

## **Comparação de desempenho de sensores de baixo custo com sensores comerciais para a coleta de dados ambientais**

*Comparison of acting of low cost sensors with commercial sensors for environmental data collection*

*Comparación de rendimiento de sensores de bajo coste con sensores comerciales para la colección de datos ambientales*

**Luís Augusto Gomes Rocha**

Mestre, UNESP, Brasil.  
*luis.augusto.gomes.rocha@gmail.com*

**Barbara Aparecida Romão da Silva**

Discente, FARO, Brasil.  
*barbaraars@hotmail.com*

**Daryelen Inês Costa**

Discente, FARO, Brasil.  
*daryelen.costa@faroroseira.edu.br*

**RESUMO**

A medição de variáveis meteorológicas é de suma importância, visto que diversas atividades são direta e indiretamente afetadas por essas, para isto existem diversos sistemas e equipamentos, com finalidades específicas, envolvendo o monitoramento destas. Entretanto, a maioria desses sistemas e equipamentos disponíveis no mercado possuem alto custo, o que normalmente inviabiliza sua utilização em larga escala. Este trabalho propõe o desenvolvimento da placa microcontroladora (Arduíno) com sensores de baixo custo, para o monitoramento em tempo real da temperatura ambiente, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, como por exemplo para pesquisas que necessitem de equipamentos para o monitoramento climático. A metodologia aplicada consistiu na calibração dos sensores adquiridos, na montagem e instalação da placa microcontroladora e na leitura e melhoramento dos dados. O sensor BME280 apresentou-se o melhor custo-benefício para a leitura de pressão, temperatura e umidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensores. Baixo custo. Monitoramento climático.

**ABSTRACT**

*The measurement of meteorological variables is of paramount importance, since several activities are directly and indirectly affected by these, for this there are several systems and equipment, with specific purposes, involving the monitoring of these. However, most of these systems and equipment available in the market have a high cost, which usually makes their use in large scale. This work proposes the development of the microcontroller board (Arduino) with low-cost sensors for the real-time monitoring of ambient temperature, relative humidity and atmospheric pressure, for example for research in need of equipment for climate monitoring. The methodology applied consisted of calibration of the acquired sensors, the assembly and installation of the micro-controller board and the reading and improvement of the data. The BME280 sensor was the most cost-effective for reading pressure, temperature and humidity.*

**KEY WORDS:** Sensors. Low cost. Climate monitoring.

**RESUMEN**

*La medición de variables meteorológicas es de suma importancia, ya que diversas actividades son directa e indirectamente afectadas por éstas, para esto existen diversos sistemas y equipos, con fines específicos, en-volviendo el monitoreo de éstas. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas y equipos disponibles en el mercado poseen alto costo, lo que normalmente inviabiliza su utilización a gran escala. Este trabajo propone el desarrollo de la placa microcontroladora (Arduíno) con sensores de bajo costo, para el monitoreo en tiempo real de la temperatura ambiente, humedad relativa del aire y presión atmosférica, como por ejemplo para investigaciones que necesiten equipos para el monitoreo climático. La metodología aplicada consistió en la calibración de los sensores adquiridos, en el montaje e instalación de la placa microcontroladora y en la lectura y mejoramiento de los datos. El sensor BME280 ha sido el mejor costo-beneficio para la lectura de presión, temperatura y humedad.*

**PALABRAS CLAVE:** Sensores. Bajo costo. Monitoreo climático.

## INTRODUÇÃO

O incremento crescente da população mundial possui um impacto direto na demanda por alimentos e recursos, tendo parte desse abastecimento fornecido por produções em sistemas controlados através de estufas. Os fatores ambientais significativos no interior de estufas para a qualidade e melhor produtividade são temperatura, umidade relativa, iluminação, umidade do solo e Quantidade de CO<sub>2</sub>, sendo que o monitoramento contínuo desses fatores fornece informações relativas aos efeitos individuais de cada um dos fatores fornecendo informações para tomada de decisões nos tratamentos culturais (HANGGORO, 2013).

De forma em geral pequenos agricultores não possuem recursos necessários para implementação da automatização dos processos produtivos tendo dificuldade em detectar com precisão o nível de umidade e temperatura dentro de estufas. Dentro deste contexto é pertinente pesquisas e desenvolvimento focando plataformas e sensores de baixo custo que apresentem correlações próximas a soluções comerciais.

Uma das plataformas de desenvolvimento em código aberto e de baixo custo mais conhecida é a Arduino, que consiste em uma base de *hardware* para a construção, de forma rápida, de circuitos eletrônicos, associados à uma IDE de código aberto. A mesma possui um microcontrolador da família AVR 328P, de grande confiabilidade, que pode atingir uma velocidade de 20MHz, de 8 bit e 32 kB de memória flash, além de 1 kB de memória EEPROM, 2 kB de RAM, que conta ainda com conversor analógico digital interno de 10 bits (BANZI, 2012).

A utilização dessa plataforma Arduino pode ser feita através da utilização de sensores, necessários para um sistema de aquisição de dados, pois, conforme Soloman (2009), a coleta de dados ambientais necessita de fenômenos do mundo real, sensores, condicionamento de sinal, hardware para a aquisição de dados e controle dos sensores e um sistema interfaces de comunicação.

Uma das tantas possibilidades disponíveis em módulos comerciais de baixo custo para a plataforma Arduino está o LM35, sensor esse de baixo custo que, segundo o fornecedor, não necessita de calibração externa ou "*trimming*" para fornecer leituras com precisão. Apresenta valores de temperatura com variações de  $\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$  ou  $\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ , dentro da faixa de temperatura de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $150^{\circ}\text{C}$ . Este sensor tem saída de baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que a interface de leitura seja bastante simples, reduzindo o custo de todo o sistema, por essa razão. (CRESPI, CERON, 2010).

Outro dispositivo do mesmo grupo é o sensor de Pressão e Temperatura BMP180, totalmente compatível em termos de *firmware* e interface com a plataforma Arduino. É um sensor compacto e com baixo consumo de energia elétrica, pois atua numa faixa de 0,5  $\mu\text{A}$ , o que o torna boa opção para sistemas alimentados por baterias. Nessa alternativa, o módulo se comunica com o microcontrolador usando a interface I2C, que já é fornecido calibrado de fábrica.

Em consonância é pertinente salientar a existência do sensor do mesmo fabricante denominado BME280 (Bosch Sensortec), que combina sensores de pressão, temperatura e umidade. O sensor BME280 fornece medições com tempo rápido (1 segundo) em grande faixa: pressão, de 300 a 1100 hPa, temperatura de  $-40$  a  $85^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 0 a 100%.

Desta forma este trabalho propõe estudar a aplicação na plataforma Arduino de cinco sensores de baixo custo em comparação com a Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. (Modelo CR23X), munida do sensor Vaisala modelo HMP45C referente as variáveis ambientais de temperatura e umidade relativa do ar em uma estufa localizada na Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP Campus de Botucatu.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi utilizado a plataforma Arduino, iniciando-se pela inserção do código, montagem em “protoboard” visando os testes dos sensores, utilizando display “Nextion”, para auxiliar no processo de depuração e ajuste dos códigos. As bibliotecas montadas bem como a seleção dos sensores foram pautados em sua relação de custo benefício, chegando aos modelos BMP180, BME280, DHT11, DHT22 e LM35, apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Tabela de sensores utilizados no projeto

Variável	Sensor	Fabricante	Preço médio (R\$)
Pressão	BMP180	Bosch Sensortec Co., Ltd	12
Pressão	BME280	Bosch Sensortec Co., Ltd	30
Temperatura	BMP180	Bosch Sensortec Co., Ltd	12
Temperatura	BME280	Bosch Sensortec Co., Ltd	30
Temperatura	DHT11	Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd	15
Temperatura	DHT22	Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd	42,9
Temperatura	LM35	Texas Instruments Incorporated	9,5
Umidade	BME280	Bosch Sensortec Co., Ltd	30
Umidade	DHT11	Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd	15
Umidade	DHT22	Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd	42,9

Fonte: Valores comerciais médios / Dolar cotado 3,88 (2018).

Para a programação do microcontrolador foi utilizada a IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, sendo esta desenvolvida em linguagem JAVA baseado no projeto *Processing*, na biblioteca AVR-gcc (para microcontroladores da família AVR) disponíveis para as plataformas *Windows* e *Linux*.

Para a confecção das placas foi implementado os circuitos desenvolvidos no “protoboard”, utilizando-se *Fritzing*, um *software* de código aberto que possui a facilidade de criação de peças e suas respectivas pinagens (LIAO, 2015). Após o desenho do circuito o mesmo foi exportado para produção em formato “.SGV” para ser inserido na Máquina *Router Laser VS4040*.

Uma vez o arquivo pronto para a impressão na *Router*, foram preparadas placas de cobre com aplicação de “*dryfilm*” que é sensível a exposição da luz ultravioleta. Tal método é semelhante ao fotográfico, porém sem a necessidade um impresso o negativo da placa. O arquivo em SGV é convertido para G-CODE utilizada na *Router Laser* a fim de retirar a tinta no local que será corroído pelo percloro. Na figura 1 a seguir apresenta-se o fluxo de prototipagem.



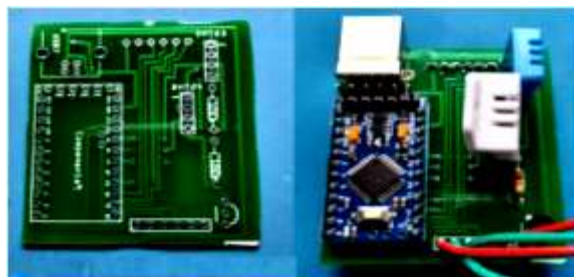
Figura 1 - Fluxo de produção da prototipação



Fonte: próprios autores (2018).

Após os testes efetuados nas placas, um modelo final foi testado e selecionado para ser enviado para fabricação (empresa WAY PCB), sendo essas montadas e testadas a fim de serem instaladas no local para coleta de dados. Na figura 2 a seguir apresenta-se o modelo final da placa de coleta dos parâmetros desejados (pressão, temperatura e umidade).

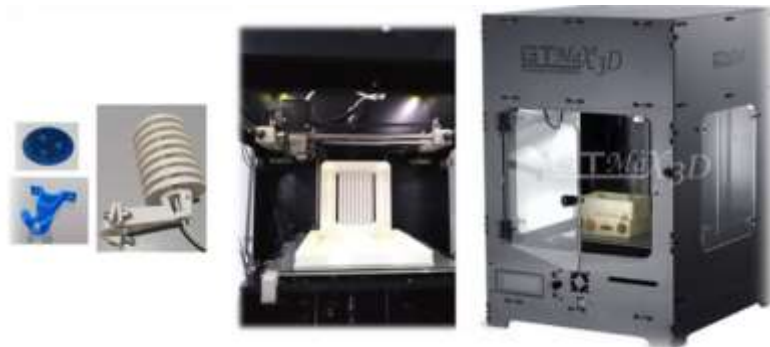
Figura 2 - Placa de coleta de temperatura e umidade



Fonte: próprios autores (2018).

Para a criação do abrigo dos sensores utilizou a impressora GTMAX3D CORE A2, seguindo o procedimento de Fernandes (2016), realizando as etapas de criação do modelo CAD 3D, conversão dos dados no formato ".STL" e importação para a impressora efetuando a impressão através do fatiamento do arquivo em finas camadas transversais e a construção física do modelo.

Figura 3 - Abrigo dos sensores



Fonte: GTMaz 3D / Próprios autores (2018).

Após a confecção das placas, as variáveis foram aferidas e calibradas, utilizando-se como referência os medidores comerciais (Tabela 2), para que fosse possível obter um ajuste. É pertinente salientar que foi possível constatar variação de leitura ( $1^{\circ}\text{C}$  de temperatura e 1,9% Umidade Relativa), para mesmo parâmetro aferido, apresentado pelos medidores comerciais, criando assim uma média geral para o ajuste. Os modelos e valores de leitura são apresentados na Figura 4 e detalhados na Tabela 2.

Figura 4 - Medidores comerciais



KR7755 - Akrom

HM-875 - Highmed

Fonte: Akrom / Highmed (2018).

Tabela 2 - Relação de sensores comerciais utilizados

Variável	HM-875	Akrom KR-7755
Temperatura	-20 a 60°	-10 a 60°C
Umidade	0 a 100%	0 a 100%
Ponto de Orvalho	-40 a 60	-
Vento frio	-40 a 10	-
Velocidade do vento	0,7 a 30 m/s	-
Pressão	300 a 1100 hPa	-
Altitude	-500 a 9000 m	-
Iluminação	0 a 55000 Lux	-
Dióxido de Carbono	-	0 a 2000 ppm
Fabricante	Higmed	Akrom

Fonte: Akrom / Highmed (2018).

Uma vez efetuado o ajuste inicial implementou a instalação de três unidades do modelo final da placa de sensores (dispositivos construídos – Dc), instaladas em paralelo com o sensor da Estação Meteorológica Automática (registro do dispositivo confiável – Rdc), presente na estufa:

Tabela 3 - Relação de sensores da estação automática

Variável / Data Log	Modelo / Tipo
<u>Temperatura</u>	<u>Vaisala modelo HMP45C</u>
<u>Umidade</u>	<u>Vaisala modelo HMP45C</u>
Chuva (mm)	Pluviômetro modelo Ville de Paris
Radiação solar global (MJ/m <sup>2</sup> )	Sensor Kipp & Zonen modelo CM3
Velocidade do vento a 2m de altura (m/s)	Sensor Me One modelo 034 <sup>a</sup>
Direção do vento a 2m de altura (graus)	Sensor Me One modelo 034 <sup>a</sup>
Estação Meteorológica Automática	Campbell Scientific Inc - CR23X

Fonte: Campbell Scientific Inc / Vaisala (2018).

Implementou-se o registro por um período de três meses das placas (Dc) mantendo a frequência dos dados gerados pela estação (Rdc) buscando os fatores de correlação (Fc) entre as leituras em conjunto. Os dados coletados foram ajustados seguindo a metodologia apresentada por KREYSZIG (2006), aplicando-se o Método de Mínimos Quadrados para determinação de ordem apropriada de polinômio, sendo possível estabelecer uma sequência de pares ordenados (Dc, Rdc), para ajustes de curvas.

Figura 5 - Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X



Fonte: Próprios autores (2018).

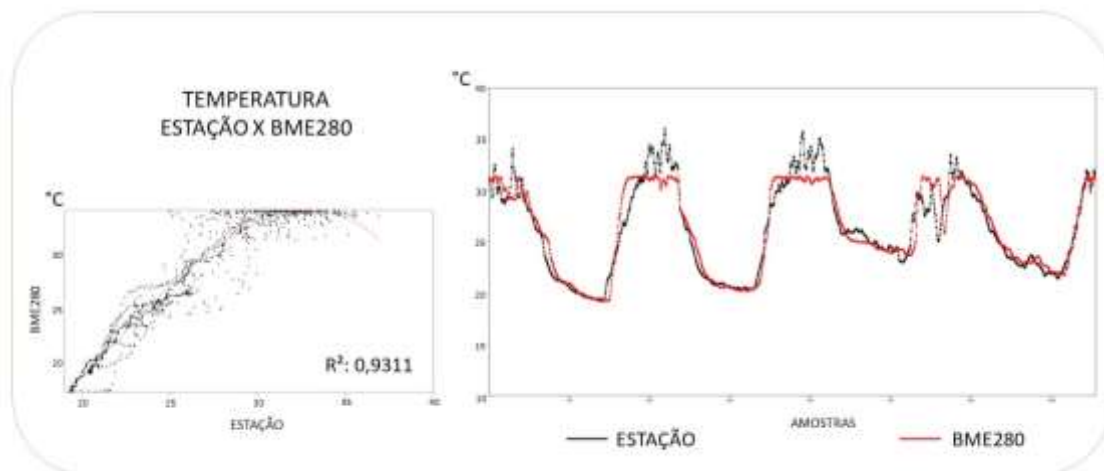
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto foi implementado na UNESP – Botucatu aferindo em paralelo as variáveis ambientais com os sensores de baixo custo em comparação com a Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X composto do sensor Vaisala modelo HMP45C. A calibração se deu através de leituras em paralelo dos protótipos a estação aferida supracitada, juntamente com o uso do método estatístico conhecido como Método dos Mínimos Quadrados Generalizados (PRESS, 1992) possibilitando estabelecer uma sequência de pares ordenados objetivando técnicas de ajustes de curvas. Os polinômios e ajuste bem como os gráficos e pontos de correlação podem ser vistos no Anexo I facilitando assim a comparação entre todos os sensores sendo descritos abaixo apenas os de maiores correlações.

Referente a variável de temperatura foi possível demonstrar uma correlação média de  $r^2=0,9311$  entre o sensor BME280 Bosch Sensortec's em relação ao Vaisala modelo HMP45C utilizado na estufa; os valores aferidos entre a amplitude de 15 a 32 ° apresentaram a maior correlação quando comparado a temperaturas acima dessa amplitude o que demonstra que o sensor possui alta correlação porém uma sensibilidade baixa a variações bruscas de temperatura. Dentro deste contexto é pertinente salientar que por mais que a sensibilidade entre os sensores não possa ser comparada, os valores comerciais demonstram que as aplicações do sensor de baixo custo se apresentam como alternativa em situações em que não é vital tal acuracidade.



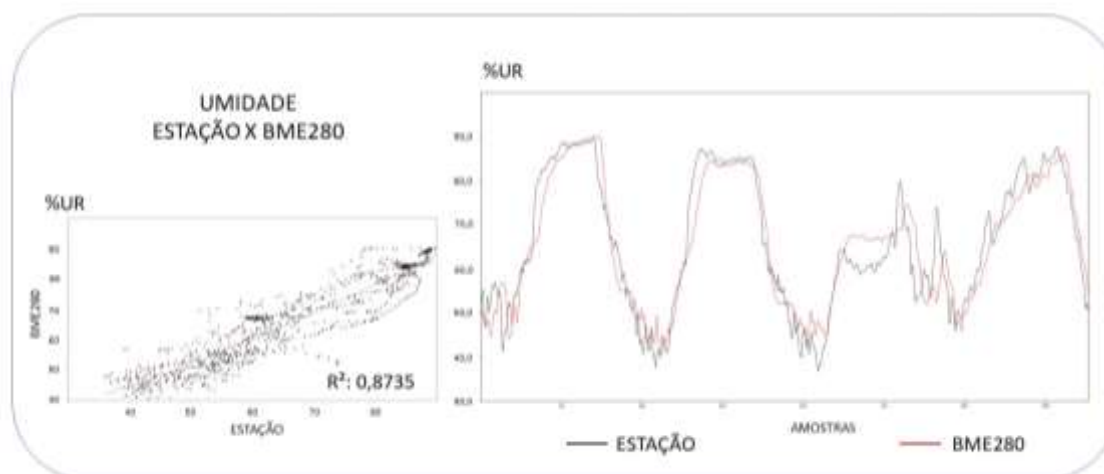
Figura 6 - Ajuste para Temperatura BME280 Bosch Sensortec's



Fonte: Próprios autores (2018).

Ao que se trata da variável de umidade relativa do ar demonstrou que dentro os sensores escolhidos o que demonstrou maior correlação com foi sensor BME280 Bosch Sensortec's apresentando valor de  $r^2 = 0,8735$ ; os valores aferidos de erro médio foram da casa de 7 ~ 9 % de umidade relativa; essa diferença se deu principalmente pela morosidade em que o sensor apresentava para acompanhar variações bruscas de umidade na ocorrência de eventos pluviométricos.

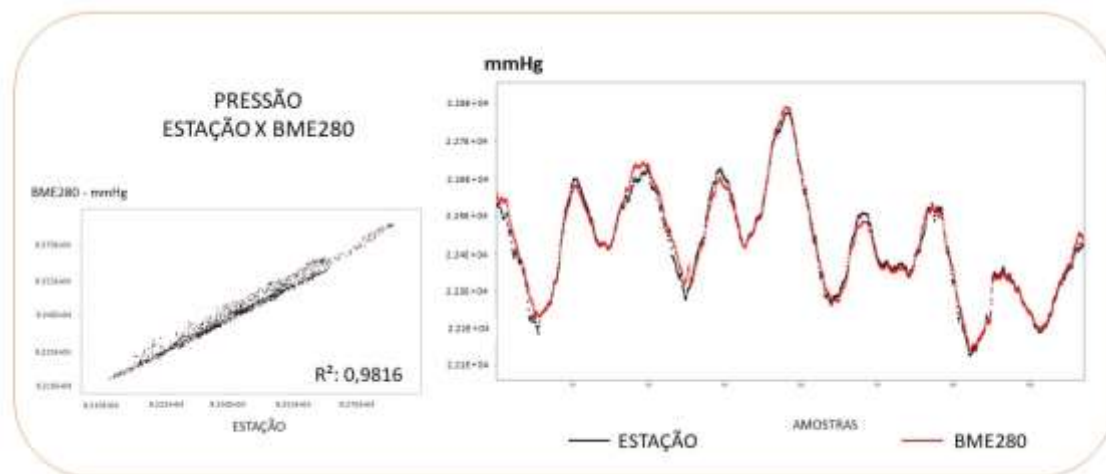
Figura 7 - Ajuste para Umidade Relativa do Ar BME280 Bosch Sensortec's



Fonte: Próprios autores (2018).

Por fim no que se concerne as análises referente a variável de pressão atmosférica o sensor que apresentou maior correlação relação ao Vaisala modelo HMP45C utilizado na estufa foi também o BME280 Bosch Sensortec's com  $r^2 = 0,9816$ ; a alta correlação apresentada exibe que o sensor pode ser utilizado em projetos onde a variável em questão é aferida com o ganho do baixo valor de mercado e facilidade de implementação do sensor.

Figura 8 - Ajuste para Pressão Atmosférica BME280 Bosch Sensortec's



Fonte: Próprios autores (2018).

Por fim é pertinente salientar que os ajustes polinomiais foram elaborados usando com base específico da estação presente na estufa da Unesp - Botucatu, que após ajuste, verificou-se uma melhora significativa nas curvas dos sensores do dispositivo construído, tendo erro absoluto diminuído sensivelmente, como pode ser atestado pelas figuras 6 até 8. No Anexo I também é possível analisar a matriz de correlação dos outros sensores analisados após ajuste de curvas.

## CONCLUSÃO

Sabendo da importância da disponibilidade/coleta de dados ambientais, este trabalho apresentou uma rede de sensores para aplicações que envolvam monitoramento ambiental com uma abordagem de baixo custo para as mediadas das variáveis, tais como pressão, temperatura e umidade relativa do ar. Para a obtenção das variáveis ambientais, foi utilizado o microcontrolador Arduino, que mostrou-se como uma ferramenta útil, bem como de fácil utilização e principalmente, de baixo custo, capaz de auxiliar na determinação das variáveis de interesse, desde que os sensores estejam devidamente calibrados (condições reais que os sensores devem atuar).

Após as análises dos dados podemos concluir que o BME280 possui o melhor custo benefício para a leitura de pressão, temperatura e umidade, pois além de apresentar melhores correlações, o mesmo possui um baixo consumo de energia.

Analisando os gráficos com a aplicação dos polinômios de ajuste visualiza-se que os sensores utilizados responderam a variações quando comparado aos sensores de referência, porém alterações abruptas nos valores de leitura não são acompanhadas pelos sensores de baixo custo, necessitando de um tempo maior de estabilização das leituras, sendo assim os sensores

de baixo custo são indicados para leituras em estufas e trabalhos que não necessitem de uma grande acurácia (a acurácia pode ser entendida como a exatidão do valor, em que um sensor descreve o quão próximo o valor obtido está do real, modelando assim o erro que se pode esperar de um sensor), sendo esses recomendados utilizar sensores comerciais com alto valor agregado que possuem maior sensibilidade a essas alterações.

## AGRADECIMENTO

O primeiro agradecimento vai para a FAPESP, que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa financiando através do projeto PIPE – N° 2017/08693-6, bem como os professores Ana Maria Gomes, Irae Amaral Guerrine, Alexandre Dal Pai e Renan de Lima Sousa. Agradecemos o convenio entre UNESP e os alunos da Faculdade de Roseira – FARO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZI, Massimo et al. Arduino uno. 2012.

CRESPI, Roger; CERON, Tágore Argenta. Sensor de temperatura LM35. **Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias**, p. 2, 2009.

FERNANDES, Alisson Vinicius Souza; MOTA, Felipe Augusto Oliveira. Impressoras 3D: Uma Compreensão da Evolução e Utilização. **Anais dos Simpósios de Informática do IFNMG-Campus Januária**, n. 2, 2016.

HANGGORO, Aji et al. Green house monitoring and controlling using Android mobile application. In: **2013 International Conference on QIR**. IEEE, 2013. p. 79-85.

KREYSZIG, E.; *Advanced Engineering Mathematics*. Edição 9. Ohio, Columbus, EUA. John Wiley & Sons, Inc, 2006. 1094p. ISBN 978-0-471-48885-9.

SOLOMAN, Sabrie. **Sensors handbook**. McGraw-Hill, Inc., 2009.

SENSORTEC, Bosch. BMP085 digital pressure sensor data sheet. **2018-10-15**. <http://www.bosch-sensortec.com>, 2018.

SCIENTIFIC, Campbell et al. CS615 water content reflectometer instruction manual. **Campbell Scientific Inc**, 1996.

TIANLONG, Ni. Application of Single Bus Sensor DHT11 in Temperature Humidity Measure and Control System [J]. **Microcontrollers & Embedded Systems**, v. 6, p. 026, 2010.

LIAO, Ping-Sung; LEE, Chein-Hua. Applying Open Source Softwares Fritzing and Arduino to Course Design of Embedded Systems. **International Journal of Automation and Control Engineering**, v. 4, n. 1, p. 40-44, 2015.

## ANEXO I – GRAFICOS E DISTRIBUIÇÃO

Figura 9 - Ajuste para Temperatura LM35

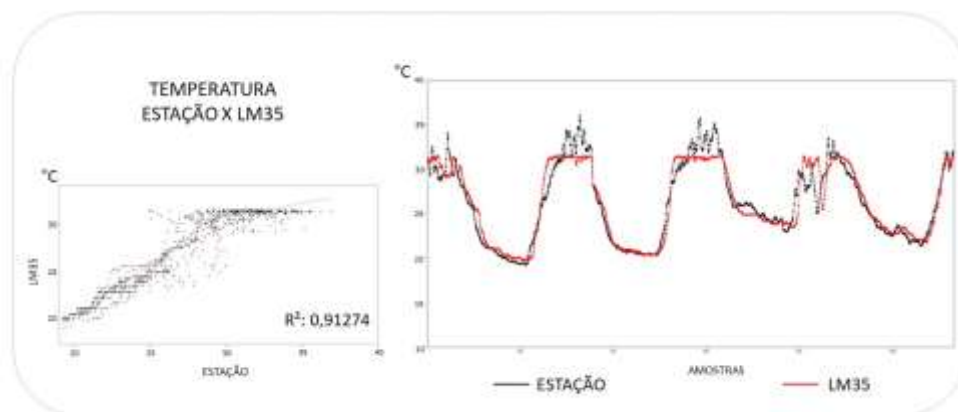


Figura 10 - Ajuste para Temperatura DHT11

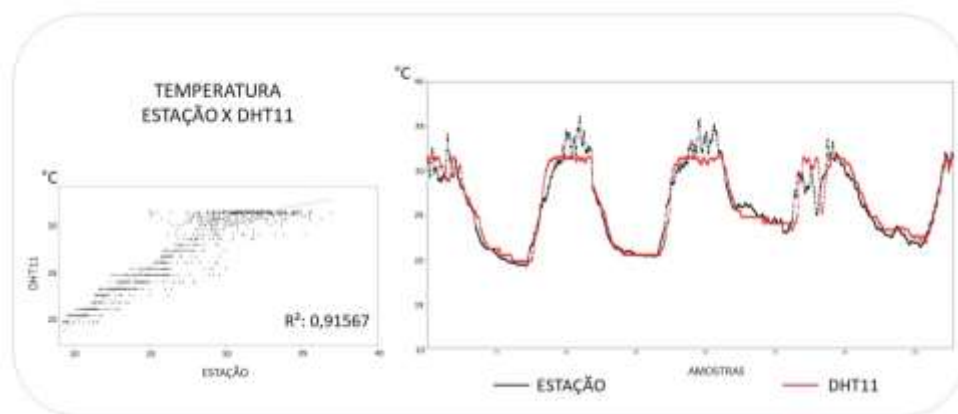




Figura 11 - Ajuste para Temperatura DHT22

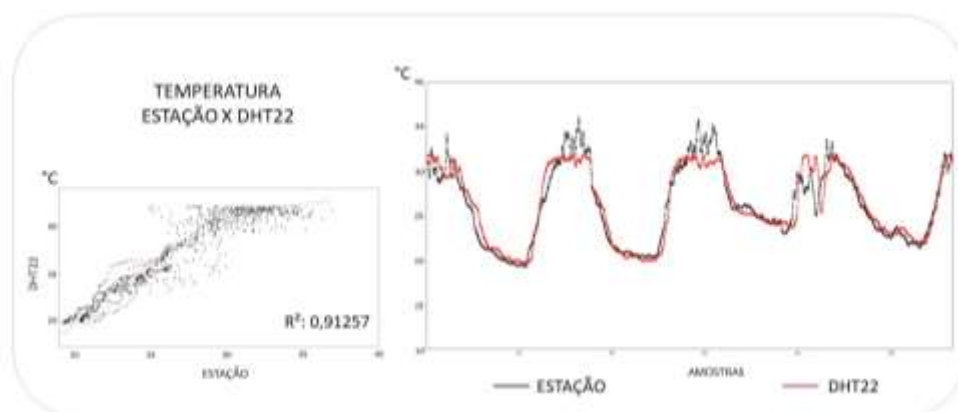


Figura 12 - Ajuste para Temperatura BMP180

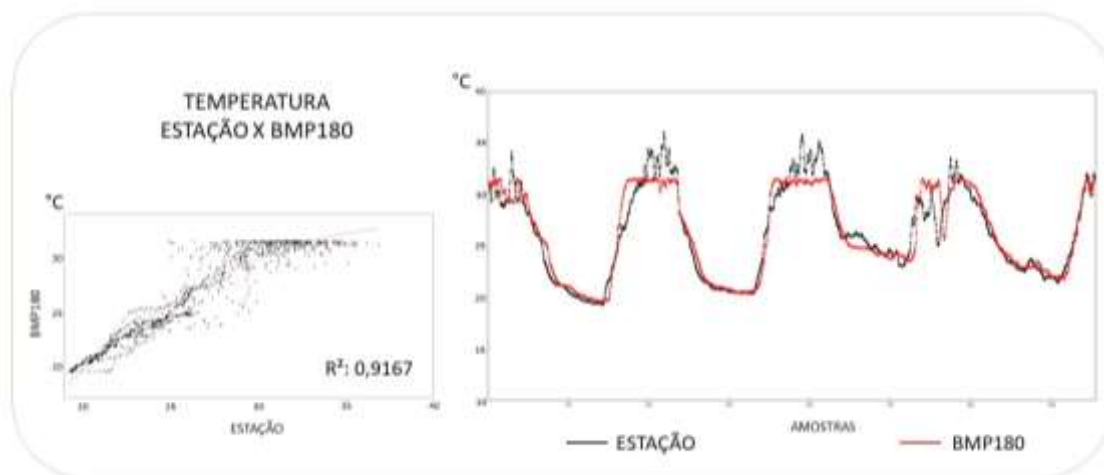


Figura 13 - Ajuste para Temperatura BME280

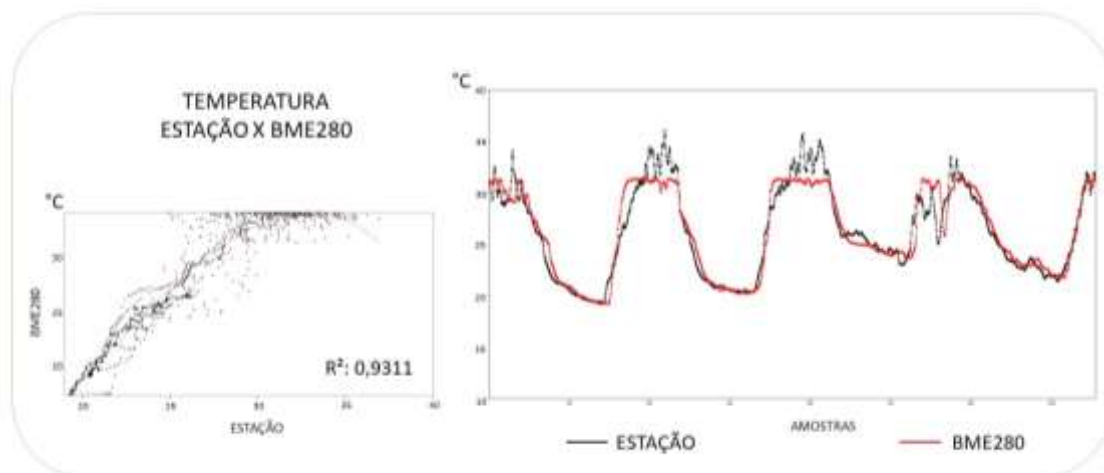


Figura 14 - Ajuste para Umidade Relativa do Ar DHT11

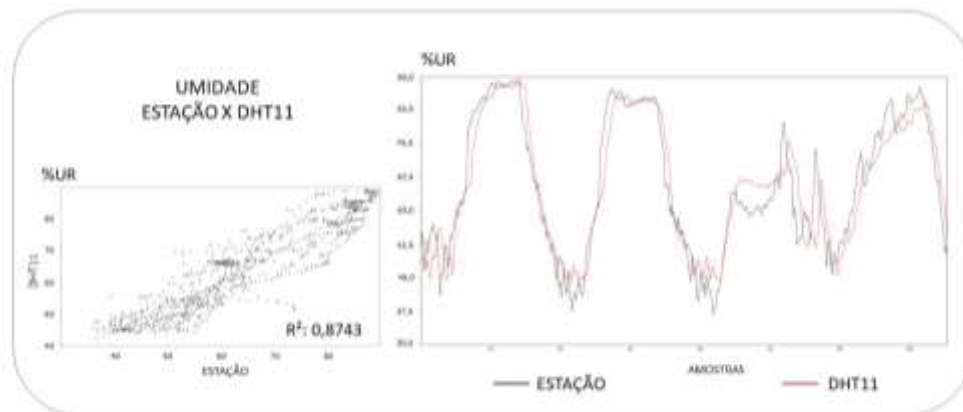


Figura 15 - Ajuste para Umidade Relativa do Ar DHT22

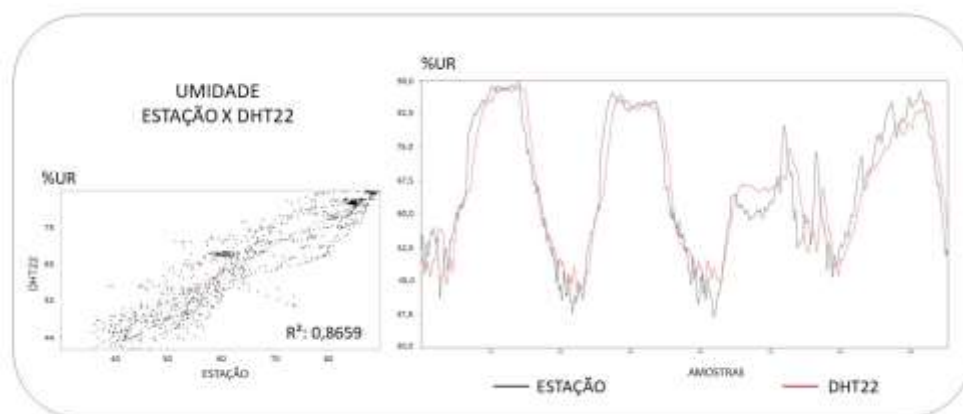


Figura 16 - Ajuste para Umidade Relativa do Ar BME280

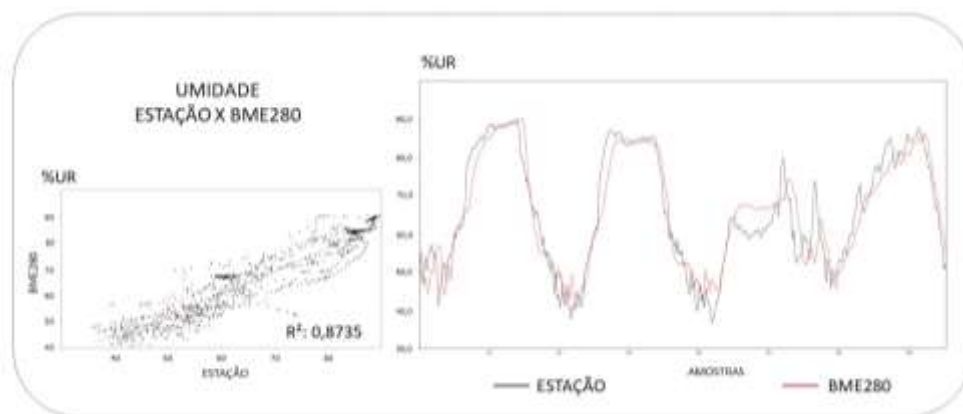


Figura 17 - Ajuste para Pressão Atmosférica BMP180

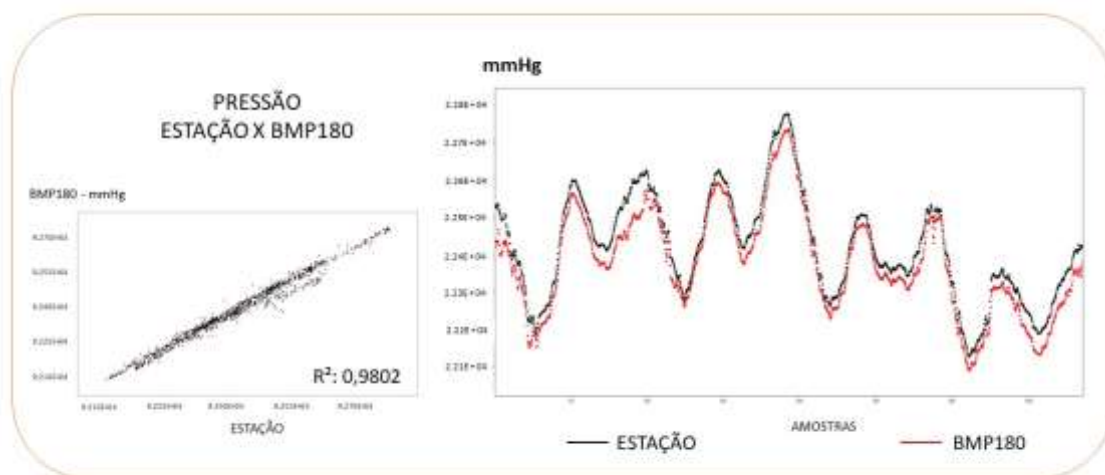


Figura 18 - Ajuste para Pressão Atmosférica BME280

