de exemplo, um arquivo do dia 23/08/2020 se chamaria *sensors_20200823.csv* e *weighing_20200823.csv*. As informações do arquivo *sensors* são organizadas como mostra a Figura 3, sendo que as colunas apresentam respectivamente os dados de tempo (*timestamp*); temperatura da alimentação, em °C (*temp_feed*); temperatura do permeado, também em °C (*temp_permeate*); pH; condutividade, em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (*ec*). As informações do arquivo *weighing* são organizadas como mostra a Figura 4, sendo que as colunas apresentam respectivamente os dados de tempo (*timestamp*); massa, em gramas (*weighing*);

timestamp	temp_feed	temp_permeate	ph	ec
13:05:11	21.37	21.25	7.31	153
13:08:50	21.37	21.19	7.35	154
13:12:28	21.37	21.25	7.38	155

Figura 3: Exemplo de distribuição dos dados no arquivo gerado *sensors*

timestamp	weighing
13:05:29	
243.2	
243.3	
243.3	
244.6	
249.3	
258.4	
387.6	
322.3	
250.7	
242.8	
242.8	
242.9	
242.9	
242.9	
243.1	
245.8	
253.9	

Figura 4: Exemplo de distribuição dos dados no arquivo gerado *weighing*

Após a leitura e cópia dos arquivos, **não esqueça de retornar o cartão micro SD para o sistema**. Se isso acontecer, as mensagens “SD nao reconhecido” ou “Sem cartao SD” irão

aparecer na tela. Desligue todo o sistema novamente, coloque o cartão e siga os passos do item 1.2.2.

iii. Sincronização do dia e hora do RTC

Após ligar o sistema a seguinte mensagem aparece: “Hora agora: hh:mm:ss”. É importante verificar se a hora mostrada na tela está correta. Se for observado que a hora **não** está correta, então o seguinte procedimento deverá ser feito:

- Desligue o sistema de monitoramento;
- Crie uma rede wi-fi pelo celular: iOS e Android;
- Coloque o nome da rede como “PROJETOAUTOFL”, tudo em maiúsculo mesmo. E senha “2020projetoautoFL”;
- Ligue o sistema de monitoramento. O sistema irá automaticamente sincronizar a hora correta. Verifique na tela se a hora foi corrigida.

iv. Mensagens do sistema

- “Inicialização OK”: ao final do setup de inicialização do sistema essa mensagem irá aparecer na tela, indicando que o sistema está pronto para iniciar a coleta dos valores através dos sensores;
- “Aguardando proxima leitura...”: após a leitura da balança, uma mensagem com os valores lidos será mostrada na tela por aproximadamente 10 segundos. Em seguida a mensagem “Aguardando proxima leitura...” ficará na tela até ocorrer novamente a leitura dos sensores e assim sucessivamente;
- “SD nao reconhecido” ou “Sem cartao SD”: Cartão não foi colocado no leitor que fica no sistema;

2. ARQUITETURA DE HARDWARE

2.1. Componentes principais do sistema

2.1.1. ESP32

É um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia que já possui integração com Wi-Fi e Bluetooth (Figura 4).



Figura 4: ESP 32 Devkit

2.1.2. Módulo RTC

Real Time Clock é um relógio de tempo real que possui uma bateria para manter a data armazenada mesmo sem o circuito estar energizado. Computa segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099). Endereço e informações são transferidas via **protocolo I2C** (Figura 5).



Figura 5: Módulo RTC DS1307

2.1.3. Módulo cartão micro SD

Trata-se de um módulo que possui integrado um leitor de cartão micro SD o qual se comunica através do sistema de arquivos e do driver de **interface SPI**. Seu funcionamento consiste em salvar dados (Figura 6).



Figura 6: Módulo micro SD

2.1.4. Sensores de temperatura

Termômetro digital modelo DS18B20. Possui $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão e proporciona leituras de temperatura de até 12-bits (configurável) através de uma conexão de dados de apenas 1 fio com o seu microcontrolador (Figura 7).



Figura 7: Sensor de temperatura DS18B20

2.1.5. pHmetro

- Eletrodo Kasvi
- Circuito EZO-pH: Projetado para funcionar com qualquer eletrodo de pH, o circuito de aquisição EZO realiza a conversão do sinal vindo do eletrodo em potencial hidrogeniônico (pH) para o usuário. O circuito permite ao usuário solicitar leituras do eletrodo, realizar a calibração e compensação de temperatura das leituras com comandos seguindo os protocolos UART e I2C. A aquisição de pH do circuito EZO apresenta precisão de $+/- 0,002$ e resolução de 0,001 para até uma leitura por segundo (Figura 8).



Figura 8: Circuito EZO-pH

2.1.6. Condutivímetro

- Mini Eletrodo de Condutividade K 1.0: Construído com superfície de medição em grafite, o eletrodo de condutividade K 1.0 pode ser submerso até 343 metros sem prejuízo de seu funcionamento. O Eletrodo de Condutividade K 1.0 permite medições entre 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 9).



Figura 9: Mini Eletrodo de Condutividade K1.0

- Circuito EZO-EC de Aquisição: Projetado para funcionar com qualquer eletrodo de condutividade, o circuito de aquisição EZO realiza a conversão do sinal vindo do eletrodo em informação de condutividade para o usuário. O circuito permite ao usuário solicitar leituras do eletrodo, realizar a calibração e compensação de temperatura das leituras com comandos seguindo os protocolos UART e I2C. A aquisição de Condutividade do circuito EZO apresenta precisão de +/- 2% e resolução mínima de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para até uma leitura por segundo (Figura 10).



Figura 10: Circuito EZO-EC

2.1.7. Cabo serial para leitura da balança

Cabo serial para comunicar com a balança. De um lado há um conector DB-9 macho para plugar na balança, do outro há um conversor de DB-9 para TTL com os pinos Vdd, Gnd, Rx e Tx que

são conectados ao ESP. Esse conversor possui um CI MAX-3232 para converter o sinal de 3V para sinal RS-232 e vice-versa (Figura 11).



Figura 11: cabo serial da balança e conversor DB-9 para TTL

2.1.8. Fontes

Fonte DC chaveada 3.3V com plug micro-USB para alimentação da placa ESP 32 (Figura 12).



Figura 12: Fonte DC chaveada 3.3V com plug micro-USB

Fonte 5V com plug P4 removido para alimentar o módulo do cartão micro-USB (Figura 13).



Figura 13: Fonte 5V

!!! ATENÇÃO, ambas as fontes são bivolt !!!

2.1.9. Display de OLED 128x32

O display tem o tamanho de 0.91", resolução de 128 x 32 pixels e interface de comunicação I2C. Ele é usado para mostrar informações de calibração, informação dos sensores, status do dispositivo e outras informações (Figura 14).



Figura 14: Display de OLED

2.1.10. LED

O led vermelho auxilia na verificação do status do sistema (Figura 15).



Figura 15: LED Vermelho

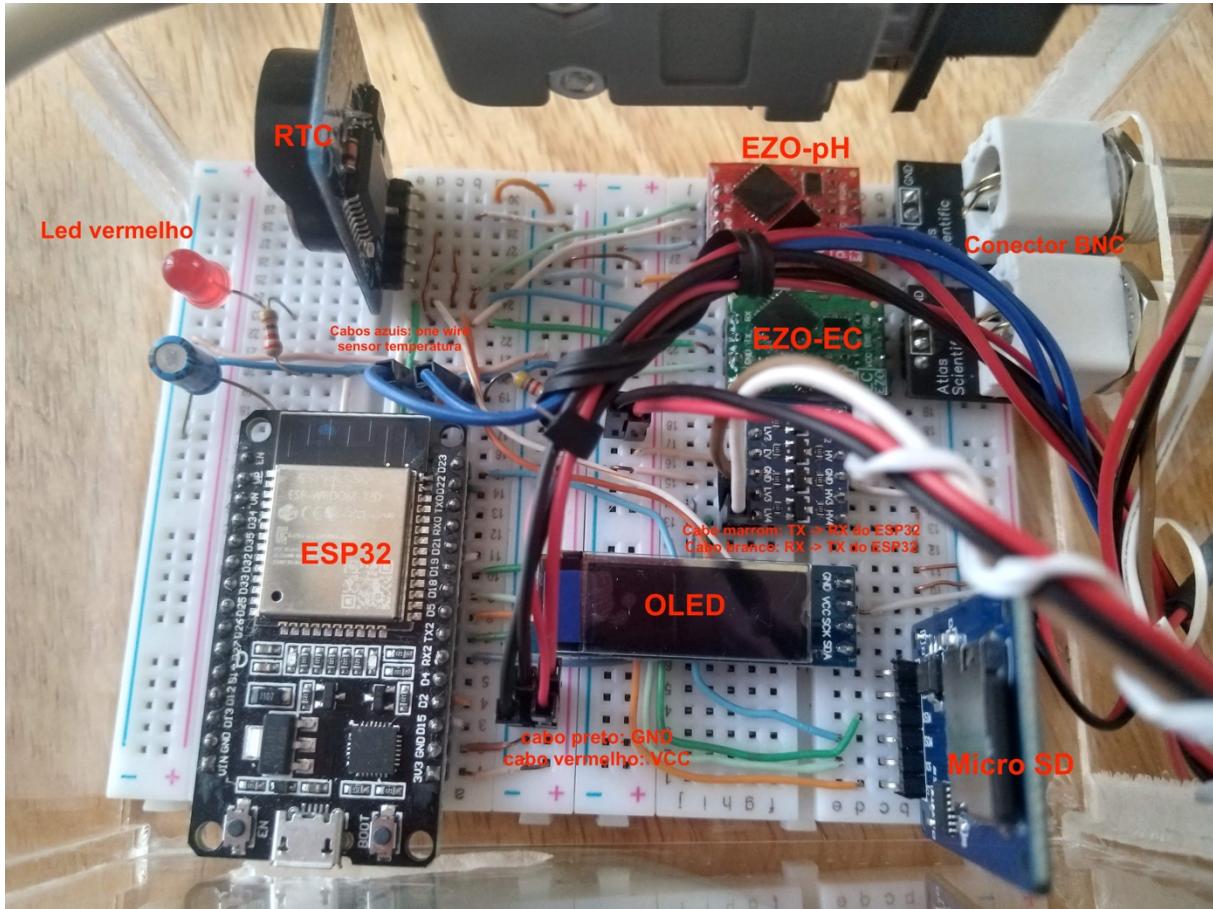


Figura 16: Sistema de hardware montado

3. ARQUITETURA DE SOFTWARE

3.1. Fluxo

Para auxiliar na compreensão da implementação do firmware, o diagrama da figura 13 mostra o funcionamento do código. Logo após ligar o sistema, há um setup que é responsável por iniciar os sensores e as demais conexões da placa principal. Nesse passo também há a verificação da conexão wi-fi e do RTC. Se for observado que o RTC precisa ser sincronizado, então é necessário que o sistema esteja conectado na rede “PROJETOAUTOFL”. Mais detalhes na seção “Sincronização do dia e hora do RTC”.

Depois disso, há o modo de calibração, que já foi explicado na seção “*Calibração dos sensores de pH e condutividade*” e por fim inicia-se o ciclo de leitura dos sensores e da balança e escrita dos valores nos arquivos do dia, que fica no cartão micro SD. Esse ciclo se repete enquanto o sistema permanecer ligado. Se houver necessidade de desligar o sistema, recomenda-se que ele

seja feito enquanto estiver aguardando a próxima leitura. Importante salientar que este firmware foi desenvolvido para funcionar somente com a balança Mark L10001 da Bel Engineering. Caso seja plugado em outra balança será necessário alterar o código gravado na placa.

!!! ATENÇÃO, nunca desligue enquanto estiver lendo os sensores !!!

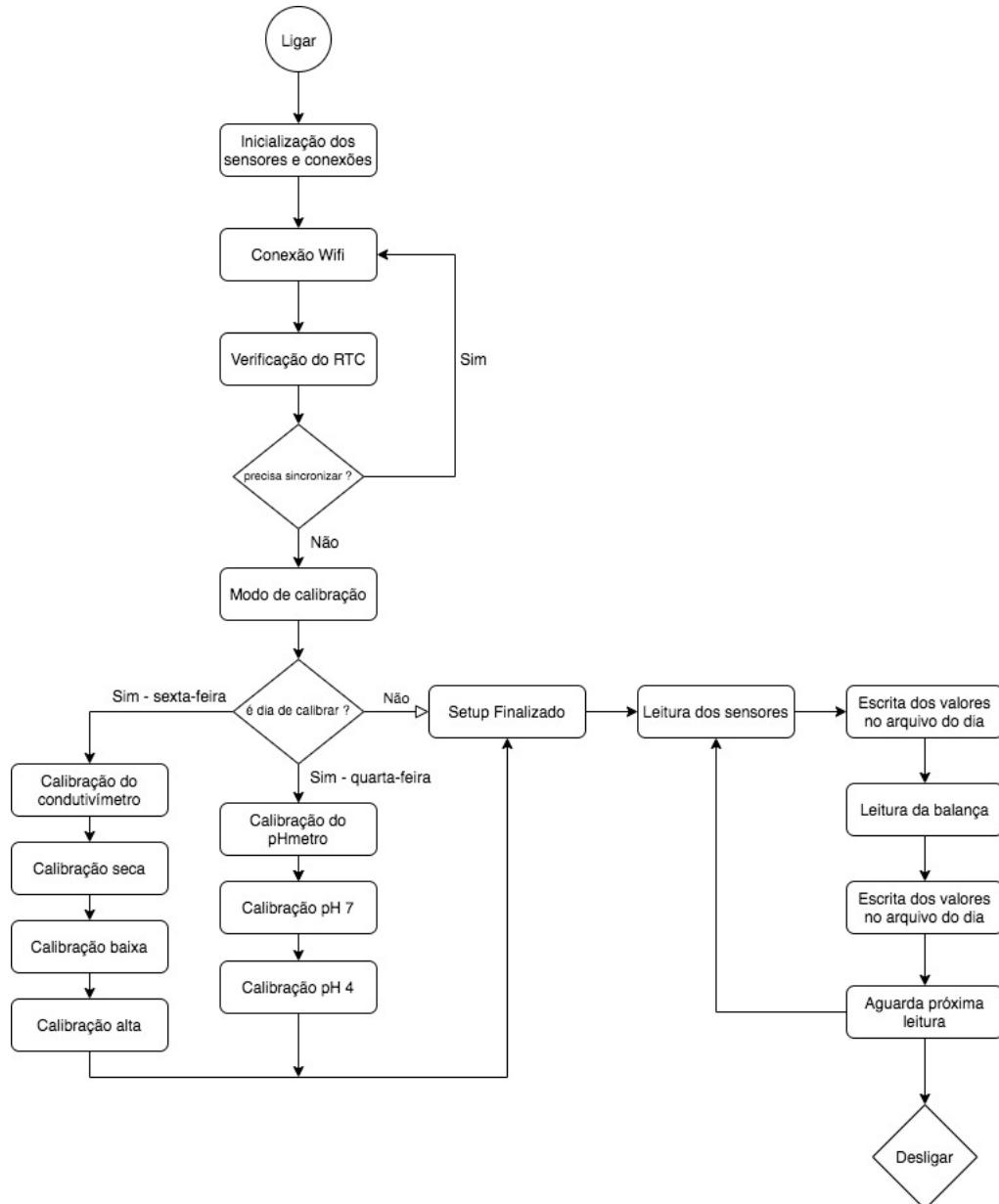


Figura 17: Diagrama de fluxo do funcionamento do firmware

3.2. Projeto no Github

O projeto está versionado em um repositório aberto: <https://github.com/bseewald/membrane-water-system>. Para dúvidas e *bugs* é só abrir uma *issue* no projeto. Para contribuições, faça uma

solicitação de *pull-request*. O código completo está presente em um único arquivo: *mws-main.ino*.

!!! ATENÇÃO: A branch *new-balance* é a mais atual !!!

Dentro da pasta *libs* estão todas as bibliotecas necessárias para compilar e gravar o *firmware* usando a IDE do Arduino.

3.3. Arduino

O projeto foi todo desenvolvido usando a IDE do Arduino. Além das bibliotecas padrão, foram utilizadas:

- *DallasTemperature* e *OneWire* para o sensor de temperatura;
- *RTClib* para o RTC;
- *Ezo_i2c* para o pHmetro e condutivímetro.

3.4. Gravar o firmware

Caso seja necessário regravar o firmware, certifique-se que:

- Você possua um cabo com conector micro-USB e que os drivers estejam instalados;
- A ESP32 já tenha sido adicionada através do gerenciador de placas;
- Se nenhum desses passos foi feito antes, acesse o seguinte tutorial. Nesse site existe um passo a passo que ajuda nessa etapa.

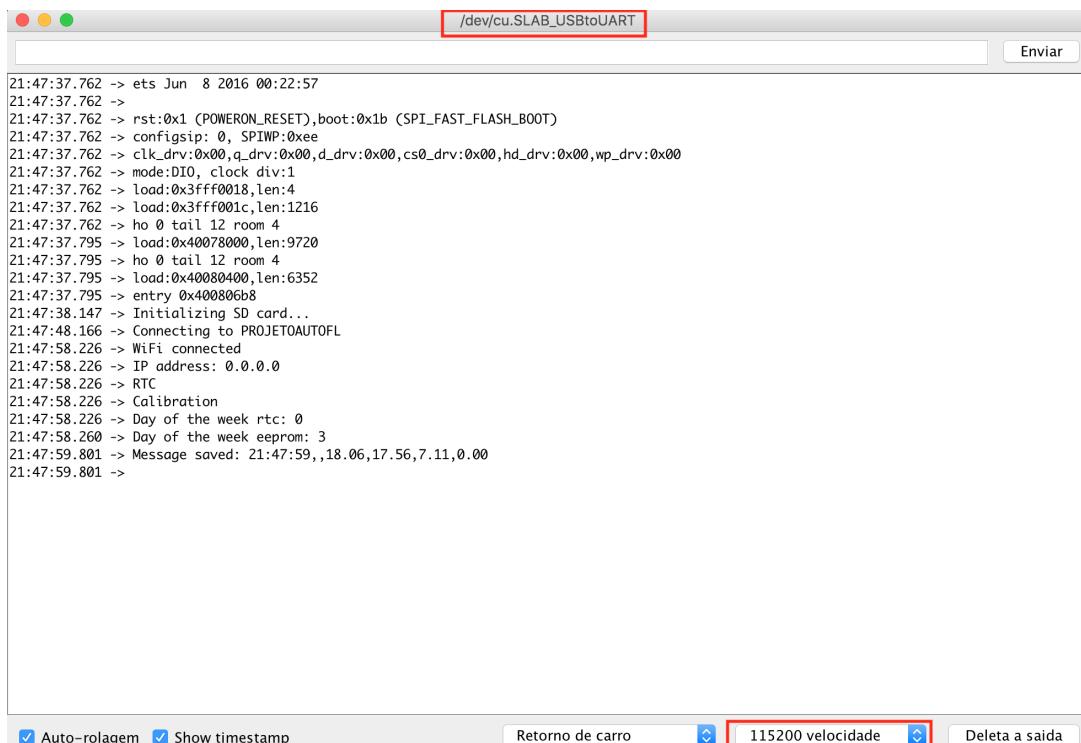
Se os passos acima estão todos corretos, faça o seguinte:

- Conecte o cabo micro USB na placa e no computador;
- Abra a IDE do Arduino;
- Clique em Sketch -> Carregar;
- Aguarde a gravação completar;
- Pronto! O novo firmware está gravado! Agora você pode retirar o cabo USB e ligar o sistema direto na fonte.

3.5. Modo Debug

Caso seja necessário verificar alguma inconsistência do sistema, ele está configurado com o modo Debug ligado. Para ver as mensagens (Figura 16), faça o seguinte:

- Conecte o cabo micro USB na placa e no computador;
- Abra a IDE do Arduino;
- Clique em Ferramentas -> Monitor Serial;
- Certifique-se que a porta está corretamente selecionada, assim como a velocidade.



```
/dev/cu.SLAB_USBtoUART
Enviar
21:47:37.762 -> ets Jun  8 2016 00:22:57
21:47:37.762 ->
21:47:37.762 -> rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x1b (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
21:47:37.762 -> configsip: 0, SPIWP:0xee
21:47:37.762 -> clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
21:47:37.762 -> mode:DIO, clock div:1
21:47:37.762 -> load:0x3fff0018,len:4
21:47:37.762 -> load:0x3fff001c,len:1216
21:47:37.762 -> ho 0 tail 12 room 4
21:47:37.795 -> load:0x40078000,len:9720
21:47:37.795 -> ho 0 tail 12 room 4
21:47:37.795 -> load:0x40080400,len:6352
21:47:37.795 -> entry 0x400806b8
21:47:38.147 -> Initializing SD card...
21:47:48.166 -> Connecting to PROJETOAUTOFL
21:47:58.226 -> WiFi connected
21:47:58.226 -> IP address: 0.0.0.0
21:47:58.226 -> RTC
21:47:58.226 -> Calibration
21:47:58.226 -> Day of the week rtc: 0
21:47:58.260 -> Day of the week eeprom: 3
21:47:59.801 -> Message saved: 21:47:59,,18.06,17.56,7.11,0.00
21:47:59.801 ->
```

Auto-rolagem Show timestamp Retorno de carro 115200 velocidade Deleta a saída

Figura 18: Monitor Serial

ANEXO I

Termostato W1209

O termostato W1209 permite o controle de temperatura, isso é possível através de um relé que é acionado em uma faixa de temperatura previamente configurada. No caso deste projeto, conectamos uma resistência nos terminais do relé para aquecer a alimentação, quando o mesmo chegar em uma determinada temperatura (aproximadamente **60 graus Celsius**), o relé desarma e é acionado novamente quando a temperatura desse ambiente cair aproximadamente **1 grau Celsius** (Figura 17).

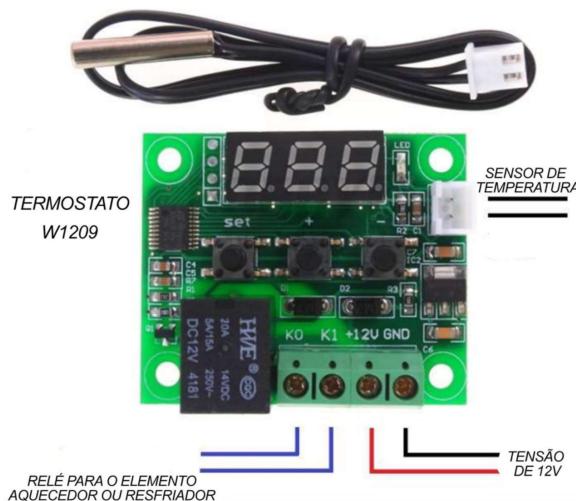


Figura 19: Termostato W1209

Mais detalhes no [manual](#) do termostato. Manual acessível no seguinte link:

<https://drive.google.com/file/d/1hlx2MIN2LiIV7w0d0tgKZlt6IBTvww55/view?usp=sharing>

Vídeo para auxiliar no manuseio: https://www.youtube.com/watch?v=d2O1dpB-bdg&ab_channel=SILVATRONICScomponenteseletr%C3%B4nicos

Características:

- Faixa de controle de temperatura -50 ~ 110 ° C
- Resolução-9,9 a 99,9 é de 0,1 ° c, 1 ° C de temperatura
- Precisão da medição: 0,1 ° C
- Controle de precisão: 0,1 ° C

- Precisão de histerese: 0,1 ° C
- Taxa de atualização: 0,5 s
- Tensão de entrada: DC 12V
- 1 canal de saída de relé, capacidade = 20A / 125VAC - 20A / 14VDC