

Sistema Open-Source para Coleta e Armazenamento de Dados Meteorológicos.

Wellington Cássio Faria

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
wellingtonf@gec.inatel.br

Fabrina Bolzan Martins

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
fabrinabm@gmail.com

Evandro Luís Brandão Gomes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
evandro@inatel.br

Cleverson Henrique Freitas

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
sonhfreitas@gmail.com

Resumo— Dada a importância da medida temperatura e umidade em sistema meteorológicos, construiu-se um sistema microcontrolado de baixo custo de hardware e software livre como uma alternativa para suprir a necessidade de monitoramento destas variáveis meteorológicas. Esse sistema foi construído utilizando uma plataforma de hardware open-source e um sensor de umidade e temperatura de alta precisão. Avaliou-se o sistema através de regressão linear entre o dispositivo construído, a estação meteorológica da UNIFEI e instrumentos convencionais como termômetros de máxima e mínima e higrógrafo de cabelo nas condições de um ambiente protegido e de campo, no período de 15/08/13 à 02/09/14 na Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, MG. As correlações apresentaram coeficientes de determinação de 0,99 e 0,94 para temperatura máxima, 0,98 e 0,96 para temperatura mínima para as condições de ambiente protegido e de campo, respectivamente. Para umidade relativa do ar obteve-se um coeficientes de determinação de 0,80 em campo. Isto demonstrou boa precisão e exatidão na determinação de umidade relativa do ar e temperatura, visto o ótimo desempenho na convergência dos dados mensurados aos instrumentos citados, possibilitando estudos agrometeorológicos com baixo custo.

Palavras chave— Agrometeorologia, Arduino, Open-source, firmware.

I. INTRODUÇÃO

A temperatura e umidade relativa do ar são um dos principais elementos meteorológicos de grande importância, pois tem fundamental importância em todo processo produtivo agrícola e nas condições de vida do nosso planeta. Essas medidas são utilizadas em vários estudos agrometeorológicos e climatológicos, os quais são frequentemente baseados em instrumentos convencionais segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

As medições de umidade do ar são feitas por vários tipos de instrumentos, como os psicômetros, mostrado na figura 1, um dos instrumentos mais antigos e ainda utilizados

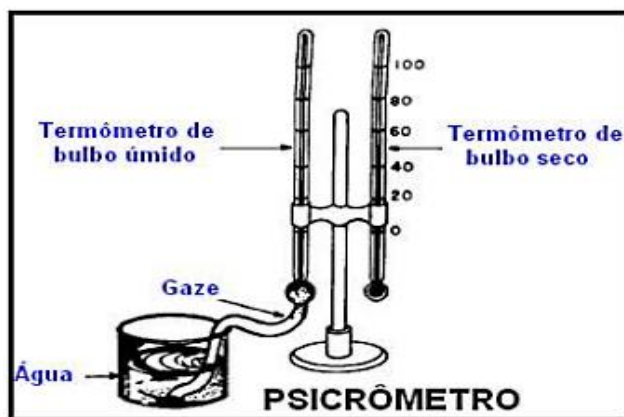


Figura 1 – Psicômetro

que se baseiam nas leituras de um termômetro de bulbo seco e de um bulbo úmido, viabilizando assim o cálculo da umidade relativa do ar pela diferença de temperatura e os higrógrafos, que utilizam a medida da variação de uma propriedade física de um material relacionada com a mudança da umidade do ar que move sobre um cilindro giratório, registrando continuamente a umidade relativa.

Já o termômetro é o instrumento mais comum de medida da temperatura, sendo de mercúrio o mais utilizado, onde o mesmo se expande de maneira uniforme, e assim possível aferir medidas de temperatura entre -30°C e $+320^{\circ}\text{C}$ (PIRES, et al., 2006). Para aferir medidas de temperatura máxima e mínimas são necessários termômetros específicos, os chamados termômetros de máxima e de mínima. O termômetro de máxima utiliza o mercúrio como elemento sensível sendo constituído de um dispositivo próximo ao bulbo, de modo a impedir o retorno do mercúrio, fazendo-o marcar a maior temperatura atingida (SILVA, 2000) e termômetro de mínima que possui o álcool como seu elemento sensível, onde é encontrado um pequeno indicador móvel, em forma de haltere, introduzido no meio do líquido, que devido força de tensão superficial, nunca atravessa o menisco e, portanto, acompanha o extremo da coluna quando a

temperatura desce, marcando assim a menor temperatura diária (SILVA, 2000; PIRES et al., 2006).

Estes instrumentos possuem alta confiabilidade em suas medições, porém apresentam algumas desvantagens: a primeira delas é a necessidade de um observador meteorológico para efetuar as leituras, e o segundo é por apresentar custos elevados. Outros problemas ao se utilizar instrumentos convencionais são: o psicrômetro não é tão preciso em temperaturas abaixo de 0°C, devido à formação de gelo sobre o bulbo úmido, o higrógrafo necessita de calibragem frequente, pois o cabelo perde a sua propriedade elástica ao decorrer do tempo. Os termômetros são frágeis e inábeis em registros automáticos de dados, onde o termômetro de mercúrio apresenta uma difícil leitura, uma resposta lenta e o mercúrio é uma substância venenosa que expõem riscos a segurança e ao ambiente, além disso, o termômetro de álcool não é tão preciso como o de mercúrio, devido à suscetibilidade do álcool à evaporação e pela separação por capilaridade quando exposto às altas temperaturas, danificando o instrumento.

Assim, o objetivo deste trabalho foi construir um dispositivo microcontrolado de baixo custo e com alta precisão, seguro para coleta e armazenamento de dados meteorológicos cujo desempenho foi comparado com instrumentos convencionais atualmente utilizados e aconselhados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

II. MATERIAL E MÉTODOS

Para construção deste dispositivo microcontrolado com o intuito de coletar e armazenar dados meteorológicos foi escolhida a plataforma de desenvolvimento Arduino que inclui uma placa com entradas e saídas digitais e analógicas, que permitem diversos tipos de aplicação, tais como: robótica, segurança, sistemas dedicados, entre outras. Além da placa, o Arduino conta com um ambiente de desenvolvimento (IDE) que pode ser baixada gratuitamente no site www.arduino.cc, a qual permite a programação da placa utilizando a linguagem C/C++, uma das linguagens de programação mais populares do mundo. Esta plataforma conta ainda com uma intensa e larga comunidade ao redor do mundo que troca informações, permitindo a popularização e avanço da mesma. Devido a sua facilidade de utilização, o Arduino está conquistando até pessoas que não possuem familiaridade com eletrônica ou computação.

A. Funcionamento do Dispositivo

O dispositivo construído para coleta e armazenamento de dados meteorológicos é composto de um hardware microcontrolado e um software embarcado. O mesmo é capaz de medir a temperatura e umidade do ar, calcular o ponto de

orvalho e registrar a cada trinta minutos a data, hora, temperatura atual, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade atual, umidade máxima, umidade mínima e ponto de orvalho, respectivamente, em um cartão SD. Além disso, o dispositivo possui um LCD, display de cristal líquido, e dois botões que possibilitam ao usuário consultar o calendário, a hora, a temperatura e a umidade atual, mínima e máxima, além de poder reiniciar os valores máximos e mínimos registrados de temperatura e umidade e também configurar o calendário e hora. O dispositivo também possui um mecanismo de proteção caso haja uma queda de energia, toda vez que algum dado de temperatura, umidade ou tempo é alterado, o dispositivo armazena o novo dado em sua memória EEPROM, e quando o dispositivo é realimentado recupera os últimos dados salvos na EEPROM, evitando assim a perda dos dados de máximos e mínimos registrados devido à falta de energia. As funcionalidades do dispositivo estão descritas no diagrama de caso mostrado na figura 2.

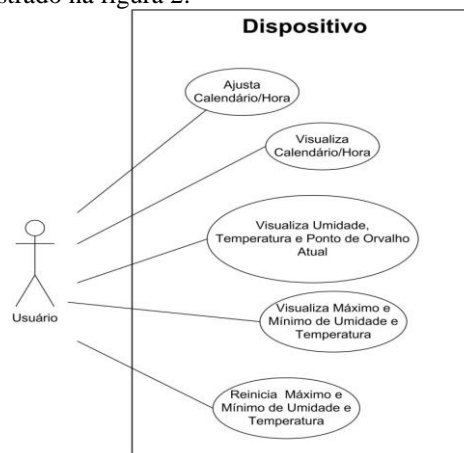


Figura 2 - Diagrama de Caso de Uso do Dispositivo

B. Hardware

No âmbito eletrônico o termo "hardware" é bastante utilizado na área de computação, e se aplica à unidade central de processamento, à memória e aos dispositivos de entrada (Sensor) e saída (LCD). O termo "hardware" é usado para fazer referência a detalhes específicos de um dispositivo eletrônico. Os itens que compõem o hardware são descritos na tabela 1.

TABELA 1
TABELA DE DESCRIÇÃO MATERIAIS UTILIZADOS.

Quantidade	Descrição
1	Placa Arduino UNO R3
1	Sensor de Umidade e Temperatura RHT03
1	LCD 16X4
1	Resistor 1KΩ
1	Cartão SD
1	Shield de Cartão SD
2	Mini Push Button Switch
1	Fonte de Alimentação ou Bateria
23	Jumpers de Diversos Tamanhos e Cores
1	Protoboard 1280 pontos

O Arduino Uno, mostrado na Figura 3, é uma placa baseada no microcontrolador ATmega328 de 8 bits e de alta performance. Este possui 14 pinos digitais de entrada ou saída, dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM e 6 entradas analógicas, além de canais de interrupção e temporizadores. Algumas características podem ser encontradas na tabela 2.

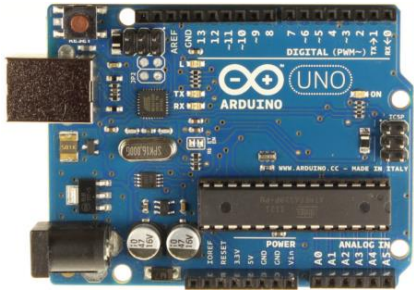


Figura 3 - Arduino UNO R3

TABELA 2
CARACTERÍSTICAS DA PLACA ARDUINO UNO R3.

Característica	Grandeza
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada recomendada	7 a 12 V
Tensão de entrada limite	6 a 20 V
Pinos digitais	14 pinos
Pinos analógicos	6 pinos
Corrente máxima dos pinos de entrada e saída	40 mA
Memoria flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock	16 MHz

O RHT03, mostrado na figura 4 é um sensor de umidade e temperatura de baixo custo com uma interface digital de um fio. O sensor já é calibrado e é necessário um resistor de 1kΩ ligado no pino de saída do sensor para a tensão de alimentação, conforme mostrado na Figura 5. Esse sensor realiza medições imediatas de umidade relativa e temperatura com confiabilidade e estabilidade. Seu tamanho pequeno, seu baixo consumo e sua distância de transmissão de cem metros permite a utilização do mesmo em diversas e severas ocasiões.



Figura 4 - Sensor RHT03.

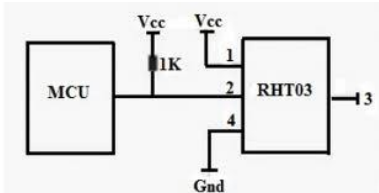


Figura 5 - Diagrama Elétrico do Sensor RHT03

Na tabela 3 encontram-se alguns dados técnicos do sensor RHT03.

TABELA 3
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SENSOR RHT03.

Característica	
Tensão de operação	3,3 a 6 V
Elemento sensível	Capacitor de polímero
Faixa de operação	Umidade 0 a 100% RH Temperatura -40 a 80 Celsius
Precisão	Umidade +/- 2% RH (Max +/- 5% RH) Temperatura +/- 0,5Celsius
Resolução ou sensibilidade	Umidade 0,1% RH Temperatura 0,1Celsius
Repetitividade	Umidade +/- 1%RH Temperatura +/- 0,2Celsius
Histerese	+/- 0,3% RH
Estabilidade em longo prazo	+/- 0,5%RH/ano

O LCD ou display de cristal líquido, mostrado na Figura 6 é um painel fino usado para exibir informações por via eletrônica. Esse é responsável por mostrar as informações para usuário do dispositivo, como a temperatura e umidade.



Figura 6 – Display de LCD.

O Push button ou Botão de pressão, mostrado na Figura 7 é um dispositivo utilizado para controlar uma máquina ou processo. Esse botão tem o mesmo funcionamento que o interruptor elétrico, fechando ou abrindo o circuito elétrico. A partir dos dois botões existentes no dispositivo o usuário pode controlá-lo.



Figura 7 - Mini Push Button Switch.

O Shield de cartão SD V4.0 da Seeedstudio é mostrado na Figura 8. Ele é encaixado sobre a placa Arduino UNO, expandindo a função de gravação e leitura em um cartão SD. Este shield suporta cartões de memória tipos SD, SDHC e Micro SD e faz uso dos pinos digitais 4, 11, 12 e 13 da placa Arduino Uno. Algumas características técnicas estão disponíveis na tabela 4.

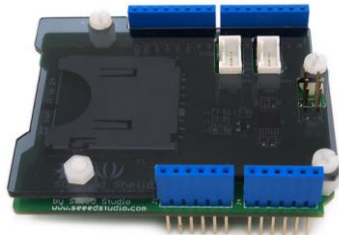


Figura 8 - Shield de cartão SD V4.0 Seeedstudio.

TABELA 4
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SHIELD DE CARTÃO SD V4.0 SEEDSTUDIO.

Característica	Mínima	Ideal	Máxima
Voltagem	3,5v	5v	5,5v
Corrente	0,159 mA	100 mA	200 mA
Tipo de cartão suportado	Cartão SD (<= 16G) Cartão Micro SD (<= 2G) Cartão SDHC (<= 16G)		

Para esse experimento foi utilizado um cartão SD de 4GB. Observou-se que cada gravação que ocorre de 30 em 30 minutos possui um tamanho médio de 48bytes, portanto o dispositivo é capaz de armazenar 4,8 mil anos de dados.

O Protoboard é uma placa com furos e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos experimentais conforme mostra a Figura 9. A grande vantagem é a facilidade de inserção de componentes, uma vez que não necessita soldagem. As placas variam de 800 até 6000 pontos, tendo conexões verticais e horizontais. Neste experimento foi utilizado um protoboard de 1280 pontos.

Na superfície de uma matriz de contato há uma base de plástico em que existem centenas de orifícios onde são encaixados os componentes. Em sua parte inferior são instalados contatos metálicos que interligam eletricamente os componentes inseridos na placa.



Figura 9 - Protoboard 1280 pontos.

O dispositivo pode ser alimentado através da conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa que é conectado na placa arduino Uno, conforme a Figura 10. A fonte de alimentação ou bateria deve ser de 7 a 12 V conforme especificação vista na tabela 2. O dispositivo consome em

média 3mA, assim se o mesmo for ligado em uma bateria de carro que fornece 12v/60A, o dispositivo tem energia suficiente para funcionar por 20 mil horas ou 833 dias.

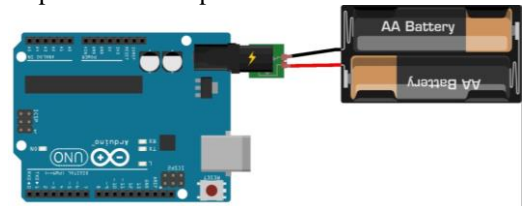


Figura 10 - Arduino utilizando uma fonte de alimentação externa.

C. Software

O software foi desenvolvido utilizando a IDE Arduino 1.0.5 que é disponibilizado sob a licença GPLv2 e pode ser descrito pelo fluxograma detalhado na Figura 11. A codificação foi realizada no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, resultando na primeira versão de teste. Após todo o processo de depuração, através de melhorias e testes foi obtido a versão final do software que possui 571 linhas de programação e tamanho de 26,960Kb. Essa versão consome 84% do total de memória disponível da placa Arduino.

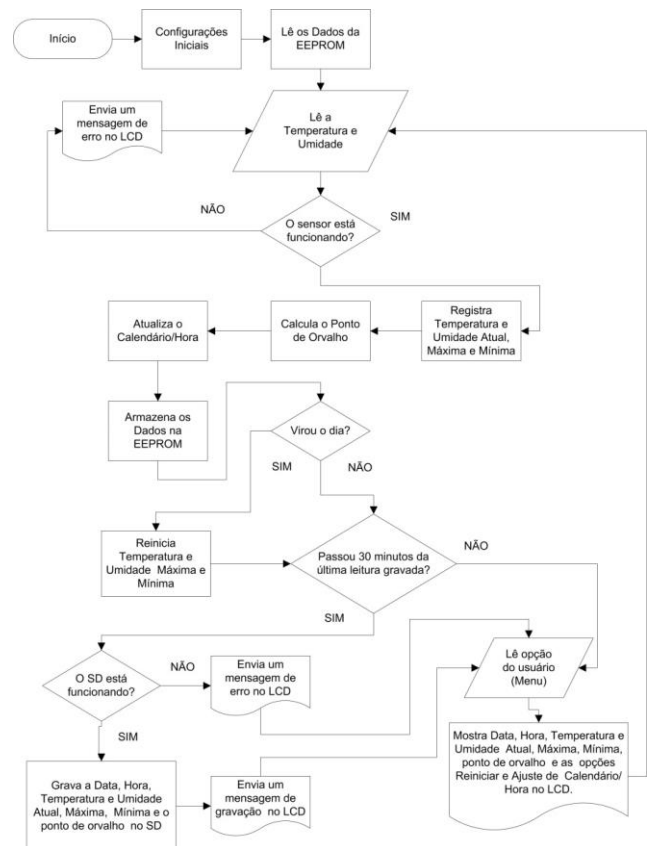


Figura 11 - Fluxograma do Software.

O dispositivo recebe os dados de temperatura e umidade do sensor RHT03 e a partir desses dados é capaz de calcular o ponto de orvalho, utilizando uma função específica para o cálculo conforme ilustra a Figura 12.


```

float PontoDeOrvalho (float celsius , float humidity )
{
    float RATIO = 373.15 / (273.15 + celsius );
    float SUM = -7.90298 * (RATIO - 1);
    SUM += 5.02808 * log10 (RATIO );
    SUM += -1.3816e-7 * (pow (10 , (11.344 * (1 - 1/RATIO ))) - 1) ;
    SUM += 8.1328e-3 * (pow (10 , (-3.49149 * (RATIO - 1))) - 1) ;
    SUM += log10 (1013.246 );
    float VP = pow (10 , SUM - 3) * humidity ;
    float T = log (VP /0.61078 );
    return (241.88 * T ) / (17.558 - T );
}

```

Figura 12 - Função para o Cálculo do Ponto de Orvalho.

Para o cálculo do ponto de orvalho foi utilizada a equação inversa (1) da equação de Tetens's (Tetens, O. 1930. Z. Geophys., 6:297), onde T_d é temperatura do ponto de orvalho em °C e ea é a pressão de vapor em kPa, otimizada para ponto de orvalho em uma faixa de -35°C a 50°C, tendo uma precisão $\pm 0,1^\circ\text{C}$ dentro deste intervalo.

$$T_d = \frac{241.88 \times \ln\left(\frac{ea}{0.61078}\right)}{17.558 - \ln\left(\frac{ea}{0.61078}\right)} \quad (1)$$

Para o cálculo de pressão de vapor (ea) foi utilizando equação (2), onde U é a umidade relativa do ar e a a pressão de saturação de vapor d'água, e^* (hPa).

$$ea = U \times \frac{e^*}{1000} \quad (2)$$

A pressão de saturação de vapor d'água (e^*) foi obtida pela equação (3) que é a equação de Goff-Gratch. Onde c é temperatura do ar em °C.

$$\log e^* = -7.90298 \times \left(\frac{373.15}{(273.15 + c)} - 1 \right) + 5.02808 \times \log \left(\frac{373.15}{(273.15 + c)} \right) - 1.3816 \times 10^{-7} \times \left(10^{\left(11.344 \times \left(1 - \frac{(273.15 + c)}{373.15} \right) \right)} - 1 \right) + 8.1328 \times 10^{-3} \times \left(10^{\left(-3.49149 \times \left(\frac{373.15}{(273.15 + c)} - 1 \right) \right)} - 1 \right) + \log 1013.246 \quad (3)$$

Após o desenvolvimento do software foi feito a integração com o hardware. Para isso foi encaixado o shield SD na placa Arduino UNO e utilizado os 23 jumpers e um protoboard 1280 pontos, conforme mostram as figuras 13 e 14.



Figura 13 - Encaixe do Shield SD sobre a Placa Arduino UNO.

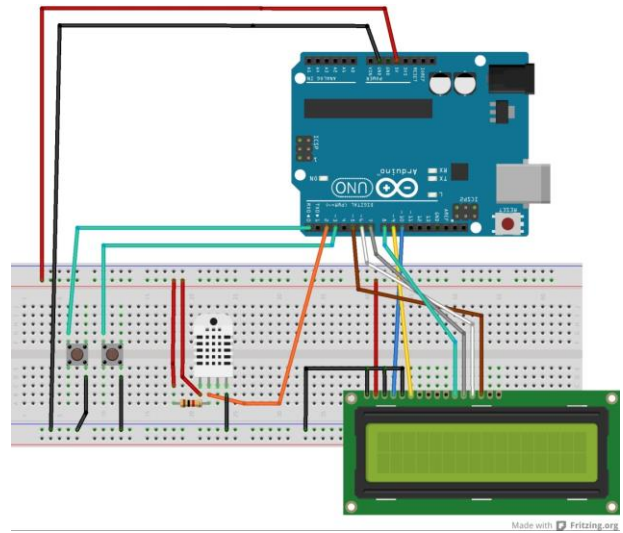


Figura 14. Ligações Elétricas do Circuito.

As ligações elétricas estão descritas pino a pino na tabela 5 a seguir.

TABELA 5
MAPEAMENTO DOS PINOS UTILIZADOS.

Pinos Arduino	Ligado em:	Cor do Jumper
D0 - Pino Digital 0	Botão 1	Verde
D3 - Pino Digital 3	Botão 2	Verde
D2 - Pino Digital 2	Sinal de Dado RHT03 (Pino 2 do sensor)	Laranja
D10 - Pino Digital 10	Register Select LCD	Azul
D9 - Pino Digital 9	Enable LCD	Amarelo
D8 - Pino Digital 8	Data 4 LCD	Verde
D7 - Pino Digital 7	Data 5 LCD	Cinza
D6 - Pino Digital 6	Data 6 LCD	Branco
D5 - Pino Digital 5	Data 7 LCD	Marrom
D4 - Pino Digital 4	SD_CS (Shield SD)	-
D11 - Pino Digital 11	SD_DI (Shield SD)	-
D12 - Pino Digital 12	SD_DO (Shield SD)	-
D13 - Pino Digital 13	SD_CLK (Shield SD)	-

D. Experimento

As medidas foram feitas na Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, localizada na cidade de Itajubá, no Estado de Minas Gerais, Brasil (latitude: 22° 24' 46" S, longitude: 45° 26' 58" W e altitude: 850m).

O experimento foi realizado em duas fases, sendo a primeira feita em um ambiente protegido (15/08/2013 a 02/09/2013), uma casa de vegetação pertencente ao Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (22° 30' de latitude sul, 45°27' de longitude oeste, e altitude: 850 metros), onde foi instalado um abrigo meteorológico que foi confeccionado e instalado segundo as normas da Organização Meteorológica Mundial (OMM). No interior do abrigo foi instalado o dispositivo construído e também instrumentos convencionais, um termômetro de máxima e um termômetro de mínima Incoterm para estações meteorológicas analógicas que possuem um limite de erro de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ e uma escala de -15°C à +60°C e um higrógrafo de cabelo. A segunda fase foi

realizada em uma área de campo (21/12/2013 a 12/01/2014), onde foi instalado o dispositivo em um abrigo meteorológico, voltado para o sul, a cerca de 2 metros da estação meteorológica da Universidade Federal de Itajubá (latitude: S 22 ° 24 ' 49 ", Longitude: O 45°27'7", Elevação: 848,86 m), modelo Davis Vantage Pro 2 Plus, equipada com vários sensores, entre eles: termômetros que apresentam uma faixa de -40°C à +65°C e uma precisão de 0,5°C e higrômetros que apresentam uma faixa de 1% à 100% e uma precisão de 3%RH e 4%RH acima de 90%.

A validação do dispositivo foi feita através da Regressão Linear Simples, e Coeficiente de Determinação ou de Explicação (R^2) (STANTON, 2001) entre termômetro de máxima, mínima e higrógrafo nas condições de ambiente protegido e estação meteorológica em campo.

A regressão linear simples utiliza os coeficientes linear (A) e angular (B) que revelam a exatidão máxima quando $A=0$ e $B=1$. O coeficiente R^2 fornece a porcentagem da variação em Y (variável dependente), que pode ser explicada pela variação em X (variável independente), ou seja, o quanto de variação é comum às duas variáveis (LIRA, 2004) e mostra precisão máxima quando o valor de R^2 tende a 1.

E. Resultados e discussão

A Figura 15 mostra os valores diários medidos de temperatura máxima (a) e mínima (b) para o dispositivo construído e os termômetros de máxima e mínima, em ambiente protegido. Pode-se verificar uma boa concordância entre os dados dos termômetros com os dados do positivo visto que houve uma boa concordância dos mesmos principalmente aos valores de temperatura máxima além de apresentarem valores próximos entre as médias de temperatura máxima (45,75°C e 44,82°C) e mínima (14,47°C e 13,63°C) para o dispositivo e termômetros, respectivamente.

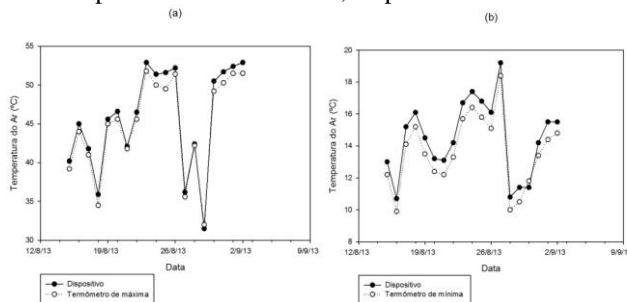


Figura 15 - Valores médios diários da temperatura máxima (a) e mínima (b) do ar para o dispositivo e termômetros específicos, em ambiente protegido.

As equações de regressão e coeficientes de correlação (R^2) do dispositivo são apresentadas na Figura 16, para os termômetros de temperatura máxima (a) e mínima (b). Analisando-se os coeficientes angulares (B) e os de correlação (R^2) obtidos, pode-se deduzir que a exatidão e a precisão das medidas de temperatura realizadas pelo dispositivo é relevante devido à excelente correlação obtida numa abrangente faixa de variação de temperatura de 9,9°C a 51,8°C durante 19 dias em ambiente protegido.

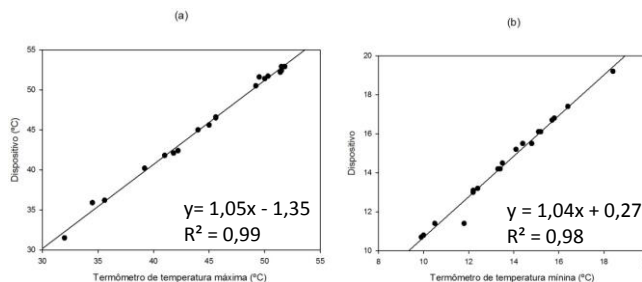


Figura 16 - Correlação entre valores de temperatura do ar obtidos a partir do dispositivo e termômetro de máxima (a) e mínima (b) para as condições de ambiente protegido.

Os valores diários medidos de temperatura máxima (a) e mínima (b) para o dispositivo construído e para a estação meteorológica em campo são apresentados na Figura 17, com valores médios de temperatura máxima do ar de 34,61°C e 30,59°C, e de temperatura mínima do ar de 18,79°C e 18,51°C, respectivamente. Os valores de temperatura máxima entre o dispositivo e os termômetros (contínuos e médios) apresentaram uma maior concordância entre os dados em relação aos obtidos na Figura 16, entretanto, a diferença dos valores de temperatura mínima registrados pela estação e o dispositivo foi menor a encontrada na Figura 15.

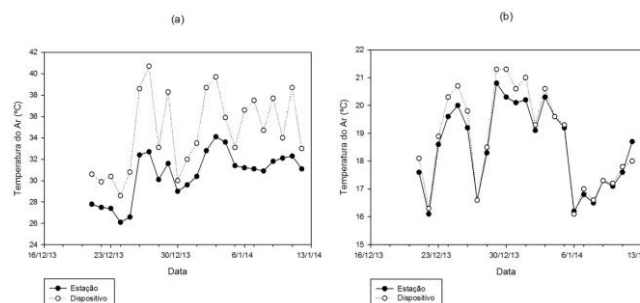


Figura 17 - Valores médios diários da temperatura máxima (a) e mínima (b) do ar para o dispositivo e estação meteorológica em campo.

Já a Figura 18 mostra as equações de regressão e coeficientes de correlação (R^2) entre o dispositivo e a estação meteorológica com valores de temperatura máxima (a) e mínima (b). Avaliando-se os coeficientes angulares (B) e os de correlação (R^2), pode-se inferir que existe uma relação forte entre ambos os instrumentos, visto que o valor de R^2 de temperatura mínima apresentou uma correlação muito forte, enquanto o de temperatura máxima apresentou uma correlação forte.

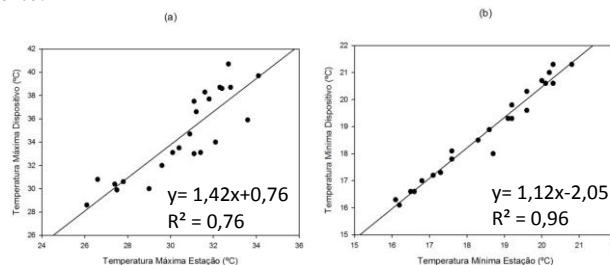


Figura 18 - Correlação entre valores de temperatura do ar máxima (a) e mínima (b) obtidos a partir do dispositivo construídos e estação meteorológica em campo.

Devido à diferença do coeficiente de correlação (R^2) de temperatura máxima em ambiente protegido (0,99) e em campo (0,76), foi feita uma análise na amostra que apresentava a maior divergência de temperatura máxima entre o dispositivo e a estação meteorológica. Essa amostra foi obtida no dia 27/12/2013 às 17h00min quando foi registrada a temperatura de 40,7°C e 32,7°C, respectivamente para o dispositivo e a estação. Pelo gráfico da Figura 19 que é composto de 144 amostras de temperaturas coletadas a cada 30 minutos, é possível observar que a temperatura do dispositivo dos dias 26, 27 e 28/12/14 entre às 16h00min e 18h00min apresenta divergência comparada à estação, enquanto nas demais horas dos dias apresentaram uma maior convergência. A partir dessa análise, verificou-se em campo que raios solares incidiam no dispositivo no período de 16h00min a 18h00min, causando a divergência de temperatura, os quais afetaram a correlação entre valores de temperatura máxima do dispositivo e estação meteorológica em campo.

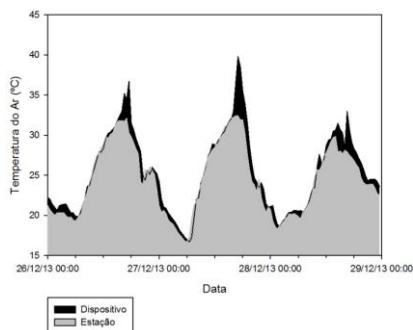


Figura 19 - Valores médios diários de temperatura do ar para o dispositivo e estação meteorológica em campo nos dias 26, 27 e 28/12/14.

A figura 20 mostra as equações de regressão e coeficientes de correlação (R^2) do dispositivo e estação meteorológica dos dias 26, 27 e 28/12/13, descartando as amostras das 16h00min, 16h30min, 17h00min, 17h30min e 18h00min, as quais foram consideravelmente afetadas pela incidência dos raios solares. Analisando o coeficiente angular e os de correlação, pôde-se comprovar a exatidão e a precisão das medidas de temperatura realizadas pelo dispositivo.

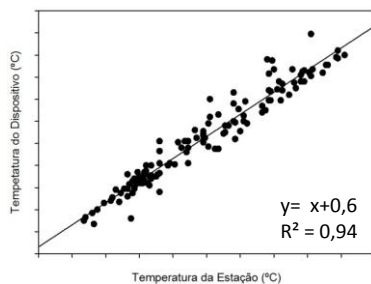


Figura 20 - Correlação entre valores de temperatura do ar para o dispositivo e estação meteorológica em campo nos dias 26, 27 e 28/12/14, descartando as amostras das afetadas pela incidência dos raios solares.

Ainda que algumas dessas amostras tenham sido afetadas pela incidência dos raios solares, obteve-se um coeficiente angular e coeficiente de correlação (R^2) de profusão que podem ser observados na figura 21.

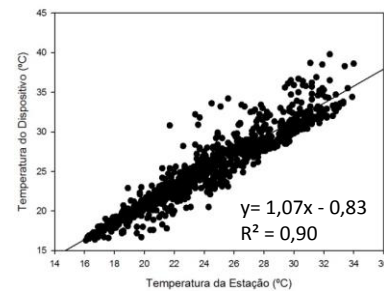


Figura 21 - Correlação entre valores de temperatura do ar obtidos a partir do dispositivo construído e estação meteorológica em campo no período de 21/12/2013 00h29min a 12/1/2014 23h35min, considerando todas as 1103 amostras recolhidas em intervalos de 30 minutos.

A Figura 22 mostra os valores diários mensurados de umidade máxima (a) e mínima (b) para o dispositivo construído e higrógrafo de cabelo, em ambiente protegido. Pode-se verificar uma discrepância entre os dados medidos entre os instrumentos. Além disso, apresentaram valores divergentes entre as médias de umidade máxima (72,33% e 91,46%) e mínima (14,59% e 23,30%) para o dispositivo e higrógrafo de cabelo, respectivamente.

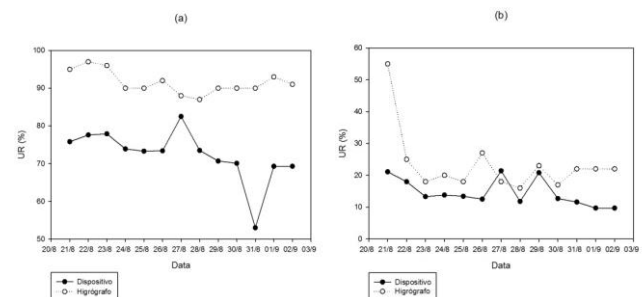


Figura 22 - Variação de umidade máxima (a) e mínima (b) do ar para o dispositivo e higrógrafo de cabelo em ambiente protegido durante o intervalo de 21/06/13 a 02/09/14.

As equações de regressão e coeficientes de correlação (R^2) do dispositivo são apresentadas na Figura 23, para umidade máxima (a) e mínima (b). Analisando-se os coeficientes angulares (B) e os de correlação (R^2) obtidos, pode-se deduzir a disparidade das medidas de umidade realizadas pelo dispositivo comparadas ao higrógrafo de cabelo.

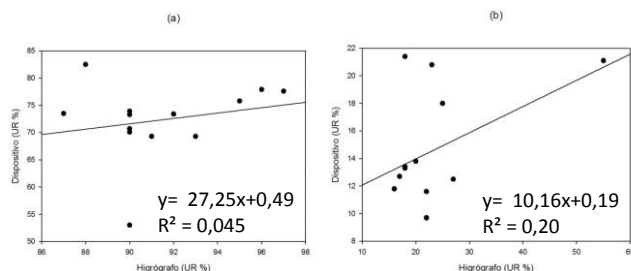


Figura 23 - Correlação entre valores de umidade do ar máxima (a) e mínima (b) obtidos a partir do dispositivo construídos e higrógrafo de cabelo em ambiente protegido durante o intervalo de 21/06/13 a 02/09/14.

Devido a grande discrepância entre os dados mensurados pelo higrógrafo de cabelo e o dispositivo foi feita uma verificação detalhada. Para esta verificação utilizou-se o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (R) e matriz de p-valores (STANTON, 2001).

$$R = \frac{\sum[(x - \bar{x})(o - \bar{o})]}{\{\sum[(x - \bar{x})]^2\}^{1/2} \{\sum[(o - \bar{o})]^2\}^{1/2}} \quad (4)$$

A correlação de Pearson "mensura a direção e o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas" (MOORE, 2007) variando de -1 a 1e quanto maior o valor absoluto de R (seja positivo ou negativo) maior será a adesão entre os valores (SCHNEIDER, 1998). Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

se $0,00 < |R| < 0,30$, existe fraca correlação linear;
se $0,30 \leq |R| < 0,60$, existe moderada correlação linear;
se $0,60 \leq |R| < 0,90$, existe forte correlação linear;
se $0,90 \leq |R| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Para o calculo do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (R) e matriz de p-valores foi utilizando os dados do dispositivo e higrógrafo de cabelo em ambiente protegido e também os dados da estação meteorológica em campo, durante o mesmo período, 21/08/2013 a 02/09/2013. Segundo AGUIAR e SILVA (2000), em um estudo do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar dentro e fora de estufas de polietileno na ausência de cobertura de solo concluiu que a umidade relativa do ar média e máxima não apresentou diferença significativa entre os ambientes.

Os valores de correlação R entre os três instrumentos para umidade média, máxima e mínima são encontrados na tabela 6. Os dados mensurados pelo dispositivo (D) e pela estação meteorológica (E) apresentaram maiores valores de R em todas as variáveis, máxima (0,63), mínima (0,65) e média (0,85), enquanto entre os valores da estação (E) com o higrógrafo de cabelo (I), o coeficiente de correlação maior encontrado foi de 0,42 para umidade máxima, mostrando uma correlação moderada positiva.

TABELA 6
CORRELAÇÃO ENTRE OS TRÊS INSTRUMENTOS PARA UMIDADE MÉDIA, MÁXIMA E MÍNIMA.

CORR D x E		
MAX	MIN	MED
0,627148	0,651202	0,849155
CORR D x I		
MAX	MIN	MED
0,422562	0,390202	0,245727
CORR E x I		
MAX	MIN	MED
0,225786	0,386329	0,040226

Foi também feita uma comparação entre os três instrumentos em horários aleatórios, a fim de avaliar a precisão entre os dados de umidade. A tabela 7 apresenta a matriz de correlação Pearson. Se observa uma correlação forte positiva (0,80) entre os dados do dispositivo (D) e a estação meteorológica (E), enquanto para os dados do dispositivo (D) e o higrógrafo de cabelo (H), e entre os dados do higrógrafo com os da estação, uma correlação moderada positiva (0,45 e 0,49), respectivamente.

TABELA 7
MATRIZ DE CORRELAÇÃO.

	Umi D	Umi E	Umi H
Umi D	1	0,8041356	0,45388255
Umi E	0,8041356	1	0,48778605
Umi H	0,45388255	0,48778605	1

A tabela 8 mostra os valores encontrados a partir da matriz de P-valores. O p-valor apresenta a probabilidade dos valores encontrados serem representativos aos parâmetros populacionais (MOORE, 2007). Adotou-se 5% como nível de significância, ou seja, α igual a 0,05 e valores de p menores ou iguais a α , significam que existe uma correlação significativa entre as variáveis, caso contrario, não haverá associação entre elas.

TABELA 8
MATRIZ DE P-VALORES

	Umi D	Umi E	Umi H
Umi D	1	0,000921386	0,119252161
Umi E	0,000921386	1	0,090842742
Umi H	0,119252161	0,090842742	1

Nas tabelas 6 e 7 pôde-se analisar que o comportamento descrito por AGUIAR e SILVA (2000) não foi observado entre o higrógrafo de cabelo e a estação meteorológica, visto os valores baixos de R. Além disso, o valor de p (Tabela 8) é maior que o nível de significância, portanto não é possível afirmar que exista uma relação entre os dados do higrógrafo de cabelo e estação meteorológica. Entretanto, observou-se uma grande convergência entre o dispositivo em ambiente protegido e a estação meteorológica

em campo, dada a forte correlação linear de umidade máxima e média, a qual pode ser comprovada pela Matriz de P-valores (tabela 8), apresentando valor de p de 0,0009.

Assim, uma das possíveis justificativas encontradas é que o higrógrafo de cabelo pode estar descalibrado devido ao longo tempo de uso e/ou pela presença de poeira no cabelo que pode causar erros de até $\pm 15\%$ nas medidas (WMO, 2008).

Os valores diários medidos de umidade máxima (a) e mínima (b) para o dispositivo e para a estação meteorológica em campo são apresentados na Figura 24, com valores médios de umidade máxima do ar de 97,08% e 94,82% e mínima de 38,60% e 50,93% respectivamente. É possível verificar a mesma tendência, seja de aumento ou diminuição, entre a estação meteorológica e o dispositivo.

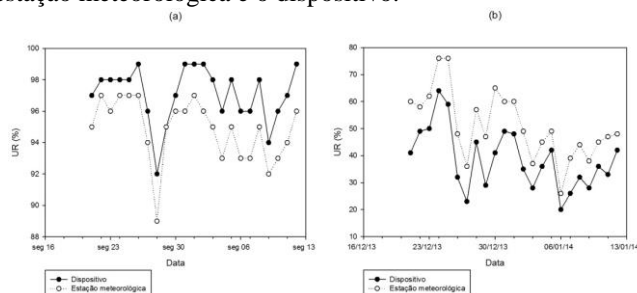


Figura 24 - Variação de umidade máxima (a) e mínima (b) do ar para o dispositivo e estação meteorológica em campo durante o intervalo de 21/06/13 a 02/09/14.

As equações de regressão e coeficientes de correlação (R^2) entre o dispositivo e a estação meteorológica com valores de umidade máxima (a) e mínima (b) podem ser observadas na figura 25. Avaliando-se os coeficientes angulares (B) e os de correlação (R^2), pode-se inferir que existe uma relação forte entre a estação e dispositivo.

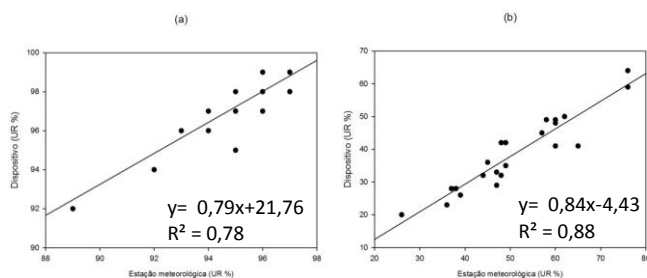


Figura 25 - Correlação entre valores de umidade do ar máxima (a) e mínima (b) obtidos a partir do dispositivo construídos e estação meteorológica em campo durante o intervalo de 21/06/13 a 02/09/14.

Ainda pode-se comprovar a profusão das medidas de umidade do dispositivo na figura 26. Considerando todas as 1103 amostras de umidade coletadas de 30 em 30 minutos no período 21/12/2013 00h30min a 12/1/2014 23h35min, obtiveram-se coeficientes angulares (B) e valores de correlação (R^2) altos, sendo possível identificar uma relação linear entre os dados mensurados pela estação meteorológica e os do dispositivo.

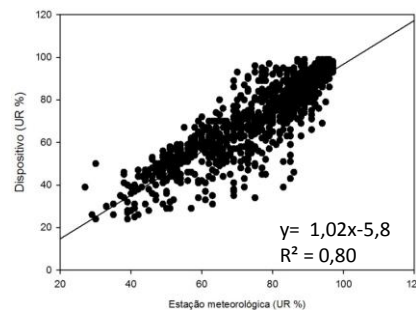


Figura 25 - Correlação entre valores de umidade do ar obtidos a partir do dispositivo construídos e estação meteorológica em campo o período 21/12/2013 00h30min a 12/1/2014 23h35min, considerando todas as 1103 amostras recolhidas em intervalos de 30 minutos.

III. CONCLUSÕES

O dispositivo construído pode ser utilizado para determinação de umidade relativa do ar e temperatura, pois obteve um ótimo desempenho na convergência dos dados mensurados aos instrumentos convencionais, não havendo necessidade de um observador na coleta de dados, visto que o dispositivo registra automaticamente e continuamente as variáveis meteorológicas, seja em ambiente protegido ou em campo. Além disso, possui uma fácil construção e manutenção, possibilitando estudos agrometeorológicos com baixo custo de aquisição.

REFERÊNCIAS

- [1] Emerson; CUNHA, Antonio Ribeiro da. Avaliação de temperatura e umidade relativa do ar em estufa com cobertura de polietileno. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro - RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000.
- [2] CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- [3] LIRA, S. A. Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia dos Setores de Ciências Exatas e de Tecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- [4] MOORE, David S. The Basic Practice of Statistics. New York, Freeman, 2007.
- [5] PIRES, D.P.L.; AFONSO, J.C.; CHAVES, F.A.B. A termometria nos séculos XIX e XX. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, V.28, n. 1, p. 101-114, mar. 2006.
- [6] SCHNEIDER, P.R. Análise de regressão aplicada à engenharia florestal. 2.ed. Santa Maria: Ed. UFSM/CEPEF, 236p., 1998.
- [7] SILVA, K.O.; Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade relativa e temperatura do ar. 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- [8] STANTON, Jeffrey M. (2001), “Galton, Pearson, and the peas: A brief history of linear regression for statistics instructors”. Journal of Statistical Education, 9,3. Disponível em: <http://www.amstat.org/publications/JSE/v9n3/stanton.html>, 2001.
- [9] TETENS, O., 1930. Über einige meteorologische Begriffe z. Geophys. 6:297-309.
- [10] WMO: World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Ed 8, 2008.