

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**GILBERTO DE OLIVEIRA FERREIRA**

**Montagem de um datalogger de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino e o sensor BME280, aplicado a estudos em climatologia**

**Assembling low cost datalogger using Arduino platform and BME280 sensor, applied to climatology studies**

São Paulo  
2019

GILBERTO DE OLIVEIRA FERREIRA

**Montagem de um datalogger de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino e o sensor BME280, aplicado a estudos em climatologia**

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo  
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Catálogo na Publicação**  
**Serviço de Biblioteca e Documentação**  
**Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo**

F383m      Ferreira, Gilberto de Oliveira  
                 Montagem de um datalogger de baixo custo,  
                 utilizando a plataforma Arduino e o sensor BME280,  
                 aplicado a estudos em climatologia / Gilberto de  
                 Oliveira Ferreira ; orientador Emerson Galvani. -  
                 São Paulo, 2019.  
                 40 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade  
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da  
Universidade de São Paulo. Departamento de  
Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. CLIMATOLOGIA. 2. CLIMATOLOGIA ESTATÍSTICA. 3.  
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS. I. Galvani, Emerson, orient.  
II. Título.

À Rute Maria Ferreira, mãe, amiga e  
companheira que nunca mediu esforços para que eu  
chegasse até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, pela atenção, apoio e paciência durante o processo de definição e orientação deste trabalho

À Amanda Cristaldo Pimentel, pelo amor, carinho, atenção, companheirismo, dedicação, ânimo e auxílio na produção e compreensão dos gráficos. Sem ti, esse trabalho jamais seria concluído.

À professora Dra. Milana Lima dos Santos e ao professor Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini ambos do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por me receberem e me darem uma aula sobre o uso de pilhas.

Ao professor Dr. Marco Antônio da Silva Ramos, por ter me aceito no Coro de Câmara Comunicantus. Tal experiência tornou minha graduação mais musical e prazerosa.

Aos veteranos e veteranas Cibele Dantas, Ana Lígia Guerra (Aninha), Alex Soria (Bolívia), Beatriz Scigliano (Bia), Tatiana, Erivelton, Tarcísio, Márcio Marcos entre tantos outros, pelos toques dados no início da graduação e pela amizade que permanece.

Aos amigos de turma Aline Garmes, André Ramalho, Bruno Misson, Felipe Junqueira, Gabriela Talpo, Istvan Neves, Isaac Scher, Lucas Macedo e Marcelo Biane, que, entre um trabalho de campo e outro, entre uma festa e outra foi construída uma relação que persiste.

## RESUMO

FERREIRA, Gilberto de Oliveira. **Montagem de um datalogger de baixo custo, utilizando a plataforma Arduino e o sensor BME280, aplicado a estudos em climatologia**. 2019. 40 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Esse trabalho de graduação individual aborda o uso da plataforma de prototipagem Arduino na construção de um dispositivo datalogger de baixo custo, para coleta e armazenamento de informações climáticas, tais como: temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica. As informações coletadas no experimento foram comparadas com os dados coletados pela Estação Meteorológica Automática Experimental (EMAE), mantida pelo Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. A comparação das informações coletadas foi realizada utilizando ferramentas da estatística descritiva, tais como, valores máximos, mínimos e médios, além do coeficiente de determinação  $R^2$  obtido pelo modelo de regressão linear. O resultado da comparação entre os valores analisados ficaram dentro do especificado pelo fabricante do sensor, ademais, o coeficiente de determinação apresentou resultado superior a 90% em todas as variáveis. Inferimos que o dispositivo datalogger de baixo custo pode ser uma alternativa viável para aquisição de informações meteorológicas. Espera-se que esse trabalho de graduação individual possa contribuir para que outros trabalhos utilizando a plataforma Arduino possam ser realizados no âmbito da Geografia e da Climatologia.

Palavras-chave: Climatologia. Climatologia Estatística. Estações Meteorológicas.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Indicação das 7 estações italianas integradas à Rede Médici. 1- Florença; 2- Vallombrosa; 3- Pisa; 4- Cutilgliano; 5- Bolonha; 6- Parma e 7- Milão (estação 8 Innsbruck, Áustria) ..... | 11 |
| Figura 2: Distribuição das estações meteorológicas automáticas no Brasil. ....  | 12 |
| Figura 3: Distribuição das estações meteorológicas convencionais no Brasil .....  | 13 |
| Figura 4: Arduino e seus principais componentes .....   | 18 |
| Figura 5: Exemplo de código feito na IDE do Arduino .....   | 19 |
| Figura 6: Sensor BME280 .....   | 23 |
| Figura 7: Miniabrigo Abc .....  | 24 |
| Figura 8: Variação Temporal da Temperatura .....  | 27 |
| Figura 9: Modelo de regressão linear para temperatura média. ....   | 29 |
| Figura 10: Modelo de regressão linear para temperatura mínima. ....   | 29 |
| Figura 11: Modelo de regressão linear para temperatura máxima. ....   | 30 |
| Figura 12: Variação temporal da pressão. ....   | 30 |
| Figura 13: Modelo de regressão linear para pressão média. ....  | 31 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Componentes do experimento e seus custos.....   | 26 |
| Tabela 2: Especificações do sensor de temperatura .....   | 28 |
| Tabela 3: Valores médios de $T_{máx}$ , $T_{mín}$ , $T_{méd}$ e $P_{méd}$ para o período de observação..... | 31 |



## SUMÁRIO

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....                 | 9  |
| 2 METODOLOGIA.....                | 16 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....     | 17 |
| 3.1 O Arduino .....               | 17 |
| 3.2 Revisão Bibliográfica .....   | 19 |
| 4 OBJETIVOS.....                  | 22 |
| 4.1 Objetivo principal.....       | 22 |
| 4.2 Objetivos Específicos .....   | 22 |
| 5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS ..... | 23 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....     | 27 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....      | 33 |
| 8 BIBLIOGRAFIA.....               | 35 |
| 9 ANEXO 1 .....                   | 38 |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios a humanidade apresenta um estreito relacionamento com os fenômenos atmosféricos. Imaginemos o seguinte cenário: um indivíduo há milhares de anos decide sair de sua caverna de manhã para explorar o ambiente ao seu redor. Antes de iniciar sua jornada exploratória, ele se detém por alguns instantes observando o vôo e o canto dos pássaros, a direção do vento e a formação das nuvens. Após sua breve observação, conclui que o melhor a ser feito é retornar à sua caverna e aguardar que o temporal prestes a se formar se dissipe (WOLF, 1963).

Sem entender muito bem como se dava o funcionamento dos fenômenos da natureza, o ser humano muitas vezes recorreu aos mitos, às divindades e às forças sobrenaturais para elucidar seus questionamentos.

Tendo por pressuposto que o objeto de estudo da Climatologia é, em sua essência, abstrato e não pode ser apreendido apenas pelos órgãos sensoriais do ser humano se faz necessário o uso de dois expedientes: a observação intermediada por instrumental técnico e a percepção temporal evolutiva dos processos observados (VENTURI, 2011, p. 108).

Por meio dos avanços obtidos pela ciência, avanços esses na área instrumental e no pensamento científico, nossa compreensão a respeito dos fenômenos atmosféricos mudou consideravelmente, sobretudo após o surgimento e utilização dos computadores para a realização da previsão do tempo<sup>1</sup>. A forma como os dados são coletados e trabalhados hoje também é diferente de como eram coletados antes do surgimento dos equipamentos digitais. Se no século XVII, quando foi criada a primeira rede meteorológica, chamada de Rede Médici, a existência de estações meteorológicas convencionais era esparsa, hoje, com o advento das tecnologias digitais, as estações meteorológicas automáticas estão espalhadas ao redor do globo. Apenas como exemplo, a Rede Médici era composta por 11 estações meteorológicas instaladas pela Europa, das quais 7 estavam localizadas na Itália (CAMUFFO; BERTOLIN, 2012).

A Figura 1 apresenta a distribuição de algumas das estações pertencentes à Rede Médici no séc. XVII.

---

1-Previsão de Tempo: descrição detalhada de ocorrências futuras esperadas. A previsão do tempo inclui o uso de modelos objetivos baseados em certos parâmetros atmosféricos, a habilidade e experiência de um meteorologista. Também chamada de prognóstico. (fonte: <<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#p>> acessado em 13 de outubro de 2018)

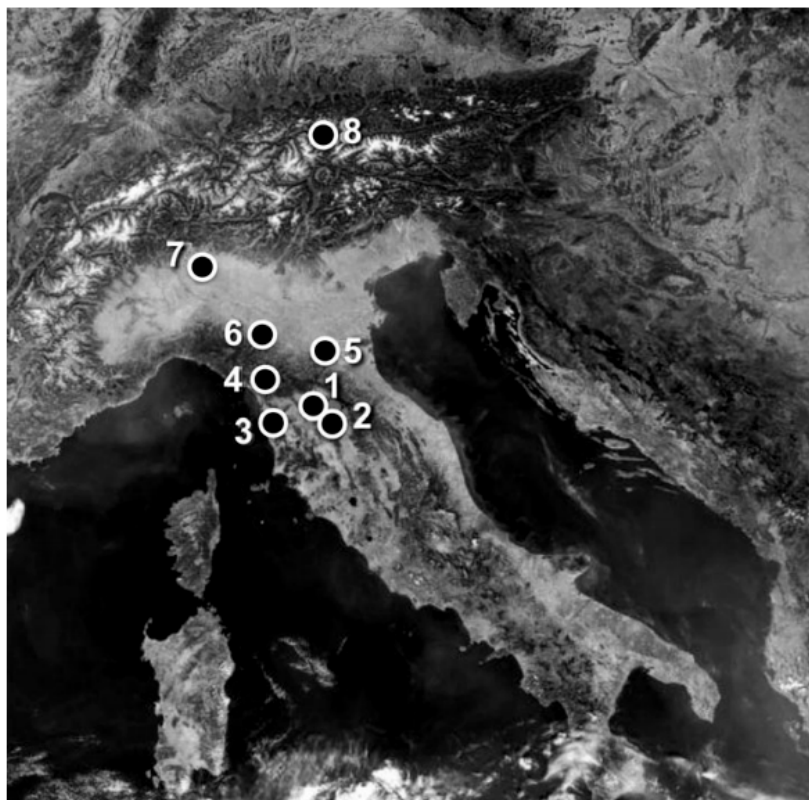


Figura 1: Indicação das 7 estações italianas integradas à Rede Médici. 1- Florença; 2- Vallombrosa; 3- Pisa; 4- Cutilgliano; 5- Bolonha; 6- Parma e 7- Milão (estação 8 Innsbruck, Áustria) (Adaptado de CAMUFFO; BERTOLIN, (2012)).

Sobre as tecnologias digitais em instrumentos meteorológicos, Azevedo e Funari (2001) apontam como principais vantagens do uso dessa tecnologia:

[...] a eliminação da etapa de transcrição do formato papel para o formato digital e conferência[...]; [...] a supressão de erros humanos na leitura de instrumentos; acesso à informação sobre localidades remotas ou esparsamente habitadas; e, sobretudo, redução do custo da mão de obra necessária na etapa de observação, e, conseqüentemente do custo unitário da própria informação (AZEVEDO; FUNARI, 2001, p. 148).

Termômetros, barômetros, pluviômetros, higrômetros, anemômetros e tantos outros instrumentos utilizados para medições das condições atmosféricas deixaram de ser instrumentos exclusivamente analógicos com o advento das inovações tecnológicas, passando a adotar tecnologias digitais. Esses instrumentos estão presentes nas estações meteorológicas, sejam elas automáticas ou convencionais (com instrumentos analógicos).

A Figura 2 apresenta como estão distribuídas as 572 estações meteorológicas automáticas instaladas em território nacional.

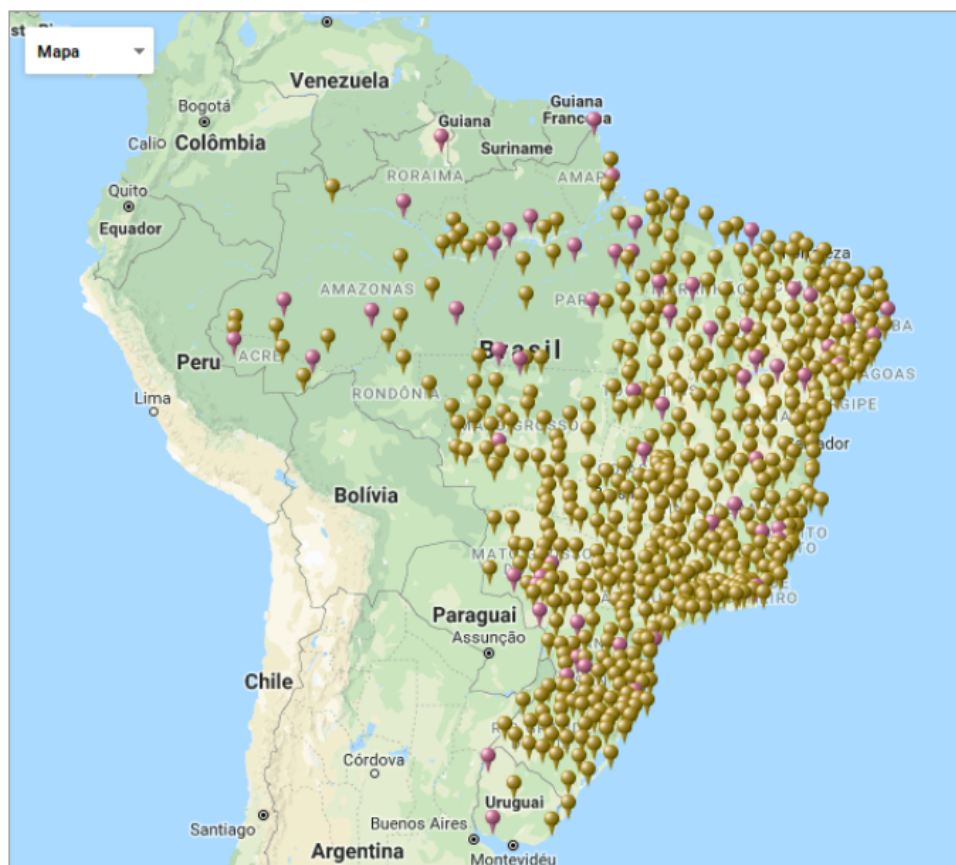


Figura 2: Distribuição das estações meteorológicas automáticas no Brasil.  
(fonte: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> acessado em 13 de outubro de 2018)

Já na Figura 3, observa-se a distribuição das 206 estações meteorológicas convencionais existentes no Brasil.



Figura 3: Distribuição das estações meteorológicas convencionais no Brasil (fonte: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>> acessado em 13 de outubro de 2018)

Souza e Galvani (2006) analisaram a evolução quantitativa e qualitativa da rede de estações meteorológicas no Estado do Paraná no período de 1889 a 2006. Nesse estudo, os autores constataram que:

O estado do Paraná implantou um grande número de estações meteorológicas convencionais na década de 1970, tendo seu boom no ano de 1975. Considera-se que esse fato se deu, em parte, devido as intensas geadas ocorridas nesse período (SOUZA; GALVANI, 2006, p.10).

Com o passar dos anos, as estações meteorológicas instaladas na década de 1970 foram paulatinamente desativadas e substituídas por estações automáticas. Dentre os motivos dessa substituição estão a facilidade na operacionalização, redução dos custos com pessoal, maior confiabilidade e fidelidade dos dados registrados ou medidos assim como a instalação desse tipo de estação em lugares mais remotos e de difícil acesso (SOUZA; GALVANI, 2006), corroborando o que fora dito por Azevedo e Funari (op. cit.).

Acredita-se que o caso estudado no Paraná seja um microcosmo do território brasileiro, razão pela qual existam mais estações automáticas que convencionais, guardadas as devidas especificidades de cada Estado.

Na literatura acadêmica existem vários trabalhos relacionados à comparação entre os dados obtidos por meio de uma estação convencional e uma estação automática. Funari e Filho (2010) realizaram um estudo das variáveis meteorológicas das estações instaladas no Parque Estadual Fontes do Ipiranga em São Paulo (PEFI). Os autores concluíram que os dados obtidos através das duas estações guardam entre si uma alta correlação e qualidade, possibilitando um acompanhamento detalhado dos elementos meteorológicos obtidos no PEFI.

Semelhantemente, Souza; Galvani e Assunção (2003) realizaram um estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. Utilizando os elementos meteorológicos, a saber: temperatura do ar máxima, média e mínima; umidade relativa do ar média e pressão atmosférica média, os pesquisadores fazem uso de ferramentas estatísticas como coeficiente de determinação; índice de concordância de Willmott e por meio do erro associado ao coeficiente angular da reta de regressão para comparar os dados obtidos mediante a utilização das estações. Concluiu-se que os elementos meteorológicos, em sua maioria, apresentaram significativa concordância.

Nota-se que o desenvolvimento da tecnologia tem favorecido não somente a obtenção de dados atmosféricos com uma quantidade e qualidade melhores, mas também tem beneficiado aqueles que possuem menor poder aquisitivo. Os inúmeros projetos de softwares livres, como LibreOffice, Qgis entre outros, tem possibilitado o acesso à produção e visualização de dados, que antes somente era possível através da utilização de softwares proprietários.

Além dos softwares livres, existem projetos de hardware “*open source*”, ou seja, de “código aberto”. O termo *open source* surge como resultado das reuniões frequentes de desenvolvedores de softwares que ocorreram entre o final de 1997 e início de 1998 no *Foresight Institute*. Christine Peterson do *Foresight Institute* sugere aos presentes o nome *open source* no lugar de “*free software*” (BRETTHAUER, 2001).

Em linhas gerais, o *open source* é uma prática na qual são disponibilizadas as estruturas básicas do software e hardware que concedem a terceiros a capacidade de realizar aprimoramentos na tecnologia. Um exemplo de utilização da licença *open source* é o

Arduino, uma plataforma de prototipagem que foi utilizada neste trabalho para coleta de dados atmosféricos.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada na realização deste trabalho pode ser dividida em três grandes etapas, a saber: 1- Fundamentação teórica; 2- Desenvolvimento do protótipo e 3- Análise estatística dos dados coletados.

A primeira etapa foi dividida em duas atividades principais que podem ser consideradas como norteadoras das demais etapas deste trabalho. A primeira atividade consistiu em estudar e entender o funcionamento da plataforma Arduino, seus acessórios e quais sensores são compatíveis. A segunda atividade consistiu em realizar uma revisão bibliográfica relacionada à utilização da plataforma de prototipagem Arduino para aquisição de dados meteorológicos. Nesta atividade foram exploradas referências nacionais e internacionais a fim de validar a ideia apresentada, além de agregar valor ao trabalho através da bibliografia, pode-se avaliar os resultados obtidos em trabalhos que utilizaram temáticas semelhantes.

A segunda etapa do trabalho constituiu-se em construir o protótipo desejado. Nela foram adquiridos os materiais necessários (hardware) para a concepção do *datalogger*, assim como foi elaborado o programa (software) que contém as informações necessárias para a leitura do sensor, interpretação dos dados lidos e gravação dos dados em cartão de memória. Nessa etapa foram realizados testes com o protótipo a fim de verificar seu funcionamento e viabilidade.

A terceira etapa do trabalho consistiu em realizar análise dos dados coletados pelo protótipo e compará-los com os dados coletados pela Estação Meteorológica Automática Experimental (EMAE), mantida pelo Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. Para a realização desse exame foram utilizadas ferramentas da estatística descritiva, a saber, valores máximos, mínimos e médios, e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos dados coletados pela estação meteorológica do laboratório e do *datalogger* experimental. No início pensou-se em utilizar o software de estatística R para realizar tais diagnósticos, visto que tal software é gratuito e específico para tal finalidade, contudo, a falta de familiaridade com tal ferramenta nos obrigou a seguir outro caminho, assim, utilizamos o software LibreOffice Calc que também é gratuito.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O Arduino

A utilização da plataforma Arduino nos estudos climáticos pode ser considerada nova, visto que a própria tecnologia é bem recente e remonta ao ano de 2005. Nesse ano, o professor Massimo Banzi, docente do *Interaction Design Institute* na cidade de Ivrea na Itália, procurava um meio de tornar o uso de recursos tecnológicos para seus alunos de design mais acessível economicamente.

Ao lado do pesquisador David Cuartielles, da Universidade de Malmö, na Suécia, Banzi e Cuartielles decidiram:

[...] desenvolver um microcontrolador que poderia ser utilizado pelos seus estudantes de arte e design em seus projetos. As principais exigências eram que fosse barato [...] e que fosse uma plataforma que qualquer pessoa pudesse utilizar (EVANS, NOBLE, HOCHENBAUM, 2013, p. 25).

Uma das razões de seu sucesso é que o microcontrolador foi projetado para que entusiastas fossem capazes de gerar soluções para problemas do dia a dia sem precisar de anos de estudos em uma escola de engenharia. Segundo Santos *et al.* (2016),

A ascensão do open hardware, por sua vez, tende a democratizar a produção de objetos para o mundo físico quando torna o hardware mais acessível inclusive a não especialistas em eletrônica (SANTOS et al., 2016, p. 2411).

Isto posto, a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino é uma pequena placa com um circuito eletrônico que contém um microcontrolador da marca Atmel® com várias portas de entrada e saída de dados, digitais e analógicos (Figura 4). Segundo Bagnara (2013):

Um microcontrolador possui basicamente a mesma arquitetura de blocos de um computador, ou seja, possui CPU (Central Processing Unit), memória e dispositivos de entrada e saída de informações ou dados (BAGNARA, 2013, p. 25).

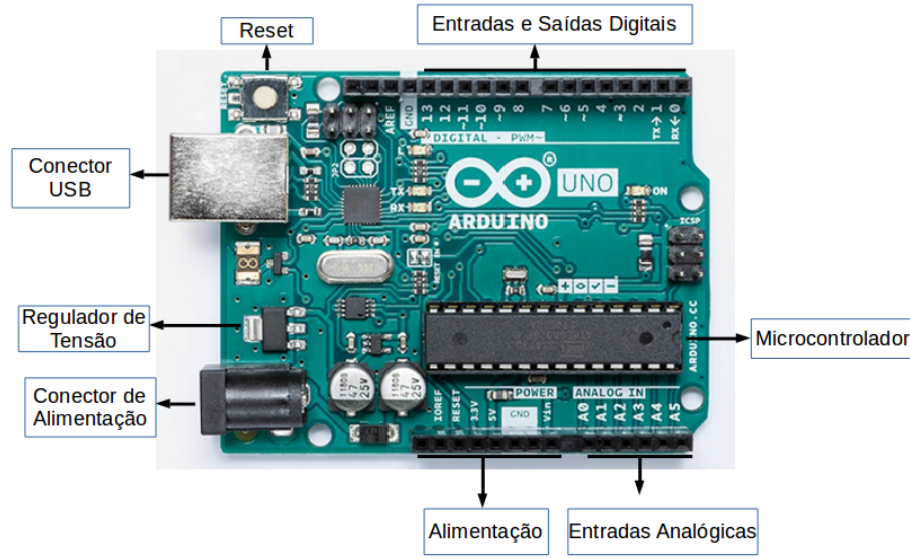


Figura 4: Arduino e seus principais componentes (fonte: Adaptado de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>).

De modo geral, o Arduino segue o padrão da Figura 4, possuindo uma entrada USB, uma entrada para fonte de alimentação externa, um regulador de tensão, pinos para controle de sinais de entrada e saída, pino de “terra” e “Vin” além dos pinos para entradas analógicas.

A plataforma conta com um ambiente de desenvolvimento integrado (Figura 5), IDE (*Integrated Development Environment*), cujo download é livre e funciona em qualquer sistema operacional. Ela é composta de um editor, um compilador, um carregador e um monitor serial.

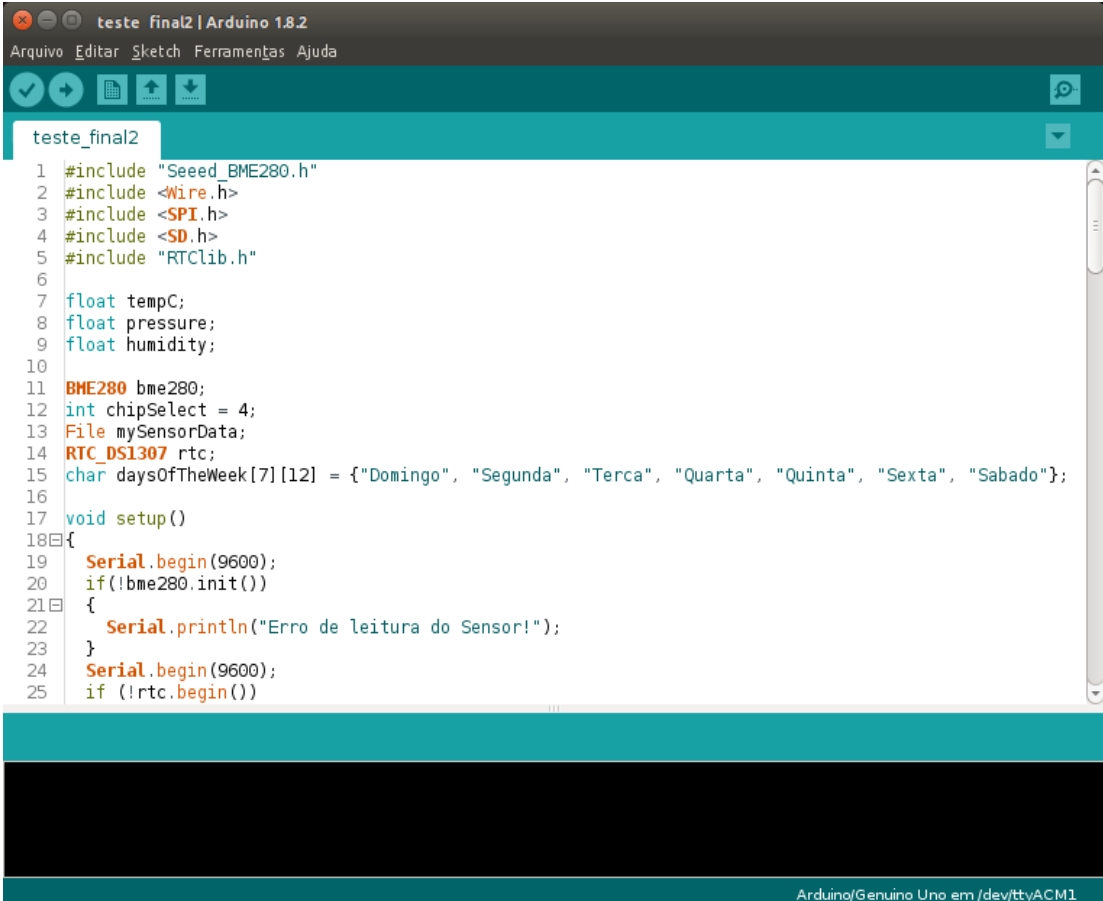
Esse ambiente permite que o desenvolvedor possa escrever o código, testá-lo para verificar eventuais erros de sintaxe e enviá-lo ao microcontrolador, desde que este esteja conectado ao computador no qual o código está sendo enviado, e acompanhar a leitura dos sensores através do monitor serial.

A linguagem utilizada para a programação é essencialmente C/C++ (Figura 5). Uma das vantagens é a disponibilidade de uma grande quantidade de bibliotecas de programas, de acesso livre, que usadas como sub-rotinas, facilitam a comunicação com os mais diferentes tipos de sensores. Embora Santos (op. cit.) afirme que tal plataforma tenha sido desenvolvida para entusiastas e existam inúmeros programas prontos que podem ser facilmente encontrados na internet, é importante salientar que dependendo do tipo de aplicação, se faz necessário algum conhecimento prévio de programação e eletrônica básica.

Outra vantagem da plataforma é a conexão com outras placas, chamadas de *shields*. Um *shield* (cuja tradução literal do inglês é escudo) é uma extensão de hardware que se

conecta modularmente ao Arduino de forma a estender sua pinagem original, interpretando seus bits e incrementando sua capacidade.

Devido a essa notável flexibilidade como plataforma de controle e aquisição de dados, já existe uma extensa relação de trabalhos de aplicação da placa Arduino na obtenção de dados atmosféricos. Veremos alguns desses trabalhos a seguir.



```
teste_final2 | Arduino 1.8.2
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

teste_final2
1 #include "Seeed_BME280.h"
2 #include <Wire.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <SD.h>
5 #include "RTClib.h"
6
7 float tempC;
8 float pressure;
9 float humidity;
10
11 BME280 bme280;
12 int chipSelect = 4;
13 File mySensorData;
14 RTC_DS1307 rtc;
15 char daysOfTheWeek[7][12] = {"Domingo", "Segunda", "Terca", "Quarta", "Quinta", "Sexta", "Sabado"};
16
17 void setup()
18 {
19   Serial.begin(9600);
20   if(!bme280.init())
21   {
22     Serial.println("Erro de leitura do Sensor!");
23   }
24   Serial.begin(9600);
25   if (!rtc.begin())
```

Figura 5: Exemplo de código feito na IDE do Arduino(fonte: Projeto do próprio autor)

### 3.2 Revisão Bibliográfica

A utilização da plataforma Arduino tem se multiplicado de forma significativa e nas mais diversas áreas do conhecimento. Coleta de dados meteorológicos, monitoramento de inundações e chuvas, compartilhamento de dados atmosféricos e ambientais, medição de CO<sub>2</sub> e ensino de Física, são algumas das aplicações que veremos a seguir.

Em Bangladesh, Islam *et al* (2014) implementou um sistema de monitoramento de inundações, no qual os níveis de água são monitorados remotamente. O sistema também envia avisos antecipados de eventos, notificações, via dispositivos móveis, quando a água atinge

níveis críticos e acesso a todas as informações através de um website. Tal trabalho utiliza a plataforma Arduino para controlar os sensores de nível e enviar os dados a um servidor através de uma placa de rede sem fio (ISLAM et al., 2014).

O trabalho de Anju Latha e Rama Murty (2016) é bastante semelhante ao trabalho desenvolvido pela equipe de Bangladesh. Em seu trabalho, o intuito é detectar o nível de água da chuva usando um sensor de chuva e enviar mensagem de texto para uma pessoa especificada após um tempo predeterminado. Segundo os autores, *this is a low cost simple experiment using Arduino*<sup>2</sup> (ANJU LATHA; RAMA MURTHY, 2016).

Uma equipe da Universidade de Nevada em Las Vegas utilizou a plataforma Arduino para gerenciar a coleta e o compartilhamento de dados do projeto Nexus na *Nevada Solar Energy-Water-Environment*. Em tal projeto, o desempenho dos sensores utilizados foi revisto, e os pesquisadores descobriram que a performance do Arduino é comparável a um dispositivo tradicional de registro de dados (data logger), como o CR1000<sup>3</sup>, oferecendo assim uma solução mais econômica. Além disso, a equipe utilizou o *Restful Web Service*<sup>4</sup> para manipular os dados de sensores baseados em Arduino, além de empregar o serviço Google Charts para visualizar dados. Com a arquitetura de serviços web desenvolvida nesta pesquisa, os dados criados a partir dos sistemas de monitoramento ambiental podem ser efetivamente compartilhados entre todos os pesquisadores (LEE et al., 2014).

Também utilizando a tecnologia *Restful Web Service*, um grupo de pesquisadores da Universidade do Grande Rio apresentou uma estação meteorológica integrada à uma aplicação Web. O sistema desenvolvido foi apresentado à Secretaria de Defesa Civil do Município de Duque de Caxias (RJ). Segundo os pesquisadores,

os representantes da Secretaria demonstraram interesse em utilizar a estação meteorológica no âmbito de fomentar nos estudantes a cultura de cidades resilientes (ELIAS et al., 2014, p. 48).

A combinação de software livre e hardware *open source* foi utilizada no Sri Lanka para desenvolver um sistema de baixo custo que monitore as chuvas naquela região (SANJAYA, 2014).

---

2- Esse é um experimento simples e de baixo custo utilizando Arduino (Tradução livre).

3- CR1000 é um datalogger desenvolvido pela Campbell Scientific. Maiores informações a respeito desse aparelho podem ser obtidas através do endereço eletrônico <<https://www.campbellsci.com.br/cr1000>> (último acesso em 03/08/2018).

4- Web Services REST é o termo geralmente utilizado para descrever qualquer interface que transmita dados de um domínio específico sobre HTTP sem uma camada adicional de mensagem (MORO; DORNELES; REBONATTO, 2011) .

Os parâmetros meteorológicos são de extrema importância para a agricultura de precisão. Um grupo da Universidade de Córdoba (Espanha) desenvolveu um sistema de coleta de dados voltados à essa finalidade. Ao término do experimento, os pesquisadores concluem que o uso dessas novas tecnologias pode oferecer novas possibilidades às áreas rurais mais pobres elevando a produção (MESAS-CARRASCOSA et al., 2015).

Além dos parâmetros de temperatura, pressão atmosférica e umidade do ar, Moreira, Portela, Silva (2013) utilizam um sensor para medir a concentração de CO<sub>2</sub> e realizar sondagens atmosféricas no bioma Amazônico (MOREIRA; PORTELA; SILVA, 2013). Dentre as vantagens descritas pelos pesquisadores, destacamos: facilidade na locomoção da equipe e dos equipamentos; adaptabilidade; e relação custo-benefício e facilidade de manutenção.

A plataforma também tem sido utilizada para auxiliar professores no ensino de Física. Um grupo de pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro utilizou a placa de prototipagem para realizar uma investigação a respeito do fenômeno ilha de calor, comparando os dados coletados por eles e uma estação oficial de meteorologia (SANTOS; AMORIM; DEREZYNSKI, 2017).

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo principal

O objetivo desse trabalho surgiu no ano de 2013 após a realização da disciplina Estágio Supervisionado em Climatologia. Na ocasião, realizamos um trabalho de campo no Pico da Bandeira, onde foram instalados vários dataloggers comerciais da marca *Instrutherm* modelo HT-500 no percurso da base ao topo do Pico. Com os dados coletados os alunos realizaram um perfil topoclimático do Pico da Bandeira como parte da avaliação da disciplina.

Os resultados obtidos por meio do *datalogger* comercial no estudo citado serviram de inspiração para este trabalho, que tem por objetivo construir um *datalogger* de baixo custo, sistema de medição e coleta de informação, utilizando a plataforma de prototipagem Arduino.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Verificar a viabilidade da construção do equipamento, a saber, um *datalogger* que utilizará o sensor BME820 para medir as variáveis de temperatura, pressão e umidade relativa.
- Analisar a eficiência do sensor BME280 na leitura das variáveis temperatura, pressão e umidade relativa do ar em comparação com os dados da estação meteorológica automática do Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo.
- Verificar os pontos positivos e os pontos negativos do equipamento.

## 5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Para a realização deste trabalho utilizou-se a plataforma de prototipagem Arduino Uno, dentre os diversos tipos de placas disponíveis no mercado, pois possui uma boa relação custo-benefício.

Para a coleta dos dados meteorológicos, a saber, temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar, utilizou-se o sensor BME280, apresentado na Figura 6. A escolha deste sensor se baseou em dois critérios: 1- o sensor consegue ler as três principais variáveis utilizadas em estudos climáticos; 2- segundo os estudos apresentados por Robert Smith<sup>5</sup> em seus testes com higrômetros, o sensor BME280 foi o que obteve os melhores resultados.

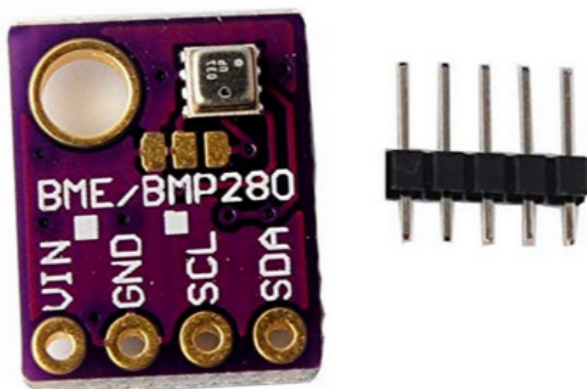


Figura 6: Sensor BME280(fonte: <<https://www.amazon.com/Diymall-Pressure-Temperature-Sensor-Arduino/dp/B0118XCKTG>>)

O BME280 (componente prateado da Figura 6) faz parte de uma família de dispositivos que utilizam a tecnologia MEMS, *Micro Eletro Mechanical Systems* (Sistemas Micro Eletromecânicos). O elemento sensor é piezoelétrico, ou seja, está relacionado à geração de uma carga elétrica devido a uma pressão mecânica aplicada a um material específico.

Além do Arduino e do sensor BME280, utilizou-se um *shield datalogger* e um cartão de memória tipo SD para armazenar as informações coletadas. O *shield datalogger* possui um

---

5- Robert Smith é um astrofísico que trabalha como *Project Scientist* no The Liverpool Telescope. Como entusiasta de instrumentos feitos em casa, publicou em seu site <[http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib\\_many.html](http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_many.html)> um experimento comparando diferentes tipos de sensores termo higrômetros. Tal trabalho é puramente experimental e amador.

RTC, *Real Time Clock*<sup>6</sup>, que é responsável pelo registro temporal. A alimentação de todo sistema ficou a cargo de seis pilhas alcalinas de 1,5V do tipo AA.

Visando obter maior autonomia das pilhas, utilizou-se os pinos de alimentação presentes na lateral da placa (vide Figura 4), desta forma, a tensão de alimentação não atravessa o regulador de tensão presente na mesma. Por outro lado, para estabilizar a tensão de entrada, um regulador de tensão *step-down* ajustável DC-DC foi utilizado.

A sugestão de usar outro regulador de tensão surgiu após a consulta ao professor Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini e à professora Dra. Milana Lima dos Santos, ambos do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Segundo Dr. Pellini o regulador de tensão presente no Arduino é menos eficiente que o regulador de tensão usado no *step-down* ajustável.

Os componentes utilizados no experimento, Arduino, *datalogger shield*, regulador de tensão e as pilhas, foram acondicionados em uma caixa plástica com o intuito de proteger toda a parte elétrica e evitar que danos pudessem interromper as medições. O único elemento que ficou exposto foi o sensor. A proteção do sensor ficou a cargo do miniabrigo meteorológico de ventilação passiva de baixo custo (Abc), desenvolvido por Armani e Galvani (2006), Embora o trabalho de Serafini Júnior e Alves (2014) tenha concluído que o miniabrigo modelo 4AS tenha obtido os melhores resultados em sua análise comparativa, o miniabrigo modelo Abc era o único disponível no laboratório quando realizamos a instalação do experimento.



Figura 7: Miniabrigo Abc (Créditos: Serafini Júnior e Alves )



De posse das informações colhidas pelo sensor, utilizou-se o software *LibreOffice Calc* para realizarmos as análises estatísticas que serão apresentadas no decorrer desse trabalho.

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos pela Estação Meteorológica Automática Experimental (EMAE) pertencente ao Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. A estação está localizada nas dependências do campus da capital e registra dados desde 1998. O período de coleta utilizado compreendeu os dias 22, 23, 24 e 25 de novembro de 2017.

Analisamos em ambos, EMAE e *datalogger*, os seguintes elementos meteorológicos: temperatura máxima do ar ( $T_{m\acute{a}x}$ ), temperatura mínima do ar ( $T_{m\acute{i}n}$ ), temperatura média do ar ( $T_{m\acute{e}d}$ ) e pressão atmosférica média do ar ( $P_{m\acute{e}d}$ ). Originalmente também analisaríamos os dados de umidade relativa, contudo, o sensor BME280 não efetuou as medidas de maneira satisfatória e os dados da EMAE não estavam corretos, segundo o técnico do laboratório. Assim sendo, os dados de umidade relativa foram descartados deste trabalho.

A análise estatística neste trabalho tem por objetivo aplicar métodos e técnicas que auxiliem na interpretação dos dados e determinação de correlações entre os dados experimentais e do laboratório.

Tendo em vista que a questão baixo custo foi fator preponderante na realização desse trabalho, achou-se válido comparar o custo do *datalogger* experimental com o valor de mercado de uma estação meteorológica automática.

De acordo com orçamento realizado junto à Campbell Scientific do Brasil em 17 de outubro de 2018, o coletor de dados CR1000, o mesmo utilizado na EMAE, custa R\$ 15.324,47. Esse valor refere-se tão somente à unidade que coletará os dados e controlará as funções gerais da estação, não cotamos o sensor CS105 da Vaisala (Sensor Barométrico) nem o sensor HMP45C da Campbell Scientific (Sensor Termohigrômetro), visto que em relação ao custo-benefício o *datalogger* experimental tem ampla vantagem.

O *datalogger* experimental também leva vantagem quando se compara o seu valor com o de um *datalogger* comercial. No site do fabricante Instrutherm ([www.instrutherm.net.br](http://www.instrutherm.net.br)) pode-se encontrar *dataloggers* com valores que variam de R\$ 123,98 à R\$ 1.681,08 dependendo do modelo.

A Tabela 1 nos mostra quais foram os componentes utilizados para a confecção do *datalogger* experimental, bem como o custo aproximado de cada um deles.

| <b>COMPONENTE</b>          | <b>FUNÇÃO</b>              | <b>VALOR APROXIMADO</b> |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Arduino Uno                | Controle geral da estação  | R\$ 50,00               |
| Shield Datalogger          | Armazenamento dos dados    | R\$ 30,00               |
| Sensor BME280              | Termômetro e Barômetro     | R\$ 45,80               |
| Regulador de Tensão        | Alimentação do equipamento | R\$ 10,90               |
| Pilhas Alcalinas AA        | Alimentação do equipamento | R\$19,40                |
| Suporte para pilhas AA 3x3 | Alimentação do equipamento | R\$ 7,40                |
| Caixa Plástica             | Proteção do equipamento    | R\$ 8,00                |
|                            |                            | <b>VALOR TOTAL</b>      |
|                            |                            | R\$ 171,50              |

Tabela 1: Componentes do experimento e seus custos

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na programação do *datalogger* ficou estabelecido que o experimento iria realizar a medição de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar a cada minuto. Os dados fornecidos pelo laboratório, por outro lado, correspondiam às médias de medidas realizadas num intervalo de cinco minutos, armazenadas automaticamente na EMAE<sup>7</sup>. Dessa forma, para que se pudesse comparar os valores experimentais com os do laboratório, foi calculada a média aritmética a cada cinco medidas experimentais, correspondentes a cinco minutos, ou seja, uma medida do laboratório. Tal procedimento foi adotado afim de que não fossem perdidos os registros da temperatura máxima e mínima.

A Figura 8 apresenta o desempenho da variável temperatura durante o período do experimento.

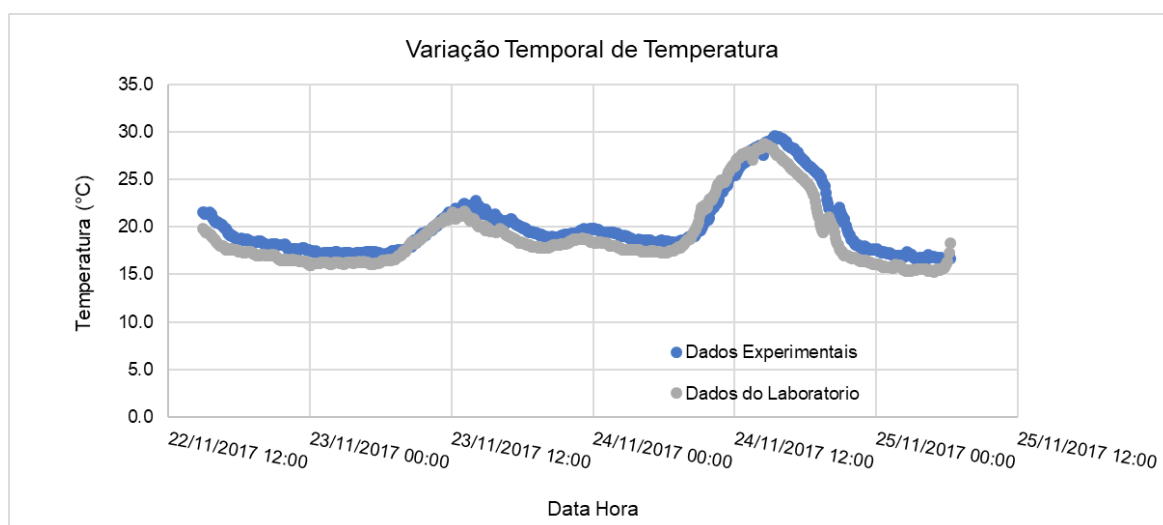


Figura 8: Variação Temporal da Temperatura

É possível verificar que existe uma boa semelhança nas curvas, porém há um atraso temporal da curva experimental em relação aos dados medidos pela EMAE. Tal atraso pode estar relacionado à pequena área superficial do sensor responsável pela medição da temperatura, que se mostrou lenta às respostas de variação do ambiente.

---

7- Importante ressaltar que a partir desse ponto de nosso trabalho estamos estabelecendo que os dados obtidos pela EMAE representam a realidade atmosférica, não considerando as imprecisões previstas pelo próprio fabricante dos sensores.

Nota-se que também há discrepância na magnitude das temperaturas medidas pelo *datalogger* experimental e pelo laboratório, havendo diferenças de até dois graus Celsius no período anterior à temperatura máxima, e até cinco graus Celsius no período após o registro da temperatura máxima. Uma possível explicação para tal efeito seria a demora apresentada pelo sensor para diminuir sua temperatura depois de sua exposição à temperatura máxima, esta situação pode estar associada à baixa condutividade térmica do material em comparação ao material do sensor do laboratório. Outra possível explicação está relacionada ao modelo do abrigo utilizado no experimento, conforme foi descrito por Armani e Galvani (op. cit.),

Pode-se dizer que o Abc, nos horários de maior insolação e aquecimento, aumenta a temperatura do ar dentro do abrigo decorrente da emissão de ondas longas pela chapa de metal que o compõe (pág. 36) [...].

A Tabela 2 nos mostra a faixa de operação do sensor de temperatura presente no BME280. Nela podemos verificar que existe uma margem de erro de 3.0 °C nas condições em que o experimento foi realizado, tal margem de erro também poderia justificar a discrepância encontrada nos resultados.

| Parâmetro            | Símbolo  | Condições | Mínimo | Típico | Máximo | Unidade |
|----------------------|----------|-----------|--------|--------|--------|---------|
| Temperatura absoluta | AT, 25   | 25 °C     | -1.5   | ±0.5   | +1.5   | °C      |
|                      | AT, full | 0...65 °C | -3.0   | ±1.0   | +3.0   | °C      |

Tabela 2: Especificações do sensor de temperatura (Adaptado de (BOSCH SENSORTEC, 2018))

As retas de regressão linear simples obtidas pela relação entre os dados coletados pelo *datalogger* experimental e pela EMAE para as variáveis temperaturas máxima, média e mínima mostram elevada precisão dos modelos. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi maior que 90% nessas variáveis, como é possível verificar nos gráficos a seguir.

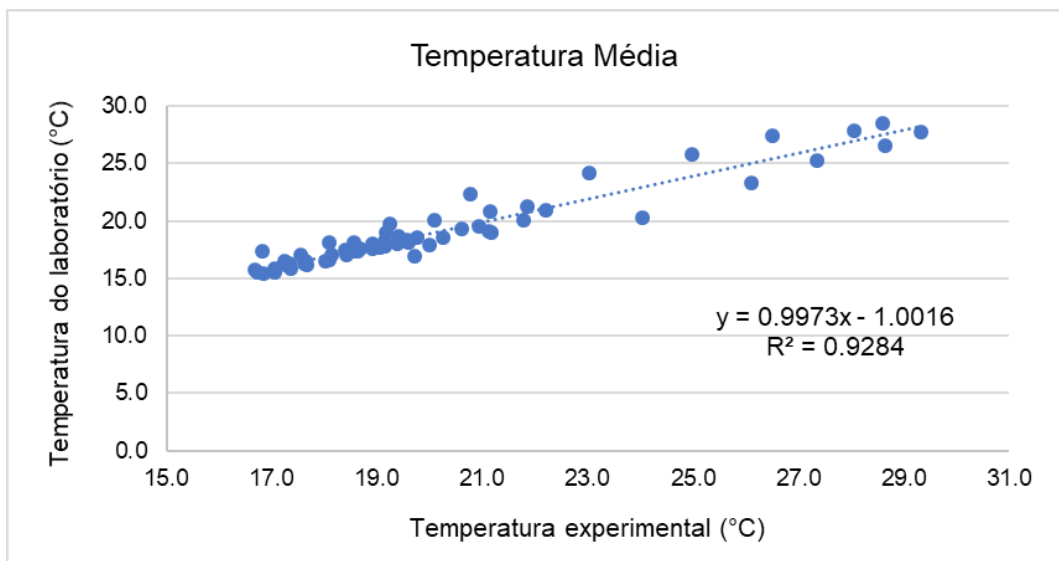


Figura 9: Modelo de regressão linear para temperatura média.

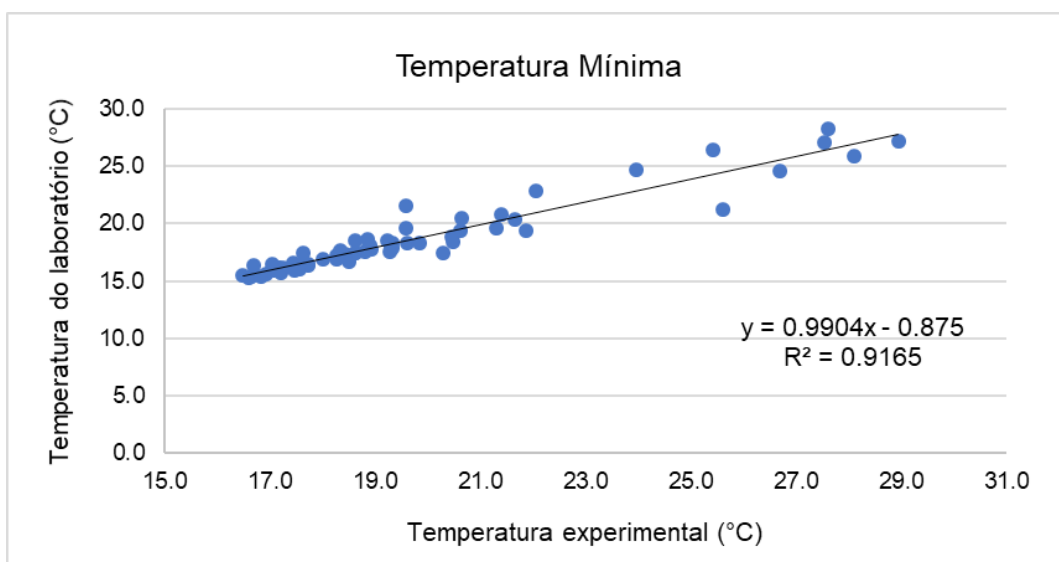


Figura 10: Modelo de regressão linear para temperatura mínima.

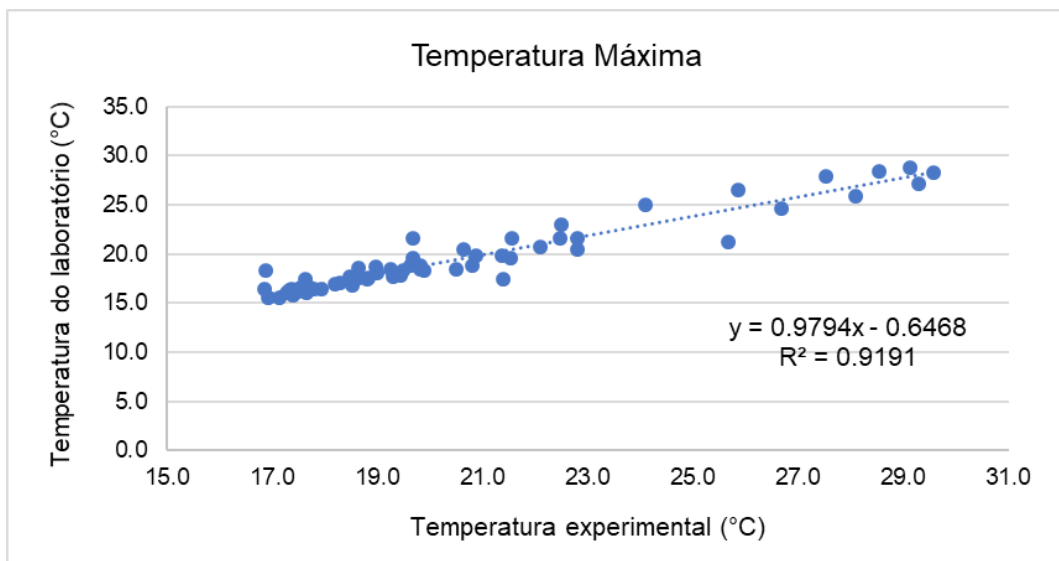


Figura 11: Modelo de regressão linear para temperatura máxima.

A Figura 12 apresenta o desempenho da variável pressão atmosférica durante o período do experimento.

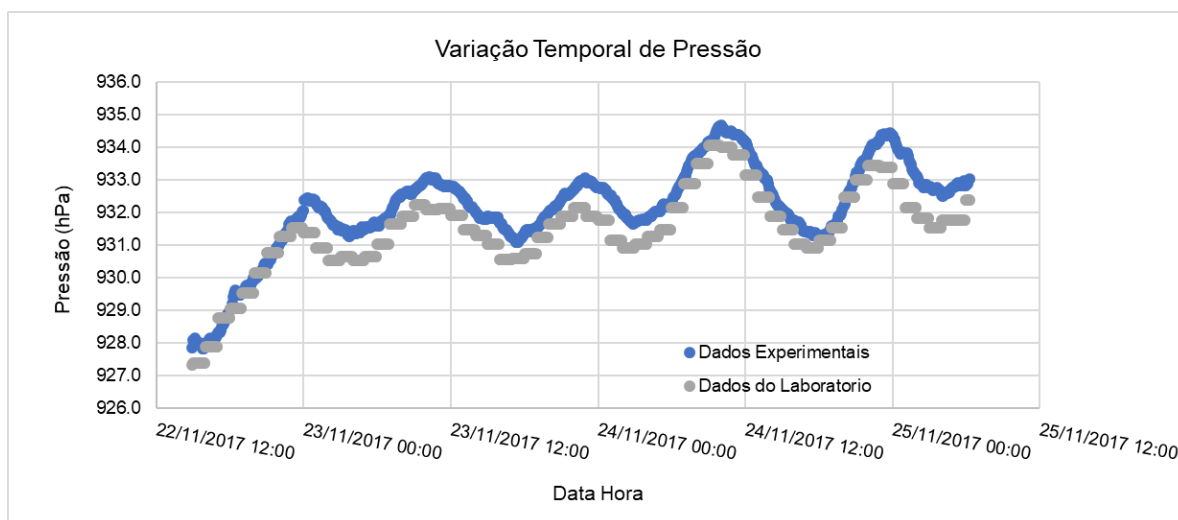


Figura 12: Variação temporal da pressão.

Pode-se perceber que a sensibilidade do sensor utilizado no *datalogger* experimental é maior que a do sensor presente na estação meteorológica. A Bosch, fabricante do sensor usado no *datalogger* experimental, deixa tal sensibilidade evidente no trecho, a seguir, extraído do *datasheet* do sensor, “[...] the environmental pressure is subject to many short-

term changes, caused e.g. by slamming of a door or window, or wind blowing into the sensor [...]” (BOSCH SENSORTEC, 2018).

Apesar da atuação exibida pelas curvas apresentadas na Figura 12, a reta de regressão linear, obtida para a variável pressão média, mostrou elevada precisão do modelo. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 94,5% nessa variável, maior que os 92,8% apresentados na variável anterior, como é possível verificar na Figura 13, a seguir.

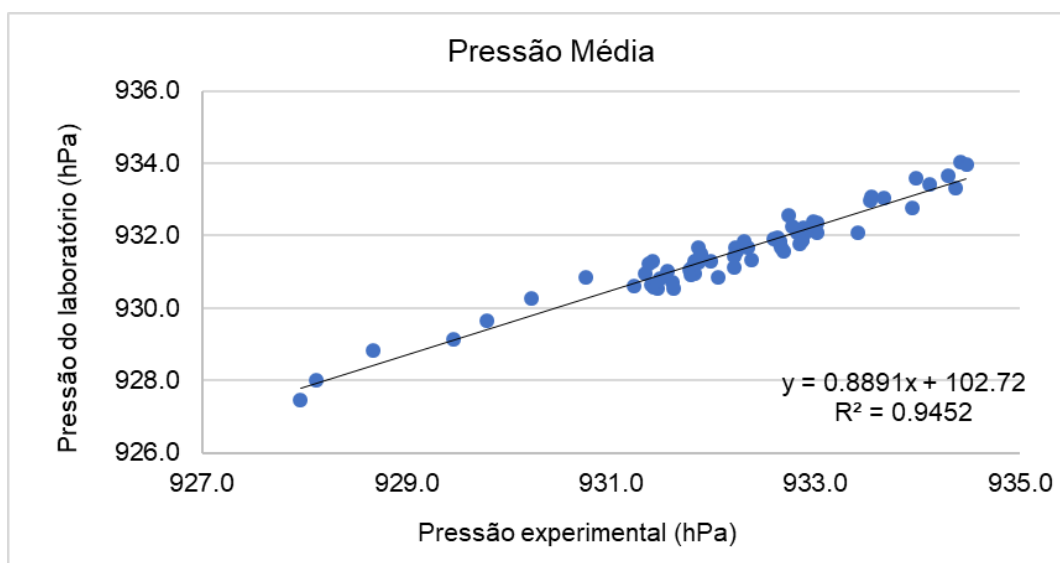


Figura 13: Modelo de regressão linear para pressão média.

Os valores médios para o período de observação dos elementos meteorológicos  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$ ,  $T_{méd}$  e  $P_{méd}$  para as duas estações, EMAE e *datalogger* experimental, estão representados na Tabela 3 e não mostraram diferenças estatísticas significativas, pelo contrário, ficaram dentro da margem de erro estabelecida pelo fabricante.

| ESTAÇÃO                      | $T_{máx}$ | $T_{méd}$ | $T_{mín}$ | $P_{méd}$ |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| EMAE                         | 28,8      | 19,0      | 15,3      | 931,5     |
| Datalogger                   | 29,6      | 20,1      | 16,5      | 932,1     |
| $\Delta$ (EMAE - Datalogger) | -0,8      | -1,1      | -1,2      | -0,6      |

Tabela 3: Valores médios de  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$ ,  $T_{méd}$  e  $P_{méd}$  para o período de observação.

8- “a pressão ambiental está sujeita a muitas mudanças de curto prazo, por exemplo, batendo uma porta ou janela ou soprando no sensor.” (Tradução livre)

De acordo com os dados estatísticos e gráficos apresentados nesse trabalho fica a impressão de que o *datalogger* experimental cumpre a tarefa de ser uma alternativa barata à uma Estação Meteorológica Automática comercial, contudo, vale salientar que o período de amostragem desse trabalho é muito curto. Para que se tenha melhor conclusão a respeito do tema, serão necessários trabalhos de maior pujança acadêmica.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por principal objetivo utilizar a plataforma Arduino para desenvolver um datalogger para coleta e armazenamento dos dados climáticos de temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica, sem que o usuário tenha que se dispor de muito recurso financeiro. Tal interesse surgiu após a realização de um trabalho de campo realizado no Pico da Bandeira.

Além da plataforma Arduino, foi utilizado o sensor BME280 da Bosch. A escolha por esse sensor se deu pelo fato de que o mesmo tem a capacidade de medir as três principais variáveis climáticas, contudo, durante o período experimental o sensor apresentou alguma anomalia e não foi capaz de realizar a medição da variável umidade relativa do ar. Além do problema apresentado na leitura dessa variável, os dados da EMAE, referentes à mesma variável, não estavam corretos. Apesar de não realizar a medição de uma das variáveis, as demais apresentaram resultados estatísticos bastante representativos.

Durante o período de realização desse trabalho se apresentaram dificuldades que não estavam previstas inicialmente e que geraram atraso na divulgação dos resultados:

- achar a respectiva biblioteca para que o sensor BME280 pudesse se comunicar com a plataforma Arduino;
- lidar com o rápido desgaste das pilhas AA;
- tentar encontrar soluções para o consumo de energia via programação do Arduino, de maneira que a unidade de controle somente “acordasse” para realizar a medição e depois voltasse a “dormir”, termo conhecido como *sleep-mode*;
- falta de domínio com as ferramentas estatísticas e seus devidos programas;

Desejando que tal trabalho possa servir de inspiração para trabalhos futuros é colocado em anexo o código de programação utilizado nesse trabalho, a fim de que possa servir de guia para aqueles que não conhecem programação.

Em testes realizados em ambientes internos, antes de colocá-lo em campo, o protótipo desenvolvido apresentou resultados elegantes para as três variáveis climáticas, assim sendo, sugere-se que o Arduino seja conectado na rede elétrica, caso não haja tomada disponível no local a recomendação é de que seja utilizada uma célula fotovoltaica para manter o Arduino ligado durante o dia e um banco de bateria para que ele fique ligado durante a noite, contudo,

tal arranjo necessita de maior conhecimento tanto na área de programação (software) quanto nas ligações elétricas (hardware).

A comparação dos valores medidos com o *datalogger* experimental e a EMAE apresentaram resultados estatísticos satisfatórios, ficando dentro da margem de erro estabelecida pelo fabricante do sensor BME280, contudo, como dito anteriormente, a amostragem foi muito pequena, sendo necessária uma amostra mais significativa para que possamos emitir qualquer tipo de conclusão a respeito da usabilidade do sensor em questão.

## 8 BIBLIOGRAFIA

ANJU LATHA, N.; RAMA MURTHY, B. GSM Based Rain Fall Detector Using Arduino. **International Journal of Electronics and Communication Engineering (IJECE)**, v. 5, n. 3, p. 11–16, 2016.

ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2001, p. 116–122, 2006.

AZEVEDO, T. R.; FUNARI, F. L. Desempenho de registradores digitais de temperatura e umidade do ar em abrigo meteorológico padronizado - estudo comparativo preliminar visando uso em trabalhos de campo. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 10, p. 147–164, 2001.

AZEVEDO, T. R.; GALVANI, E. Técnicas de Climatologia. In: VENTURI, L. A. B. (org.) **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi, 2001. p. 107-134.

BAGNARA, A. R. **Estação de medição meteorológica com Arduino 2013**. UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, 2013.

BOSCH SENSORTÉC. **BME280 - Combined humidity, pressure and temperature sensor. Datasheet**. [s.l: s.n.].

BRETTTHAUER, D. Open Source Software : A History. **UConn Libraries Published Works**, v.21, n.1, p.1–23, 2001. Disponível em: <[https://opencommons.uconn.edu/libr\\_pubs/7/](https://opencommons.uconn.edu/libr_pubs/7/)> Acessado em 04/04/2019.

CAMUFFO, D.; BERTOLIN, C. The earliest temperature observations in the world: The Medici Network (1654-1670). **Climatic Change**, v. 111, n. 2, p. 335–363, 2012.

ELIAS, A.; SILVA, J.; GONÇALVES, R.; SILVA-DE-SOUZA, T. Ardweather: Uma Estação Meteorológica baseada no Arduino e em Web Services Restful. **XIV Safety, Health and Environment World Congress**, n. July 2014, p. 44–48, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Thiago\\_Souza10/publication/281525465\\_ARDWEATHER\\_UMA\\_ESTACAO\\_METEOROLOGICA\\_BASEADA\\_NO\\_ARDUINO\\_E\\_EM\\_WEB\\_SERVICES\\_RESTFUL/links/55ec843f08ae3e121847f33e/ARDWEATHER-UMA-ESTACAO-METEOROLOGICA-BASEADA-NO-ARDUINO-E-EM-WEB-SERVICES-RESTFUL.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thiago_Souza10/publication/281525465_ARDWEATHER_UMA_ESTACAO_METEOROLOGICA_BASEADA_NO_ARDUINO_E_EM_WEB_SERVICES_RESTFUL/links/55ec843f08ae3e121847f33e/ARDWEATHER-UMA-ESTACAO-METEOROLOGICA-BASEADA-NO-ARDUINO-E-EM-WEB-SERVICES-RESTFUL.pdf)> Acessado em 04/04/2019.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Olá Arduino In: **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec, 2013. p. 24-45.

FUNARI, F. L.; FILHO, A. J. P. Análise Comparativa de Medições de Variáveis Meteorológicas Realizadas por Estações Meteorológicas Convencional e Automática Instaladas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga - São Paulo –SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, p. 159–168, 2010.

ISLAM, A.; ISLAM, T.; SYRUS, M. A.; AHMED, N. Implementation of flash flood monitoring system based on wireless sensor network in Bangladesh. **3rd International Conference on Informatics, Electronics & Vision**, p. 1–6, 2014.

LEE, S.; JO, J.; KIM, Y.; STEPHEN, H. A Framework for Environmental Monitoring with Arduino-Based Sensors Using Restful Web Service. **2014 IEEE International Conference on Services Computing**, p. 275–282, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6930544/>> Acessado em 04/04/2019.

MESAS-CARRASCOSA, F. J.; VERDÚ SANTANO, D.; MEROÑO, J. E.; SÁNCHEZ DE LA ORDEN, M.; GARCÍA-FERRER, A. Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 137, p. 73–83, 2015.

MOREIRA, A. S.; PORTELA, A. M.; SILVA, R. Uso da plataforma Arduino no desenvolvimento de soluções tecnológicas para pesquisas de dados atmosféricos na Amazônia. **Revista Perspectiva Amazônica**, v. 5, p. 119–126, 2013.

MORO, T. D.; DORNELES, C. F.; REBONATTO, M. T. Web services WS- \* versus Web Services REST. **REIC - Revista de Iniciação Científica**, v. 11, n. 1, p. 36–51, 2011.

SANJAYA, N. An Open Source Hardware & Software online raingauge for real-time monitoring of rainwater harvesting in Sri Lanka. **Symposium on Mainstreaming Rainwater Harvesting as a Water Supply Option**, p. 13–19, 2014. Disponível em: <[http://www.themimu.info/sites/themimu.info/files/documents/Ref\\_Doc\\_Symposium\\_on\\_Mainstreaming\\_Rainwater\\_Harvesting.pdf#page=21](http://www.themimu.info/sites/themimu.info/files/documents/Ref_Doc_Symposium_on_Mainstreaming_Rainwater_Harvesting.pdf#page=21)> Acessado em 04/04/2019.

SANTOS, A. A. M.; AMORIM, H. S.; DEREZYNSKI, C. P. Investigação do fenômeno ilha de calor urbana através da utilização da placa Arduino e de um sítio oficial de meteorologia. **Revista Brasileira de Física**, v. 39, n. 1, p. 1–13, 2017.

SANTOS, K. I. S.; SILVA, M. de S.; PEREIRA, H. P. M.; BRANDÃO, P. de O. Design e Tecnologia: Experiência De Formação De Um Grupo De Estudos Em Prototipagem Eletrônica Por Designers. **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e**

**Desenvolvimento em Design** [= **Blucher Design Proceedings**, v. 9, n. 2, p. 2409–2418]. São Paulo: Blucher, 2016. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/24442>> Acessado em 04/04/2019.

SERAFINI JÚNIOR, S.; ALVES, R. R. Miniabrigos meteorológicos: comparação e análise estatística para avaliação de eficiência. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 18, n. 1, p. 198–210, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/81099>> Acessado em 04/04/2019.

SOUZA, I. D. A.; GALVANI, E. Evolução qualitativa e quantitativa da rede de estação meteorológica no estado do paraná, de 1889 a 2006. **VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 2006.

SOUZA, I. D. A.; GALVANI, E.; ASSUN O, H. F. da. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por esta es convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 25, n. 2, p. 203–207, 2003. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2220>> Acessado em 04/04/2019.

WOLF, L. **Explorando a atmosfera: história da meteorologia**. 2ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1964.

## 9 ANEXO 1

Nessa seção será apresentado o código fonte do programa desenvolvido para a plataforma Arduino, utilizado nesse trabalho.

```
#include <LowPower.h>
#include "Seeed_BME280.h"
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "RTClib.h"

float tempC;
float pressure;
float humidity;

BME280 bme280;
int chipSelect = 4;
File mySensorData;
RTC_DS1307 rtc;
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Domingo", "Segunda", "Terca", "Quarta", "Quinta", "Sexta",
"Sabado"};

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  if(!bme280.init())
  {
    Serial.println("Erro de leitura do Sensor!");
  }
  Serial.begin(9600);
  if (!rtc.begin())
  {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }

  if (!rtc.isrunning())
  {
    Serial.println("RTC is Running!");
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
    //rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
    // January 21, 2014 at 3am you would call:
    rtc.adjust(DateTime(2017, 11, 22, 12, 6, 0));
  }
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
```

```

while (!Serial)
{
; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
}
Serial.begin(9600);
Serial.println("DataLogger com modulo BME280");
Serial.println();

//Inicia o cartao SD
pinMode(10, OUTPUT);
Serial.println("Iniciando cartao SD...");
if (!SD.begin(4))
{
Serial.println("Falha na inicializacao do SD!");
return;
}
Serial.println("Cartao SD iniciado. OK");
Serial.println();
}

void loop()
{

tempC = bme280.getTemperature();
pressure = bme280.getPressure();
humidity = bme280.getHumidity();

DateTime now = rtc.now();

Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print(" (");
Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
Serial.print(")");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();

//get and print temperatures
Serial.print("Temp: ");
Serial.print(bme280.getTemperature());
Serial.println("C");//The unit for Celsius because original arduino don't support special symbols

//get and print atmospheric pressure data
Serial.print("Pressure: ");
Serial.print(pressure = bme280.getPressure()); Serial.println("Pa");

```

```

//get and print altitude data
Serial.print("Altitude: ");
Serial.print(bme280.calcAltitude(pressure)); Serial.println("m");

//get and print humidity data
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(bme280.getHumidity()); Serial.println("%");

// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so you have to close this one before opening another.
mySensorData = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// if the file is available, write to it:
if (mySensorData);
{
  mySensorData.print(now.day(), DEC);
  mySensorData.print("/");
  mySensorData.print(now.month(), DEC);
  mySensorData.print("/");
  mySensorData.print(now.year(), DEC);
  mySensorData.print(' ');
  mySensorData.print(now.hour(), DEC);
  mySensorData.print(':');
  mySensorData.print(now.minute(), DEC);
  mySensorData.print(':');
  mySensorData.print(now.second(), DEC);
  mySensorData.print(' ');
  mySensorData.print(tempC);
  mySensorData.print(" ");
  mySensorData.print((pressure)*0.01);
  mySensorData.print(" ");
  mySensorData.print(humidity);
  mySensorData.println(' ');
  mySensorData.close();
  //delay(60000);
}
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
LowPower.powerDown(SLEEP_4S, ADC_OFF, BOD_OFF);
}

```