



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MAURO CESAR JANUARIO XAVIER

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA DETERMINAÇÃO DA SENSAÇÃO
TÉRMICA EM TEMPO REAL E SUA APLICAÇÃO EM ÁREAS DISTINTAS NA
CIDADE DE FORTALEZA-CE**

FORTALEZA

2017

MAURO CESAR JANUARIO XAVIER

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA DETERMINAÇÃO DA SENSAÇÃO
TÉRMICA EM TEMPO REAL E SUA APLICAÇÃO EM ÁREAS DISTINTAS NA
CIDADE DE FORTALEZA-CE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins
Cavalcante

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

X21d Xavier, Mauro César Januário.
Desenvolvimento de protótipo para determinação da sensação térmica em tempo real e sua aplicação em áreas distintas na cidade de Fortaleza-CE / Mauro César Januário Xavier. – 2017.
79 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante .

1. Protótipo. 2. Sensação Térmica. 3. Microcontrolador. I. Título.

CDD 333.7

MAURO CESAR JANUARIO XAVIER

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA DETERMINAÇÃO DA SENSAÇÃO
TÉRMICA EM TEMPO REAL E SUA APLICAÇÃO EM ÁREAS DISTINTAS NA
CIDADE DE FORTALEZA-CE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 08/02/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Msc. Jéssyca Almeida Bessa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Adilson Wagner Gandu

Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus, toda honra e toda glória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força, para que eu chegasse até onde cheguei. Agradeço também aos meus pais, pelo incentivo e apoio nessa trajetória.

À Juliana Barbosa pela inspiração e exemplo a ser seguido, além de ter dado total apoio para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, professor Rivelino Cavalcante, por ter mostrado interesse em meu trabalho e pela grande paciência no desenvolvimento do mesmo.

Meus agradecimentos à Camille Arraes e a todos aqueles do Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOR), que me auxiliaram e me receberam de braços abertos durante a evolução deste trabalho.

À Taynah Fernandes e Larisse Lopes que contribuíram na parte técnica.

À professora Kamila Vieira, que muito gentilmente contribuiu para meu amadurecimento no meio acadêmico e profissional.

À professora Carla Freitas e ao Carlos Henrique (Gordo) do Laboratório de Aerodinâmica e Mecânica dos Fluidos (LAERO), que demonstraram boa vontade e disponibilidade, ao ceder o laboratório para os testes com os anemômetros.

Agradeço aos meus amigos de graduação (UFC), Wesley Leitão, Carlos Eduardo, José Rodrigues e Michel Kennedy, pelos momentos de descontração e alegria.

Aos meus amigos do meu curso técnico (IFCE), Daniel Bento, Lincoln Lima e Raul Melo, que também me propiciaram bons momentos de diversão.

A todos os funcionários do LABOMAR/UFC, pela dedicação e convivência durante os meus anos de graduação.

Em especial aos meus professores de ambas as instituições, que além de grandes conhecimentos, me ensinaram bastante, através de seus comportamentos, conselhos e estilos de vida.

Finalmente, agradeço a UFC e CNPq pelo auxílio financeiro na minha graduação e na realização desse projeto científico.

À banca lhes agradeço pelas ricas contribuições, as quais aprimoram o meu trabalho.

RESUMO

Um dos grandes desafios no desenvolvimento dos centros urbanos é a garantia da qualidade ambiental. A ocupação irregular dessas áreas, em conjunto com a poluição das atividades antrópicas e a ausência de áreas verdes podem gerar ambientes termicamente desconfortáveis para o ser humano. Considerando a relevância dessa temática, por envolver o bem estar do homem e o equilíbrio do ambiente natural, um dos passos para propor soluções e melhorias é conhecer o problema, por meio de estudos e coleta de dados. No presente trabalho é proposto a construção de um protótipo para coletar valores de velocidades dos ventos, temperatura e umidade relativa do ar, de forma a determinar a sensação térmica em tempo real, através dos índices IDT e TEv. O protótipo é basicamente constituído por componentes eletrônicos, tendo como seu principal elemento um microcontrolador, responsável pelo gerenciamento dos dispositivos que compõem o protótipo. O mesmo foi replicado, totalizando em três protótipos, onde seus elementos passaram por procedimentos de calibração, tendo como base uma estação meteorológica da marca Davis. Foi realizada uma aplicação piloto para avaliar o funcionamento dos protótipos em locais distintos na cidade de Fortaleza (CE). Os protótipos apresentaram boa funcionalidade e custo reduzido, em torno de R\$ 170 reais cada um, isso comparado à equipamentos comerciais, onde o valor pode chegar à R\$ 7500 reais por equipamento. Quanto à aplicação deles, pode-se observar particularidades em cada local de amostragem, que por meio dos índices utilizados, apresentou condições de desconforto para a população.

Palavras-chave: Protótipo. Sensação Térmica. Microcontrolador.

ABSTRACT

One of the major challenges in the urban centers development is the guarantee of environmental quality. The irregular occupation of these areas, combined with the anthropic activities pollution and the absence of green areas, can generate environments that are thermally uncomfortable for the human being. Considering the relevance of this issue, as it involves the well-being of man and the balance of the natural environment, one of the steps to propose solutions and improvements is to know the problem through studies and data collection. The current work proposes the construction of a prototype to collect values of wind speeds, temperature and relative air humidity, in order to determine the thermal sensation in real time, through the IDT and TEv indices. The prototype is basically constituted by electronic components, having as its main element a microcontroller, responsible for the management of the devices that composes the prototype. It was replicated, totalizing into three prototypes, where its elements went through calibration procedures, based on a Davis weather station. A pilot application was carried out to evaluate the prototypes operation in different locations in the city of Fortaleza (CE). The prototypes presented good functionality and reduced cost, around R\$ 170 reais each, compared to commercial equipment, where the value can reach R\$ 7500 reais per equipment. As to its application, it can be observed particularities in each sampling site, which through the indices used, revealed conditions of discomfort for the population.

Key words: Prototype. Thermal sensation. Microcontroller

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Representação esquemática do protótipo.....	22
Figura 2	–	Microcontrolador Atmega328p.....	23
Figura 3	–	Representação da placa de conexão entre os dispositivos.....	24
Figura 4	–	Circuito de “alimentação”	25
Figura 5	–	Circuito oscilador.....	26
Figura 6	–	Partes do sensor AM2302 (DHT22).....	27
Figura 7	–	Anemômetro de copos.....	28
Figura 8	–	<i>Reed switch</i> e ímã do anemômetro.....	29
Figura 9	–	Módulo RTC DS1307.....	30
Figura 10	–	Módulo cartão micro SD.....	31
Figura 11	–	Tela inicial do IDE Arduino – versão 1.6.7.....	34
Figura 12	–	Diagrama de blocos com a estrutura da programação.....	35
Figura 13	–	Configurações iniciais da programação.....	36
Figura 14	–	Funções construídas na programação.....	37
Figura 15	–	Comandos dentro da função <i>void setup</i>	38
Figura 16	–	Comandos dentro da função <i>void loop</i>	39
Figura 17	–	Ensaio no túnel de ventos: anemômetro Davis.....	41
Figura 18	–	Ensaio no túnel de ventos: anemômetro do protótipo.....	41
Figura 19	–	Ensaio com os sensores de temperatura e umidade relativa do ar.....	42
Figura 20	–	Mapa com a indicação dos locais de aplicação do protótipo.....	44
Figura 21	–	Protótipo.....	55
Figura 22	–	Locais de amostragens: a) Ponto 1 – Meireles; b) Ponto 2 – Guajeru; c) Ponto 3 – Mondubim.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Valores de vento: A1(sem ajuste) e Davis.....	47
Gráfico 2	–	Valores de vento: A1(ajustado) e Davis.....	48
Gráfico 3	–	Valores de vento: A2(sem ajuste) e Davis.....	48
Gráfico 4	–	Valores de vento: A2(ajustado) e Davis.....	49
Gráfico 5	–	Valores de vento: A3 (sem ajuste) e Davis.....	49
Gráfico 6	–	Valores de vento: A3(ajustado) e Davis.....	50
Gráfico 7	–	Valores de temperatura do ar: AM2302 e Davis.....	52
Gráfico 8	–	Valores de umidade relativa do ar: AM2302 e Davis.....	53
Gráfico 9	–	Valores de umidade relativa do ar: AM2302 (corrigido) e Davis.....	54
Gráfico 10	–	Gráficos de temperatura: P1, P2 e P3.....	58
Gráfico 11	–	Gráficos de umidade relativa do ar: P1, P2 e P3.....	58
Gráfico 12	–	Gráficos de velocidade dos ventos: P1, P2 e P3.....	58
Gráfico 13	–	Comportamento da temperatura real e de sensação térmica, nos três locais de amostragem.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Modelos e índices para avaliação da sensação térmica.....	17
Tabela 2	–	Pinos utilizados do Atmega328p.....	24
Tabela 3	–	Características do sensor AM2302 (DHT22).....	27
Tabela 4	–	Pinos utilizados do módulo RTC DS1307.....	31
Tabela 5	–	Pinos utilizados do módulo cartão micro SD.....	32
Tabela 6	–	Bibliotecas utilizadas no desenvolvimento da programação.....	33
Tabela 7	–	Níveis de desconforto para Índice de Desconforto de Thom.....	45
Tabela 8	–	Níveis para o Índice de Temperatura Efetiva com Vento.....	46
Tabela 9	–	Valores de velocidade registrados pelos anemômetros.....	46
Tabela 10	–	Resultado do teste Shapiro-Wilk.....	50
Tabela 11	–	Resultado do teste estatístico Mann-Whitney.....	51
Tabela 12	–	Orçamento dos itens utilizados para construção de um protótipo.....	56
Tabela 13	–	Valores de temperatura real e de sensação térmica, nos três locais de amostragem.....	61
Tabela 14	–	Comparação entre os estudos que utilizam o IDT.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	<i>Ante Meridiem</i>
BIT	<i>Binary digit</i>
BR	Brasil
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE	Ceará
CI	Circuito integrado
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ES	Espírito Santo
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GND	<i>Ground</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
IDT	Índice de Desconforto de Thom
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LACOR	Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos
LAERO	Laboratório de Aerodinâmica e Mecânica dos Fluídos
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
MCU	Microcontrolador
NPN	Negativo – Positivo – Negativo
O	Oeste
PM	<i>Poste Meridiem</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RN	Rio Grande do Norte
RISC	<i>Reduced Instructions Set Computers</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
S	Sul
SAD	Sistema de aquisição de dados

SCL	<i>Serial Clock</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
TEv	Temperatura Efetiva com Vento
TWI	<i>Two Wire Interface</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará
UR	Umidade relativa
VCC	<i>Volts Continuous Current</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Cifrão
%	Porcentagem
μF	Microfarad
A	Ampere
cm	Centímetro
Hz	<i>Hertz</i>
kB	<i>Quilobytes</i>
km^2	Quilômetros quadrados
$\text{k}\Omega$	QuiloOhms
m/s	Metros por segundo
mA	Miliampere
MHz	<i>Megahertz</i>
mm	Milímetros
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
pF	picofarad
V	Volt
W	Watt
Ω	Ohm

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Estudos acerca da sensação térmica	17
1.2	Microcontroladores: alternativa de baixo custo	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral	21
2.2	Objetivos específicos	21
3	METODOLOGIA	21
3.1	Aspectos gerais do protótipo	22
3.1.1	<i>Hardware do protótipo</i>	23
3.1.1.1	<i>Microcontrolador Atmega328p</i>	23
3.1.1.2	<i>Circuito de alimentação, oscilador e alerta de erros</i>	25
3.1.1.3	<i>Módulo sensor de temperatura e umidade relativa do ar</i>	26
3.1.1.4	<i>Anemômetro</i>	28
3.1.1.5	<i>Módulo de registro de data e hora</i>	30
3.1.1.6	<i>Módulo de armazenamento dos dados</i>	31
3.1.2	<i>Software de protótipo</i>	33
3.1.2.1	<i>Linguagem de programação</i>	33
3.1.2.2	<i>Arduino IDE</i>	33
3.1.2.3	<i>Descrição geral da programação</i>	35
3.2	Metodologia de calibração	40
3.2.1	<i>Ensaio de calibração dos anemômetros</i>	40
3.2.2	<i>Ensaio com os sensores de temperatura e umidade relativa do ar</i>	42
3.3	Área de estudo	43
3.4	Índices de avaliação da sensação térmica	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Resultados do procedimento de calibração	46
4.1.1	<i>Anemômetro</i>	46
4.1.2	<i>Sensor AM2302</i>	52
4.2	Montagem do protótipo	55

4.3	Aplicação dos protótipos.....	57
4.3.1	<i>Semelhanças na dinâmica climática dos pontos de amostragem.....</i>	59
4.3.2	<i>Diferenças na dinâmica climática dos pontos de amostragem.....</i>	59
4.4	Aplicação dos índices.....	61
5	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS.....	66
	GLOSSÁRIO.....	71
	APÊNDICE A - FIGURAS DOS COMPONENTES E ITENS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	74
	APÊNDICE B - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO ELABORADO PARA O PROTÓTIPO.....	75
	APÊNDICE C – VERSÕES ANTERIORES DO PROTÓTIPO.....	79

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios no desenvolvimento dos centros urbanos é a garantia da qualidade ambiental, assim como, da qualidade de vida para a população, pois as transformações no meio urbano impactam o ambiente natural e o ser humano.

O crescimento das zonas urbanas, aliado à falta de um adequado planejamento, apresenta como resultado inúmeros problemas no contexto socioambiental, principalmente no tocante ao clima local (ASSIS, 2007). Aspectos como: a poluição causada pelas atividades antrópicas, construções imobiliárias em espaços inapropriados e tipos de materiais que são utilizados nesses empreendimentos, bem como, nos asfaltos das vias de circulação; provocam mudanças no meio natural e interferem em sua qualidade, o que proporciona o desenvolvimento de ambientes desagradáveis ao homem.

Outro fator que também influencia na qualidade ambiental do meio urbano, são as áreas verdes, pois atuam como verdadeiros indicadores de qualidade e bem estar ao ser humano. Entretanto é comum no desenvolvimento dos centros urbanos, projetos que priorizam os espaços construídos diante de áreas e espaços verdes. É o caso da cidade de Fortaleza (Ceará), onde Moura, Sales e Zanella (2008), relatam que a presença de problemas ambientais na cidade é decorrente do crescimento desordenado, acompanhado de políticas públicas pontuais.

Considerando esses aspectos, ocorre na atmosfera desses ambientes um desequilíbrio. Silva (2009) menciona que o processo de urbanização modifica substancialmente os ecossistemas naturais, aumentando a temperatura e reduzindo a umidade, o que conseqüentemente resulta em alterações na atmosfera local.

Lombardo (2009, p. 113) destaca que “no contexto das áreas urbanas-metropolitanas, as alterações climáticas são mais intensas e refletem seus efeitos na escala local e regional.” Dentre esses efeitos, Duarte (2000) aponta para o aumento da energia térmica, alteração no fluxo de ventos, diminuição da umidade relativa e da infiltração referente à água da chuva; em decorrência da superfície impermeável formada pela pavimentação e área construída. Todos esses efeitos em conjunto, alteram substancialmente as características do clima nos centros urbanos.

Em pesquisas e estudos os quais envolvam aspectos da urbanização e os seus efeitos no ser humano, é comum o uso de dois termos: sensação térmica e conforto térmico.

Dentre os dois, o mais frequentemente abordado é o último, contudo, ambos tratam da mesma linha de investigação. De modo que, a sensação térmica envolve a percepção dos indivíduos, mediante a atmosfera de determinado ambiente, o que pode gerar uma sensação de conforto ou desconforto térmico.

Segundo Moreno, Noguchi e Labaki, (2007 *apud* Abreu e Labaki, 2010, p. 104) “a sensação térmica experimentada pela população em determinado local é a base para a definição do intervalo das variáveis ambientais que compõem uma zona de conforto, sensação esta definida pelas respostas físicas, fisiológicas e psicológicas.”

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), órgão responsável pelos dados de meteorologia, monitoramento, recursos ambientais e hídricos do estado do Ceará, descreve a sensação térmica como:

Índice que descreve como a temperatura é fisiologicamente percebida pelos seres humanos. Quando associada ao calor, considera a temperatura e a umidade relativa do ar. Quando associada ao frio, considera os efeitos do vento e temperatura. Este índice não expressa a temperatura real do ar (FUNCEME, 2014).

Levando em consideração as interferências que a urbanização provoca no clima local, várias etapas são necessárias para o desenvolvimento de estudos, até chegarmos às soluções para esses problemas ambientais. Dentre essas etapas, podemos evidenciar a coleta de dados através de equipamentos e sensores, sendo de fundamental importância para o entendimento e compreensão do ambiente.

Um aspecto preocupante está relacionado com os custos dos equipamentos de medição profissional, que na maioria das vezes são elevados, o que pode gerar dificuldades no desenvolvimento das pesquisas. Além disso, alguns necessitam que o usuário esteja *in loco* na execução da coleta de dados, o que demanda tempo e disponibilidade.

Considerando esses fatores, questiona-se como obter uma forma viável para obtenção de dados, os quais permitam a determinação da sensação térmica em diferentes ambientes do meio urbano. Diante disso, será proposta a elaboração de um protótipo, para determinar a sensação térmica, por meio de índices, em alguns locais da cidade de Fortaleza, Ceará.

1.1. Estudos acerca da sensação térmica

Nos estudos a respeito da sensação térmica com foco em ambientes externos, é perceptível verificarmos diferentes metodologias desenvolvidas ao longo dos anos, as quais procuram estimar o nível de conforto dos indivíduos através de fórmulas e índices.

A construção dessas formulações e índices acontece de várias maneiras, seja por meio de experimentos, observações em campo e ambientes controlados (laboratórios), considerando diferentes aspectos que influenciam o ser humano, como variáveis físicas da atmosfera (temperatura, pressão, energia radiante do sol, umidade), fatores fisiológicos (temperatura corporal, metabolismo) e características particulares dos indivíduos como: vestimenta, atividade que esta realizando, além das preferências e opiniões com relação ao ambiente em que estão inseridos.

No trabalho de Monteiro e Alucci (2007) é apresentada uma ampla discussão a respeito do conforto térmico em espaços abertos, tomando como base um histórico acerca dos índices e modelos desenvolvidos por diversos pesquisadores. Na tabela 1, há alguns exemplos que foram abordados no trabalho.

Tabela 1 – Modelos e índices para avaliação da sensação térmica

AUTOR	ANO	NOMENCLATURA	INFORMAÇÕES GERAIS
Houghten <i>et al.</i>	1923	Temperatura efetiva	Formulado a partir de estudos realizados em laboratório. Seu modelo considera as seguintes variáveis: temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos.
Vernon e Warner	1932	Nova temperatura efetiva	Tomando como base a investigação de Houghten <i>et al.</i> (1923), eles propõem um novo modelo, que considera os efeitos da radiação solar.
Missenard	1948	Temperatura resultante	Índice desenvolvido a partir de experimentos em laboratório, similares ao de Houghten <i>et al.</i> (1923), porém com períodos de exposição prolongados.
Belding e Hatch	1955	Índice do estresse térmico por calor	Índice desenvolvido para ambientes externos através do modelo de balanço térmico corporal, o qual considera fatores físicos e fisiológicos.
Givoni	1969	Índice de estresse térmico	Índice o qual considera variáveis fisiológicas, radiação solar e perdas por evaporação.

Masterton e Richardson	1979	Humidex	Os autores apresentam formulações que utilizam os valores de temperatura e umidade relativa do ar para desenvolver seu o índice.
Nikolopoulou	2004	Voto real de sensação	Modelo para espaços abertos, considerando características urbanas e climáticas.

Fonte: Adaptado de Monteiro e Alucci (2007).

A partir da tabela acima, pode-se ter uma noção das diferentes metodologias para determinação da sensação térmica, as quais proporcionaram o desenvolvimento de muitos estudos.

No panorama atual, observa-se uma predominância de publicações estrangeiras, contudo, segundo Monteiro e Alucci (2007) o campo de pesquisa no Brasil é crescente. De forma breve, apresenta-se uma síntese das pesquisas realizadas no país e no exterior, acerca das temáticas relacionadas à sensação térmica.

Mayer e Hoppe (1987) investigam o conforto térmico do ser humano em diferentes localidades da cidade de Munique (Alemanha), por meio do índice do balanço energético humano, o qual é representado por uma equação que engloba fluxo de energia e parâmetros fisiológicos. Dentre as conclusões é ressaltada a importância do planejamento urbano na construção de um microclima mais agradável.

Repelli *et al.* (1998), apresentam a construção de um índice para a cidade de Fortaleza – CE (Brasil), a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar aplicados a uma equação proposta por Steadman. No estudo são gerados dados preliminares utilizando o índice desenvolvido e foi constatada uma ausência de situações de extremo perigo para a população, embora certas épocas do ano proporcionem um nível de desconforto.

Oliveira *et al.* (2006) investigam a influência do clima sobre os frequentadores de duas praças, na cidade de Natal – RN (Brasil). A pesquisa ocorreu por meio de entrevistas e coleta de dados meteorológicos da região onde as praças estão inseridas. Foram constatadas condições desfavoráveis para os frequentadores desses locais.

Honjo (2009), por meio de uma revisão, realiza uma análise dos diferentes índices desenvolvidos para a avaliação do conforto térmico em ambientes externos. No seu trabalho, destaca-se a importância do desenvolvimento acerca dos estudos de aclimação, adaptação dos indivíduos e a necessidade de considerar mais aspectos na avaliação de conforto térmico.

Silva, Scarione e Alvarez (2012), apresentam uma pesquisa realizada na orla da cidade de Vitória – ES (Brasil), com o intuito de investigar a influência da tipologia urbana na direção e velocidade dos ventos, o que pode acarretar em ambientes agradáveis ou desagradáveis. Na pesquisa é ressaltada a necessidade de um conhecimento aprofundado acerca dos estudos climáticos, de forma que auxilie na compreensão da dinâmica do meio urbano e no entendimento dos fatores que afetam a sensação térmica dos cidadãos. Os autores afirmam que dessa maneira é possível prever cenários futuros, pois estes servirão de auxílio na adoção de políticas públicas de planejamento e/ou ordenamento urbano.

Johansson *et al.* (2014) efetuam uma revisão dos instrumentos e métodos de análise da sensação térmica em ambientes externos, destacados em vinte seis estudos. Nesse trabalho é abordada a variedade de métodos e julgamentos subjetivos utilizados nessas investigações, e assim é ressaltada a importância de uma padronização desses métodos de avaliação relacionados à sensação térmica, considerando a escolha de instrumentos, modelos de questionários, variáveis atmosféricas e dos índices.

Diante o exposto é possível compreender a relevância e a complexidade dessa temática, por envolver o bem estar do homem, assim como, o equilíbrio do ambiente natural. Também nota-se a evolução quanto ao desenvolvimento de índices e modelos para avaliar a sensação térmica e a necessidade de se continuar desenvolvendo novos estudos.

1.2. Microcontroladores: alternativa de baixo custo

Com os avanços da ciência, novas tecnologias podem desempenhar um importante papel para as pesquisas ambientais, pois permitem melhorias na investigação do meio ambiente, tornando-se fundamentais para enriquecer o conhecimento. Dessa forma, permitem novos caminhos para o desenvolvimento, os quais podem, e devem, ser seguros e sustentáveis sob à ótica ambiental (MENON, 1992). Porém, os equipamentos e instrumentos de medição, em sua maioria, apresentam custos elevados, que muitas vezes, não são acessíveis para determinados tipos de público.

Como uma alternativa e considerando os aspectos, baixo custo e acessibilidade, há os microcontroladores (MCUs). Eles consistem em pequenos dispositivos programáveis, que contém um sistema computacional inserido em seu circuito, além de processador, memórias, sistema de *clock*, módulo temporização e interface de “entrada/saída” (MONK, 2013).

Segundo Borges *et al.* (2008, p.3):

Os microcontroladores podem ser definidos como processadores que foram encapsulados com memória, interface de entrada/saída de dados e dispositivos periféricos. Entre os periféricos estão conversores A/D (analógico/digital), temporizadores/contadores, interface para comunicação serial, *watchdog* programável, etc. Em outras palavras, são computadores encapsulados em um único invólucro. Tornaram-se comuns em diversos ramos da indústria a partir do final da década de 70 e atualmente existe um número crescente de opções disponíveis no mercado.

Os microcontroladores são muito versáteis para o desenvolvimento de projetos, pois agregam em seus circuitos internos muitas funcionalidades, sendo possível empregá-los em diversas aplicações que necessitem do controle de processos, automação de sistemas, aquisição de dados, entre outros propósitos.

Dentre as aplicações dos MCUs, existem aquelas voltadas à investigação do meio ambiente, que integrado a outros componentes eletrônicos e sensores, permitem a coleta de dados ambientais.

De forma a evidenciar projetos na área ambiental, há o trabalho desenvolvido por Miranda e Pereira (2011), que elaboram um sistema alternativo e de baixo custo para o monitoramento de dados termo-pluviométricos, com uso de uma plataforma que contém o microcontrolador PIC, da fabricante Microchip.

Na pesquisa de Palmieri *et al.* (2014) é apresentado um sistema de aquisição de dados (SAD) utilizando uma plataforma que contém um microcontrolador PIC, para mensurar valores de umidade relativa e temperatura do ar.

Outro trabalho envolvendo a temática ambiental é o de Alvim (2016), que desenvolve uma estação meteorológica em uma embarcação não tripulada, utilizando a plataforma de prototipagem Arduino, a qual contém o microcontrolador Atmega328, para avaliar as variáveis de temperatura, pressão, umidade e índice pluviométrico.

Além desses projetos, muitos outros podem ser desenvolvidos utilizando microcontroladores. Devemos salientar, que alguns aspectos são muito importantes e requerem atenção na escolha desses dispositivos, pois cada fabricante dos microcontroladores, apresentam várias versões (famílias), onde cada uma contém características específicas, tais como: tipos de arquitetura, processador, espaço de memória, quantidade de pinos de conexão, formato e outras particularidades, o que podem ser cruciais no custo e/ou aplicação desses dispositivos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Elaborar um protótipo para avaliar a sensação térmica de ambientes urbanos, a partir de dados de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos.

2.2 Objetivos específicos

- a) Calibração dos elementos sensores pertencentes ao protótipo.
- b) Montagem e replicação do protótipo.
- c) Aplicação do protótipo, para avaliar sua resposta a diferentes ambientes.
- d) Avaliação da relação custo-benefício para futuras pesquisas.

3. METODOLOGIA

No desenvolvimento teórico deste trabalho, foram realizadas pesquisas em artigos científicos, documentos técnicos, livros e materiais disponíveis na internet.

Quanto à elaboração do protótipo, foram utilizados dispositivos eletrônicos para a construção da parte física e uma linguagem de programação para o gerenciamento lógico desses dispositivos.

Neste trabalho, também foi realizado uma parte experimental contendo o processo de calibração e replicação do protótipo, o qual foi aplicado em três locais de Fortaleza - CE. Os valores de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos foram submetidos à dois índices de sensação térmica, de forma a avaliar a resposta do protótipo nesses três ambientes.

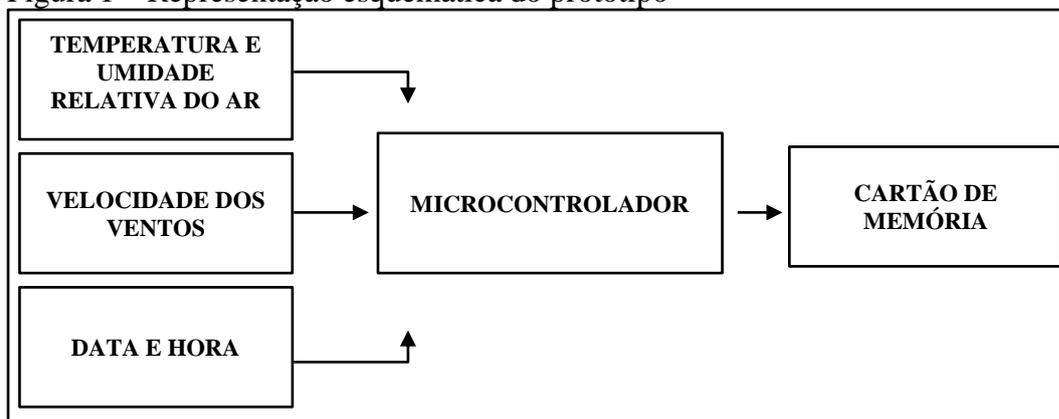
No presente estudo é comum o uso de termos empregados nas áreas da tecnologia, principalmente, eletrônica e informática. Para um maior esclarecimento quanto à compreensão desses termos, foi elaborado um pequeno glossário. Também foi criado um apêndice com as imagens dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo, (Apêndice A). De forma a apresentar a programação que foi utilizada para o trabalho, foi

elaborado um segundo apêndice, intitulado Apêndice B. O estudo também possui um terceiro apêndice, o qual apresenta versões anteriores desenvolvidas até chegar ao modelo que foi utilizado para a pesquisa, intitulado apêndice C.

3.1. Aspectos gerais do protótipo

O protótipo tem a função de captar as variáveis atmosféricas: temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, registrando data e hora das coletas, para em seguida, armazená-los em um cartão de memória. Todo esse processo é gerenciado pelo *software* no microcontrolador. Na figura 1, está a representação esquemática do protótipo.

Figura 1 – Representação esquemática do protótipo



Fonte: Próprio autor.

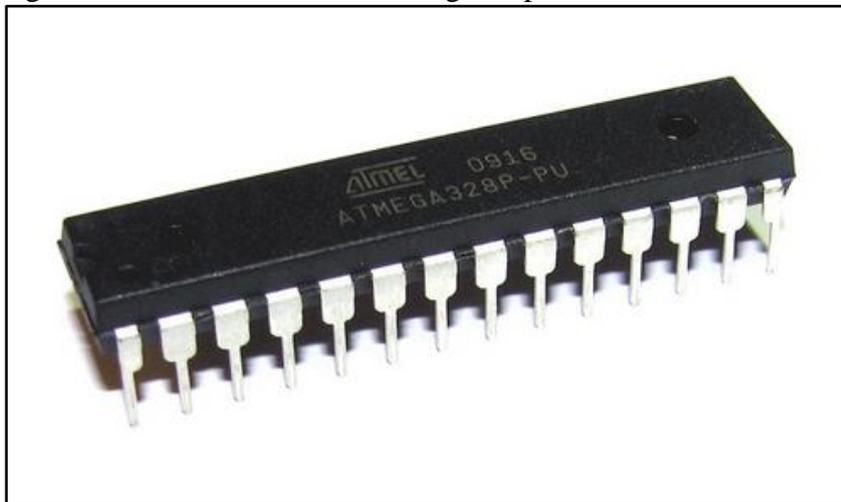
Para facilitar a compreensão acerca da construção do protótipo, serão apresentadas a seguir dois subtópicos. O primeiro, denominado *hardware* do protótipo, refere-se a parte física do projeto que é constituído por componentes eletrônicos. O segundo subtópico é referente ao *software*, onde contém uma descrição sobre: linguagem de programação, ambiente de desenvolvimento e o código elaborado (Apêndice B). Ressalta-se que os mesmos serão apresentados de forma a enfatizar suas características que se aplicam ao projeto.

3.1.1. Hardware do Protótipo

3.1.1.1. Microcontrolador Atmega328p

O microcontrolador utilizado no protótipo é o Atmega328p (Figura 2), pertencente a fabricante Atmel. Esse dispositivo é o “cérebro” da parte física, o qual será programado e fará o controle de todos os outros dispositivos.

Figura 2 – Microcontrolador Atmega328p



Fonte: Google imagens (2017).

O Atmega328p é um dispositivo de 8 bits, que apresenta uma tensão de operação de 1,8 a 5,5 volts. Contém 28 pinos de conexão e apresenta a arquitetura RISC (*Reduced Instructions Set Computers*) permitindo a execução de operações mais rápidas.

Segundo informações presentes na folha de dados Atmel (2015), esse dispositivo possui 32 kB de memória *flash*, 2 kB de RAM (*Random Access Memory*) e 1 kB de EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*). Apresenta alguns periféricos (*timers*, conversores analógico-digitais e outros), e disponibilidade para conexão com outros dispositivos de variados protocolos de comunicação.

Na Tabela 2, temos os pinos microcontrolador que são utilizados para o funcionamento do protótipo.

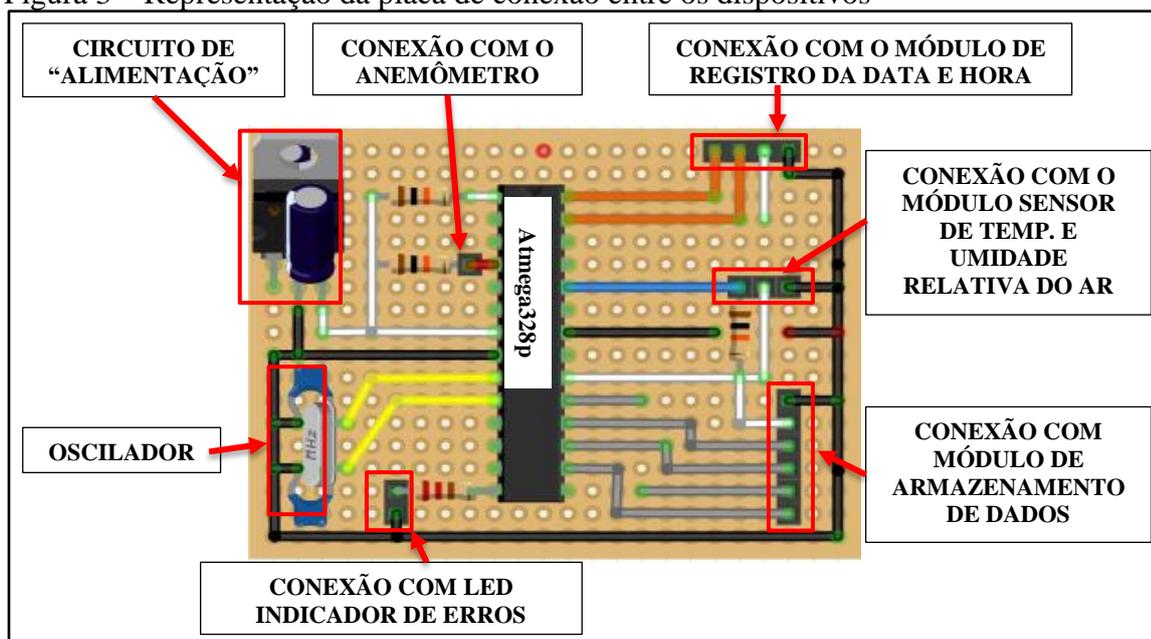
Tabela 2 – Pinos utilizados do Atmega328p

PINOS	DESCRIÇÃO
1	Pino de <i>reset</i> do microcontrolador, onde a programação poderá ser reiniciada.
4	Pino que se conecta ao anemômetro.
7 e 20	Pinos de energização (“alimentação”) do circuito.
8 e 22	Pinos de aterramento.
9 e 10	Pinos que receberão a conexão do oscilador, responsável pela frequência de processamento das informações.
14	Pino onde será conectado o LED (<i>Light Emitting Diode</i>).
16, 17, 18 e 19	Pinos que serão conectados ao módulo de armazenamento de dados.
23	Pino que será conectado ao sensor de temperatura e umidade relativa do ar.
27 e 28	Pinos que serão conectados ao módulo de registro de data e hora.

Fonte: Próprio autor.

A interconexão entre o MCU e os outros componentes ocorreu por meio de uma placa de fenolite de cobre perfurada, onde os dispositivos foram soldados. Na figura 3, há uma representação de como os componentes estão dispostos na placa e suas conexões com o microcontrolador.

Figura 3 – Representação da placa de conexão entre os dispositivos



Fonte: Figura elaborada no *software* Fritizing.

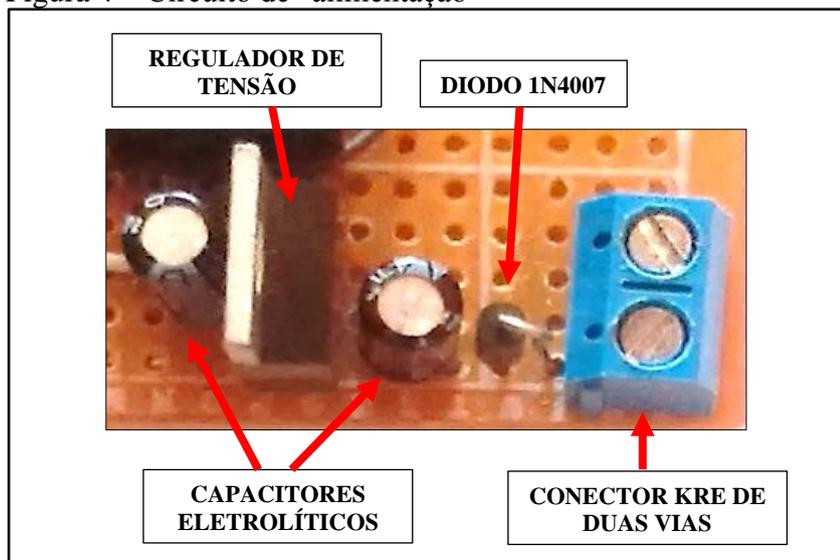
3.1.1.2. Circuito de “alimentação”, oscilador e alerta de erros

O circuito de “alimentação” é constituído por cinco componentes eletrônicos, e tem a função de garantir a segurança no momento da energização, evitando danos ao microcontrolador e à outros componentes. A saída desse circuito se conecta aos seguintes pinos do microcontrolador: 7 e 20 (VCC); 8 e 22 (GND).

Segue uma descrição dos componentes que constituem esse circuito:

- a) conector KRE – Dispositivo de duas vias que recebe a conexão com a bateria;
- b) diodo 1N4007 – Dispositivo que possibilita a corrente elétrica fluir de forma unidirecional, evitando possíveis problemas com correntes de retorno;
- c) regulador L7085 – Dispositivo o qual apresenta a função de regular a tensão, que entra no circuito. Essa regulação é feita para uma tensão de 5 volts, que é compatível com a tensão de operação dos dispositivos inseridos na placa;
- d) capacitor eletrolítico – Dispositivo utilizado como “filtro” na passagem da corrente que adentra ao circuito, pois apresentam como propriedade o armazenamento de cargas elétricas (capacitância), deixando a energia (que passa pelo capacitor) constante e retificada. Para o circuito são utilizados dois capacitores, um antes do regulador L7085 e outro após.

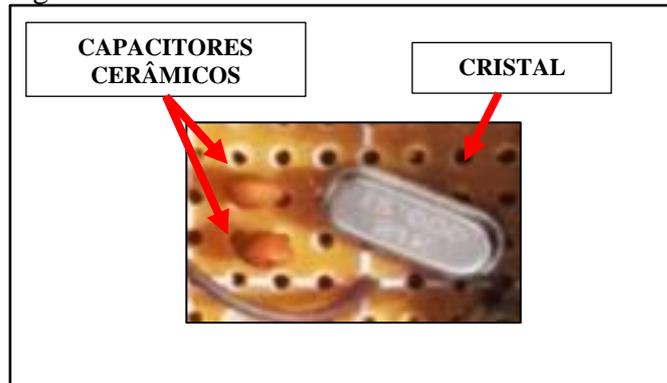
Figura 4 – Circuito de “alimentação”



Fonte: Próprio autor.

O oscilador (ou *clock*) é o circuito responsável pela velocidade das operações no microcontrolador, proporcionando o funcionamento ordenado do mesmo. A configuração utilizada é a XT, constituída por um cristal (responsável por gerar a oscilação) e dois capacitores cerâmicos (que garantem estabilidade ao cristal), conectados aos pinos 9 e 10 do Atmega328p. Segue abaixo uma representação desse circuito.

Figura 5 – Circuito oscilador



Fonte: Próprio autor.

No protótipo também foi utilizado um LED (imagem no apêndice A), que é responsável por gerar um alerta luminoso, em caso de má conexão entre o microcontrolador e o módulo de armazenamento de dados; assim como, entre o microcontrolador e o módulo sensor de temperatura e umidade relativa.

3.1.1.3. Módulo sensor de temperatura e umidade relativa do ar

O dispositivo utilizado para aquisição desses dados é o AM2302, também conhecido por DHT22. Esse dispositivo apresenta pequena dimensão, baixo consumo e possui dois elementos sensores no mesmo envoltório, onde para a umidade relativa há um sensor capacitivo e para a temperatura há um termistor (SANCHEZ TORRECILLA, 2014). Segue abaixo uma tabela contendo as características do módulo sensor utilizado.

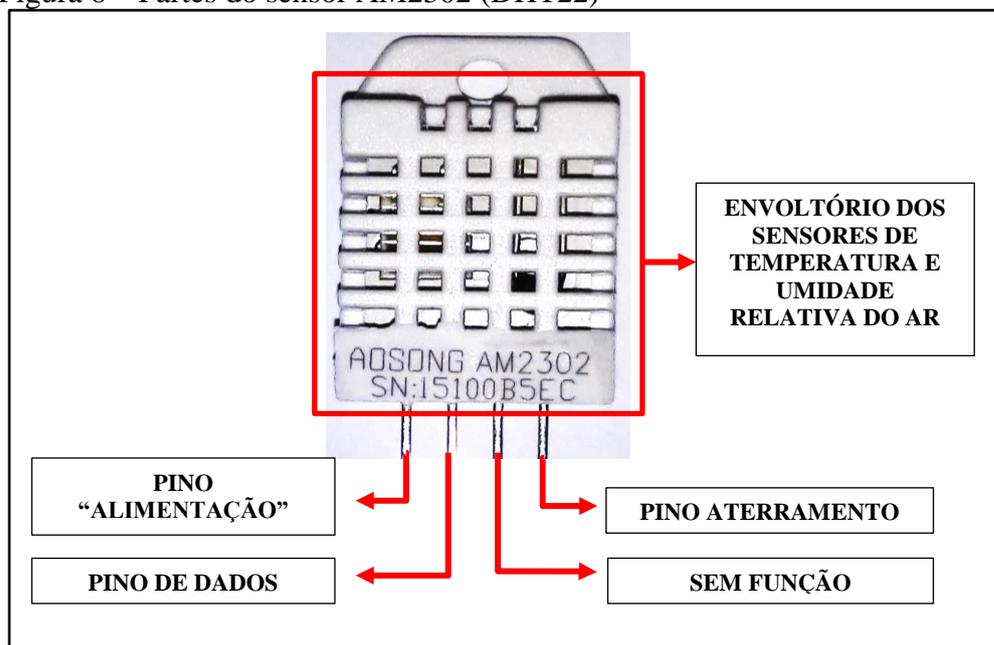
Tabela 3 – Características do sensor AM2302 (DHT22)

SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE	
Tensão de operação	3,3 – 5 V
Corrente de operação	0,5 mA
Tempo de resposta mínimo	2 segundos
Sinal de saída	Digital
Faixa de medição	Umidade: 0 a 100% U.R. Temperatura: - 40° a 80°C

Fonte: Adaptado AOSONG - AM2302 *Product Manual*, 2013.

Esse sensor apresenta quatro pinos de conexão, onde apenas três apresentam funcionalidade, sendo eles: “alimentação”, dados e aterramento (Figura 6). Um aspecto relevante é que para o correto funcionamento do sensor, faz-se necessário a aplicação de um resistor externo no pino de dados (AOSONG, 2013).

Figura 6 – Partes do sensor AM2302 (DHT22)



Fonte: Próprio autor.

3.1.1.4. Anemômetro

Para aquisição dos valores de velocidade do vento é utilizado um anemômetro (Figura 07), que possui um eixo vertical onde são fixados elementos com configuração cônica ou semi-esférica (copos) que por efeito do vento giram solidários ao eixo em função do arrasto aerodinâmico (ALÉ, SIMIONI E HACK, 2008).

Figura 7 – Anemômetro de copos

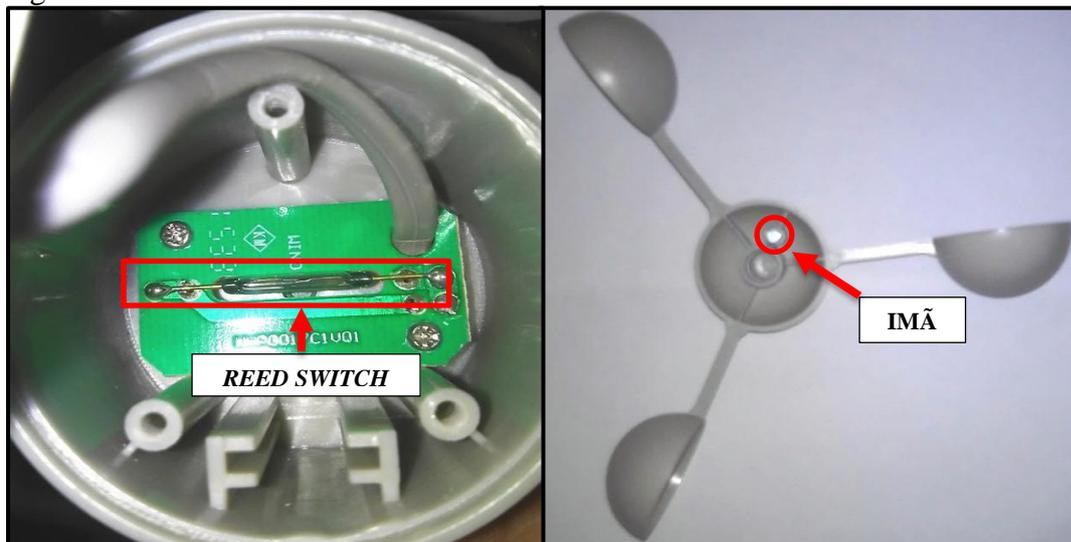


Fonte: Próprio autor.

No interior do anemômetro há um *reed switch* (Figura 8), que consiste em um interruptor constituído por um bulbo de vidro, o qual contém internamente lâminas flexíveis feitas de materiais que podem sofrer a ação de campos magnéticos (BRAGA, 2014).

Para esse anemômetro, o campo é gerado por um ímã (Figura 8) que está fixo na base de suas pás e ao se aproximar do *reed switch*, fecha o contato das lâminas em seu interior, gerando pulsos elétricos.

Figura 8 – *Reed switch* e imã do anemômetro



Fonte: Próprio autor.

Para expressar a velocidade dos ventos foi considerada a fórmula adotada por Little (2014)¹, que realiza um experimento utilizando esse mesmo tipo de anemômetro. Onde na fórmula, é considerado o valor da circunferência do anemômetro, pelo produto da frequência com que o *reed switch* detecta o imã (quantidade de pulsos), em razão do tempo. Segue a abaixo a fórmula de velocidade dos ventos.

$$V = (2 \cdot \pi \cdot \text{raio}) \cdot (\text{pulsos} / \text{tempo}) \quad (1)$$

Onde:

V – Velocidade dos ventos (m/s).

π – Número “pi”, aproximadamente 3,14.

raio – Raio da base das pás do anemômetro (m).

pulsos – Quantidade de pulsos elétricos detectados pelo *reed switch*.

tempo – O intervalo de tempo (s) na amostragem para velocidade dos ventos.

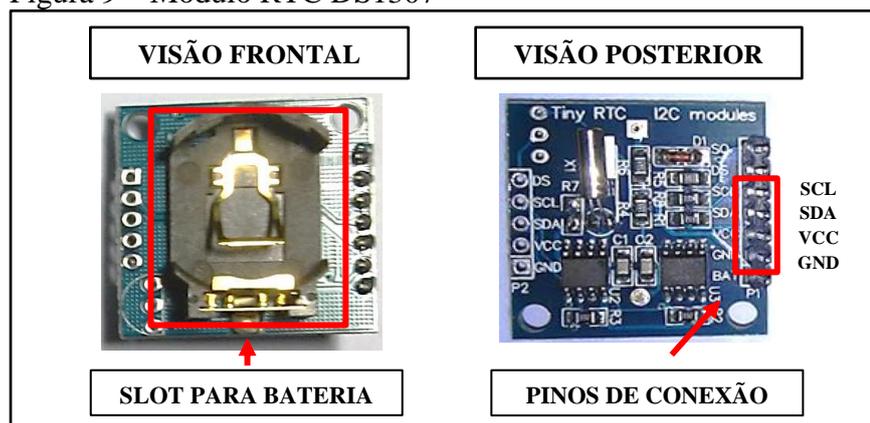
¹ No projeto proposto por Little (2014), há uma discussão a respeito das incertezas relacionadas aos valores registrados por esse anemômetro, onde ele acaba propondo um fator de correção.

3.1.1.5. Módulo de registro de data e hora

O módulo RTC DS1307 (Figura 9) é o dispositivo responsável pelo registro da data e hora na amostragem das variáveis atmosféricas realizadas pelo protótipo. Esse módulo pode operar nos formatos 24 ou 12 horas (AM/PM), mostrando segundos, minutos, horas, dias, meses e o ano. Além disso, realiza a cada transição de mês, uma correção para 30 ou 31 dias e também faz correções para anos bissextos. (MAXIM INTEGRATED, 2015).

Na figura 9, podemos observar que na visão frontal do módulo, há um *slot* para bateria do tipo “botão”, o qual tem como função manter atualizados os registros de data e hora após a configuração inicial; mesmo que o circuito esteja sem energia. Na visão posterior do módulo, temos os pinos de conexão com o microcontrolador Atmega328p.

Figura 9 – Módulo RTC DS1307



Fonte: Próprio autor

Esse dispositivo utiliza o protocolo de comunicação serial I2C, com transmissão bidirecional dos dados. Segundo Silva e Kaschny (2012) o protocolo I2C foi criado pela *Philips Semiconductor Division*, na década de 1990. Ele é formado por um barramento de dois fios (TWI – *Two Wire Interface*), onde em um é estabelecida a transferência dos dados e no outro é feita a sincronização na transmissão das informações (UM10204, 2014).

Para o registro de data e hora, são utilizados apenas quatro pinos, onde dois deles referem-se à “alimentação” do módulo, e os outros, são ligados nos pinos 27 e 28 (especificado na Tabela 2) do microcontrolador Atmega328p (ATMEL, 2015). Na tabela 4 são apresentados os pinos utilizados no módulo e a descrição de suas funcionalidades.

Tabela 4 – Pinos utilizados do módulo RTC DS1307

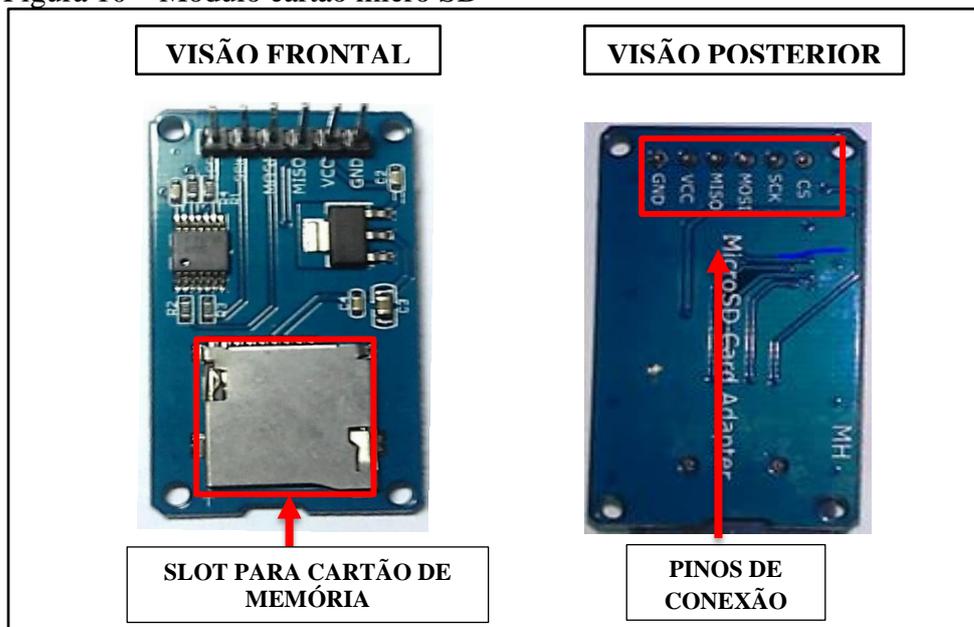
PINOS	DESCRIÇÃO
SCL (<i>Serial Clock</i>)	Onde será realizada a sincronização do tempo na transmissão dos dados
SDA (<i>Serial Data</i>)	Pino onde ocorre a transmissão das informações
VCC (<i>Volts Continuos Current</i>)	Pino de energização do módulo em corrente contínua (CC). Pode ser alimentado por uma tensão de 5 volts
GND (<i>Ground</i>)	É o aterramento elétrico do dispositivo que servirá de referência para o circuito. Ao ser conectado na “alimentação” gera uma diferença de potencial, permitindo a transmissão da corrente no circuito

Fonte: Próprio autor.

3.1.1.6. Módulo de armazenamento dos dados

O dispositivo responsável pelo armazenamento das variáveis atmosféricas é o módulo cartão micro SD (Figura 10). Esse componente possui um encaixe para cartão de memória, contém seis pinos e suporta formatos de arquivo FAT 16 e FAT 32 (sistemas de arquivos usados como padrão nos cartões SD).

Figura 10 – Módulo cartão micro SD



Fonte: Próprio autor.

Para que haja uma comunicação com o microcontrolador é utilizado o protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*), que segundo Trentin (2011) é responsável por estabelecer comunicação entre os dois dispositivos, onde um é chamado de “mestre” (microcontrolador) e o outro de “escravo” (módulo cartão micro SD). Através de um sinal de *clock* gerado pelo “mestre”, temos o sincronismo entre esses dispositivos.

A comunicação apresenta as seguintes características:

- a) *serial* - Processo de enviar dados, sendo um *bit* por vez;
- b) síncrona - Processo de comunicação entre um emissor e um receptor, sincronizados e pelo mesmo sinal de *clock*;
- c) *full-duplex* - Onde a transmissão de dados pode ser estabelecida em ambas as direções de forma simultânea.

No microcontrolador Atmega328p, a conexão é feita com o módulo cartão micro SD nos pinos 16, 17, 18 e 19 (ATMEL, 2015). Na tabela 5 é descrito os pinos que são utilizados no módulo.

Tabela 5 – Pinos utilizados do módulo cartão micro SD

PINOS	DESCRIÇÃO
CS (<i>Chip Select</i>)	Pino que permite o “mestre” escolher com qual “escravo” será feita a comunicação. No caso da aplicação, a comunicação será entre o MCU (mestre) e o módulo cartão micro SD (escravo)
MOSI (<i>Master Out and Slave In</i>)	Pino que permite as informações transitarem do dispositivo “mestre” (saída mestre) para o “escravo” (entrada escravo)
SCK (<i>Serial Clock</i>)	Estabelece o sincronismo das informações entre os dispositivos, “mestre” e “escravo”
MISO (<i>Master In and Slave Out</i>)	Pino que permite as informações transitarem do “escravo” (saída escravo) para o “mestre” (entrada mestre)
VCC e GND	Pinos de “alimentação” e aterramento

Fonte: Próprio autor.

3.1.2. Software do protótipo

3.1.2.1. Linguagem de programação

Para o desenvolvimento do código, foi utilizada a linguagem de programação aplicada nas placas de prototipagem da tecnologia Arduino, que é baseada na linguagem C, embora possua funções próprias e específicas.

Um aspecto muito importante para o código está relacionado com o uso de bibliotecas para os módulos do protótipo, que são necessárias para inserção de comandos específicos dentro da programação. Segundo Rebouças Filho (2013), uma biblioteca consiste em um conjunto de funções (comandos) agrupadas em um mesmo arquivo. Na tabela 6, está presente uma descrição das bibliotecas utilizadas no código, os dispositivos relacionados e os seus respectivos desenvolvedores.

Tabela 6 – Bibliotecas utilizadas no desenvolvimento da programação

BIBLIOTECA	MÓDULO/DISPOSITIVO	DESENVOLVEDOR
DHT	Módulo sensor AM2302	<i>Adafruit Industries</i>
RTC DS1307	Módulo RTC DS1307	<i>Rinky-Dink Eletronics, Henning Karlsen</i>
SDFat	Módulo cartão micro SD	William Greiman
<i>LowPower</i>	Microcontrolador Atmega328p	Lim Phang Moh

Fonte: Informações retiradas das bibliotecas utilizadas na programação.

Dentre as bibliotecas utilizadas na programação, a biblioteca *LowPower*, difere das demais, pois esta permite um acesso simplificado aos comandos de economia de energia do Atmega328p, o que é útil nos intervalos de leitura das variáveis.

3.1.2.2. Arduino IDE

Para a construção do código de programação foi utilizado o *software* Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), que refere-se ao ambiente onde a programação para o

microcontrolador é desenvolvida. O IDE é modelado a partir da linguagem de programação *Processing*, que utiliza uma interface gráfica construída em Java (BANZI, 2011).

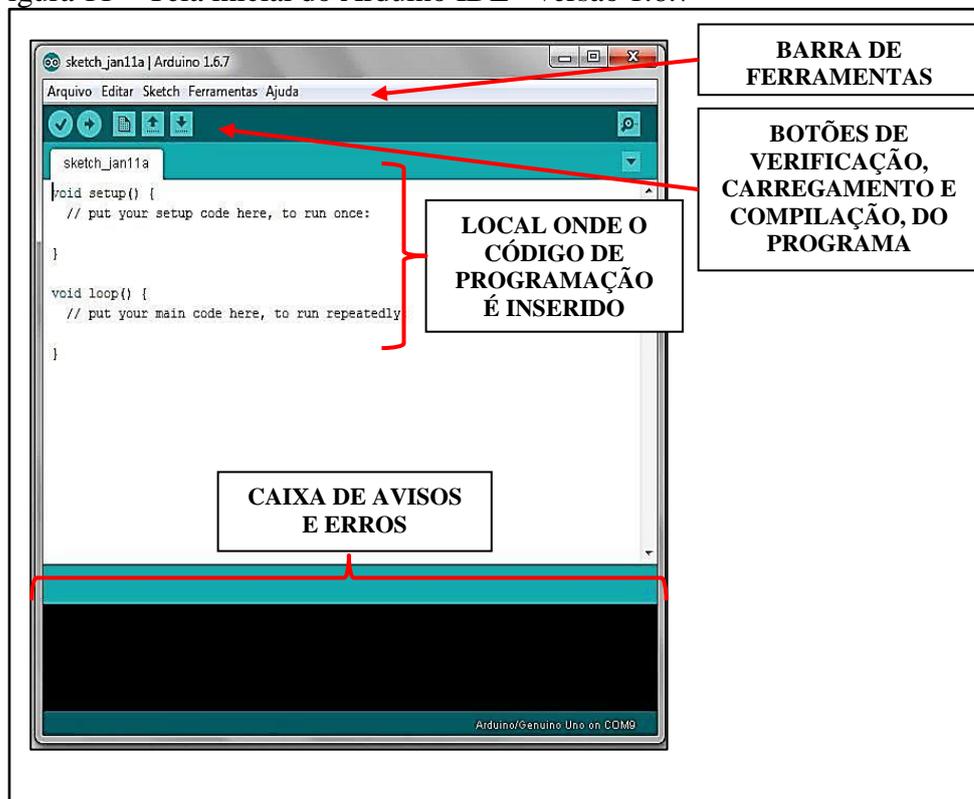
Além do desenvolvimento da programação, no Arduino IDE é permitida a revisão do código pela busca de erros nos comandos, e também pode ser realizado o processo de compilação, que pode ser entendido como uma “tradução” da linguagem escrita pelo usuário para uma linguagem em que o microcontrolador “entenda” (linguagem de máquina).

Na figura 11, é apresentada a tela inicial do Arduino IDE, onde ao centro aparecem duas funções, sendo elas:

- a) *void setup* - Local em que são feitas as configurações iniciais, úteis na construção do código;
- b) *void loop* - Onde o programa se repete “infinitamente” conforme desejo do usuário.

Na parte superior da janela do IDE, há uma barra de ferramentas, que permite acesso as opções de verificação, compilação e execução do código criado. E no inferior, há uma caixa de mensagens onde, os erros de sintaxe e/ou de lógica do programa são indicados.

Figura 11 – Tela inicial do Arduino IDE - versão 1.6.7

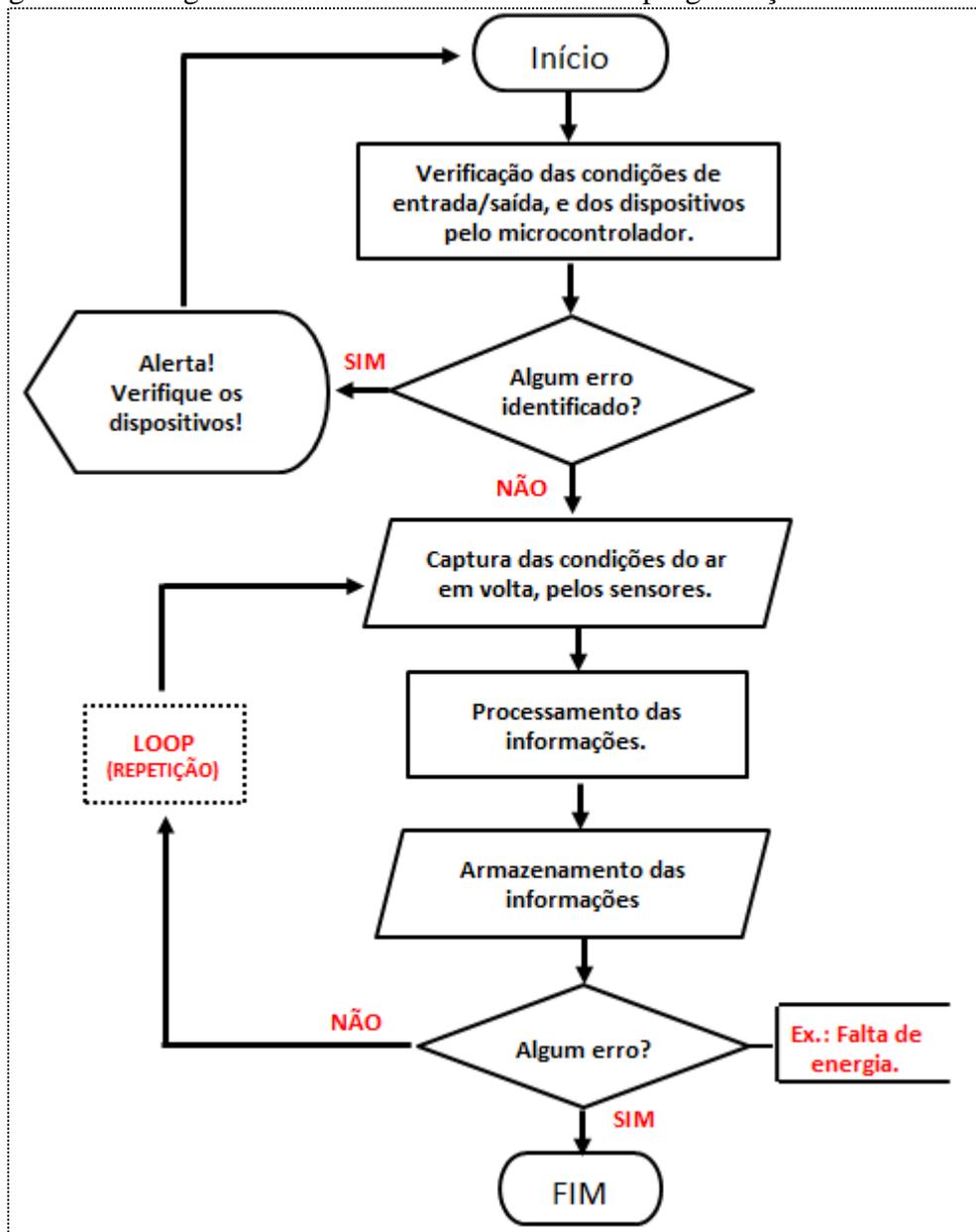


Fonte: Recorte da tela inicial Arduino IDE.

3.1.2.3. Descrição geral da programação

Nesse subtópico é exposto trechos da programação, as quais estão divididos em quatro imagens. Para melhor entendimento do código criado, é apresentado na figura 12 um diagrama de blocos demonstrando a estrutura da programação.

Figura 12 – Diagrama de blocos com a estrutura da programação



Fonte: Próprio autor.

Na figura 13, é representada a parte inicial do programa, onde as configurações iniciais são inseridas, por meio da declaração das bibliotecas a serem utilizadas, definição das constantes e variáveis, assim como seu tamanho de armazenamento.

Figura 13 – Configurações iniciais da programação

```

#include <DHT.h>
#include <DS1307.h>
#include <SdFile.h>
#include <SdFat.h>
#include "LowPower.h"

#define P 3.14
#define RAIO 0.02
#define PINO_VENTO 2
#define DHT_PINO A1
#define DHT_TIPO DHT22

double Velocidade;
unsigned long MillisAtras = 0;
uint16_t start = 0;
volatile uint16_t Giro = 0;
const int chipSelect = 10;
float h, t;

SdFat sdCard;
SdFile baseDados;
DHT dht(DHT_PINO, DHT_TIPO);
DS1307 rtc(SDA, SCL);

```

Bibliotecas

Declaração das constantes e variáveis.

Configurações dos módulos.

Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar, que no trecho acima onde é realizada a declaração de constantes e variáveis, também é definido os pinos em que o anemômetro (*#define* PINO_VENTO 2) e o módulo sensor AM2302 (ou DHT22) (*#define* DHT_PINO A1), se conectam ao Atmega328p.

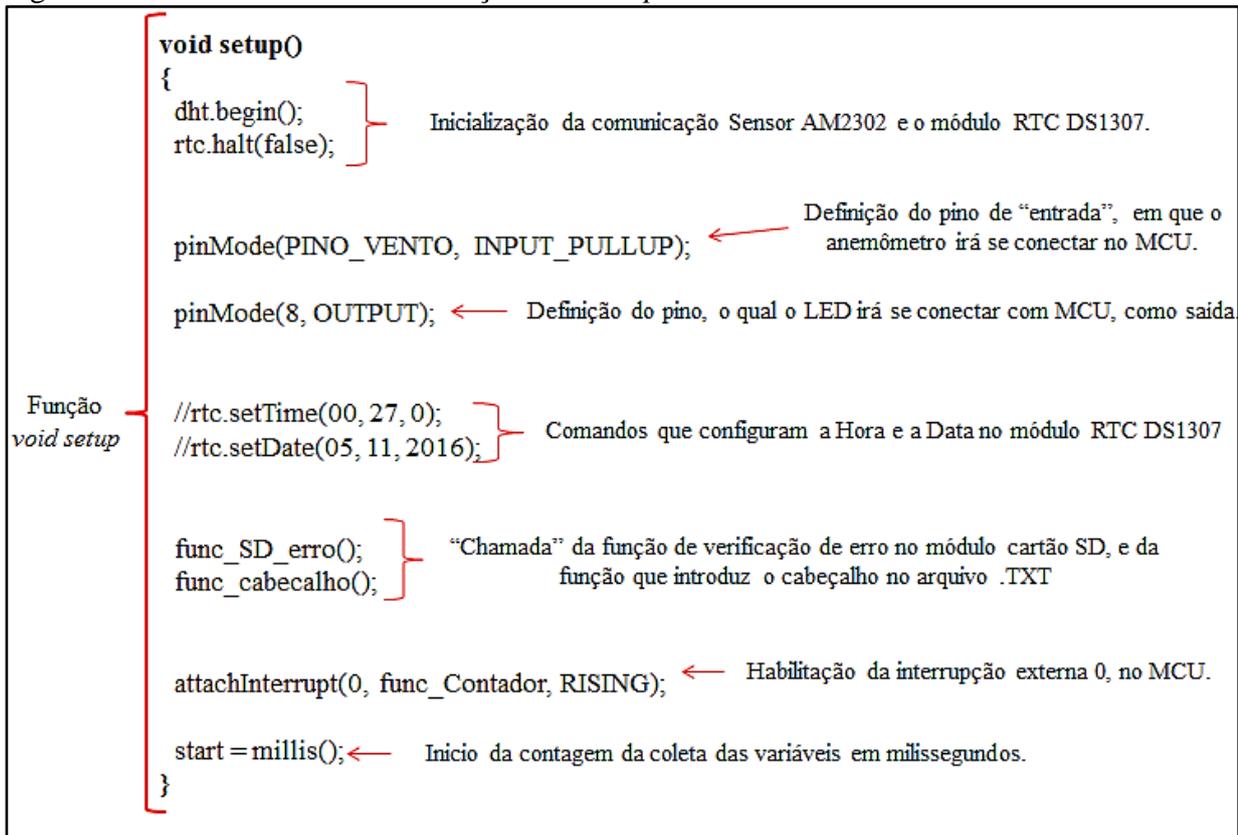
Na figura 14, é realizada a “declaração” das funções, que são um conjunto de comandos os quais executam ações específicas dentro do programa. O uso das funções na programação permite uma melhor organização do código criado, e facilita a “chamada” desses comandos em outras partes do código. Na imagem abaixo, há sete funções que são construídas na programação.

Figura 14 – Funções construídas na programação

<code>void func_cabecalho()</code> { }	} Função responsável por inserir um cabeçalho, com a nomenclatura das variáveis coletadas pelo protótipo, em bloco de notas gerado no interior do módulo cartão micro SD.
<code>void func_erro_led()</code> { }	} Função de indicação luminosa.
<code>void func_Contador()</code> { }	} Função que armazena a contagem do número de pulsos elétricos, gerado pelo <i>reed switch</i> do anemômetro.
<code>void func_Veloc_Vento()</code> { }	} Função que contém o cálculo de velocidade do vento.
<code>void func_DHT22()</code> { }	} Função onde é registrado os valores de umidade e temperatura do ar. Nele, também é realizada verificação dos valores gerados pelo sensor e caso ocorra algum problema, o LED é acionado.
<code>void func_SD()</code> { }	} Função onde é realizado a verificação do módulo cartão micro SD, caso ocorra alguma má conexão ou o cartão não esteja inserido no módulo é acionado o LED.
<code>void func_Dormir()</code> { }	} Função da economia de energia.

Fonte: Próprio autor.

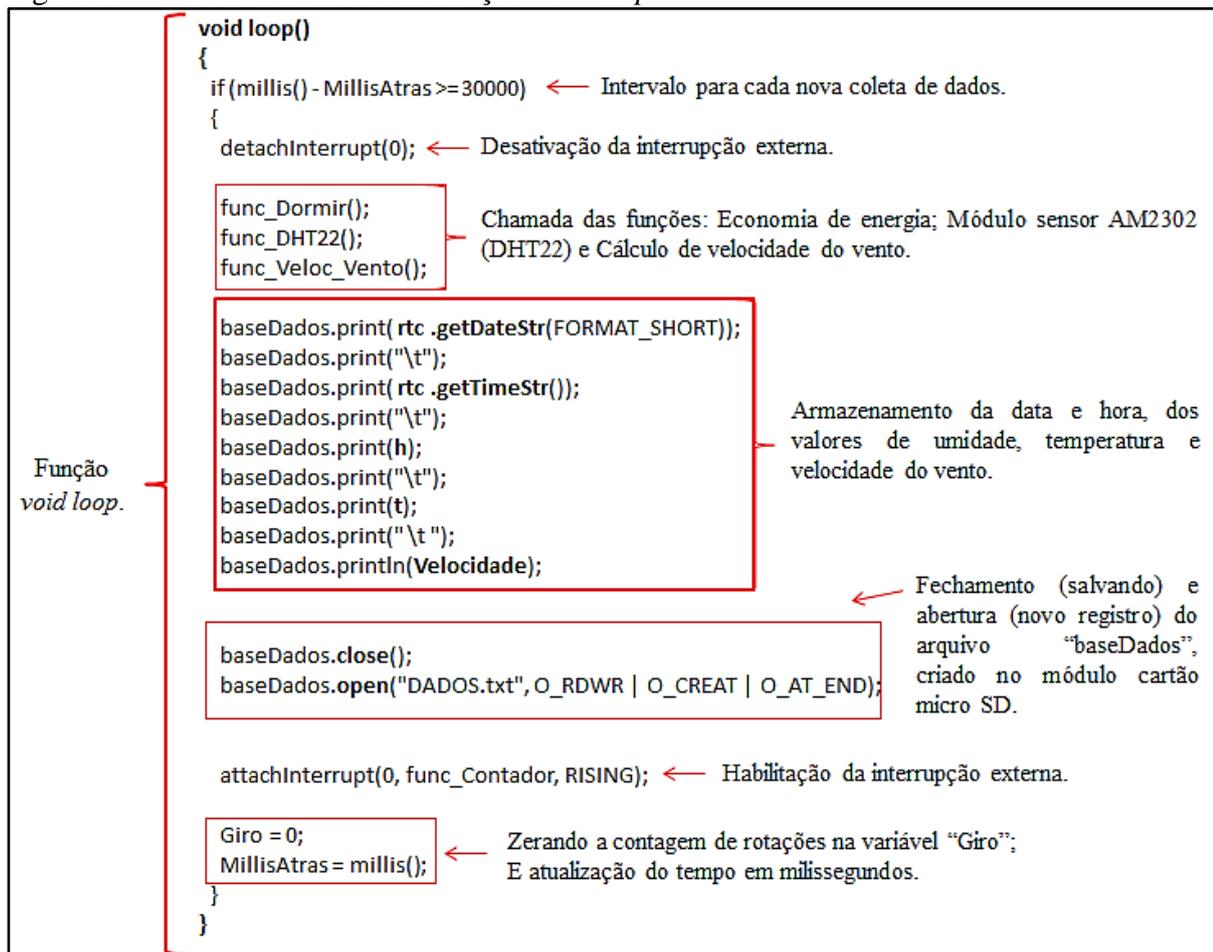
Na função *void setup* (Figura 15), ocorre a inicialização dos módulos, a definição dos pinos do MCU que funcionam como “entrada” e “saída” e também a habilitação da interrupção externa 0 (pino 4 do Atmega328p), que registra a contagem do número de pulsos que o anemômetro executou nos intervalos de amostragem.

Figura 15 – Comandos dentro da função *void setup*

Fonte: Próprio autor.

Na figura acima, tem duas linhas de comando com barras duplas (*//*), sendo elas: “*rtc.setTime(00, 27, 0);*” e “*rtc.setDate(05, 11, 2016);*”. Essas são utilizadas para configurar a hora e a data no módulo RTC DS1307. Este procedimento pode ser realizado uma única vez já que a bateria do módulo, não deixa que o registro da hora e data seja apagado. Por essa razão, as linhas de comando recebem barras duplas, para estarem inativos durante a execução da programação, caso contrário, hora e data serão reiniciados na primeira configuração do módulo.

Na figura 16, na função *void loop*, é onde ocorre o funcionamento ininterrupto do código e basicamente é realizada a “chamada” das funções desenvolvidas na figura 14. Nessa parte, ocorre o armazenamento no cartão de memória dos valores de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, bem como o registro de tempo e data das amostragens.

Figura 16 – Comandos dentro da função *void loop*

Fonte: Próprio autor.

3.2. Metodologia de calibração

Antes da descrição acerca dos procedimentos de calibração, é importante ressaltar que o protótipo foi replicado, totalizando em três unidades. Dessa forma, as informações tratadas nesse tópico são referentes aos elementos que compõem cada um desses protótipos.

Para garantir uma melhor confiabilidade nos valores obtidos pelo anemômetro e os sensores de cada protótipo, foram realizados testes e ensaios comparativos ao anemômetro e sensores de uma estação meteorológica, devidamente calibrada da marca Davis. Os testes aconteceram sob as mesmas condições experimentais, de forma com que os elementos dos protótipos marcassem os mesmos valores registrados pela estação da Davis.

3.2.1. Ensaios de calibração dos anemômetros

Os ensaios foram realizados de forma similar ao procedimento adotado por Sampaio, Ullman e Camargo (2005), que compararam os valores de um anemômetro não calibrado com um calibrado, utilizando um túnel de ventos. No estudo citado, foi realizada uma análise de regressão simples, para a obtenção do coeficiente angular e o de determinação e também foi feita uma avaliação estatística para comparar as médias dos valores obtidos entre os instrumentos.

Dessa forma, para o presente projeto, o anemômetro de cada protótipo foi submetido a testes comparativos com um anemômetro calibrado da estação meteorológica da Davis, utilizando um túnel de ventos. Os ensaios ocorreram no dia 13 de janeiro, no Laboratório de Aerodinâmica e Mecânica dos Fluidos (LAERO), da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado no *campus* do Pici em Fortaleza.

O procedimento consistiu, em adquirir valores para sete intervalos² de velocidade do vento (0 a 7 m/s). Onde, o controle do fluxo de vento dentro do túnel, aconteceu por meio do inversor de frequência, da fabricante WEG: CFW 08, que possibilitou o controle do número de rotações por minuto (RPM) do gerador de vento no túnel.

² O intervalo de velocidade dos ventos (de 0 a 7 m/s), foi adotado tomando como base a média de ventos que incide na cidade de Fortaleza, o que pode ser constatado no estudo desenvolvido por Sousa Filho e Sales (2010), intitulado: Estudo do comportamento da velocidade dos ventos na cidade de Fortaleza entre 1974 e 2007.

Inicialmente, foi colocado o anemômetro da Davis (Figura 17) e registradas suas velocidades, de tal forma, que seus valores servissem de referência para cada nível de vento gerado no túnel.

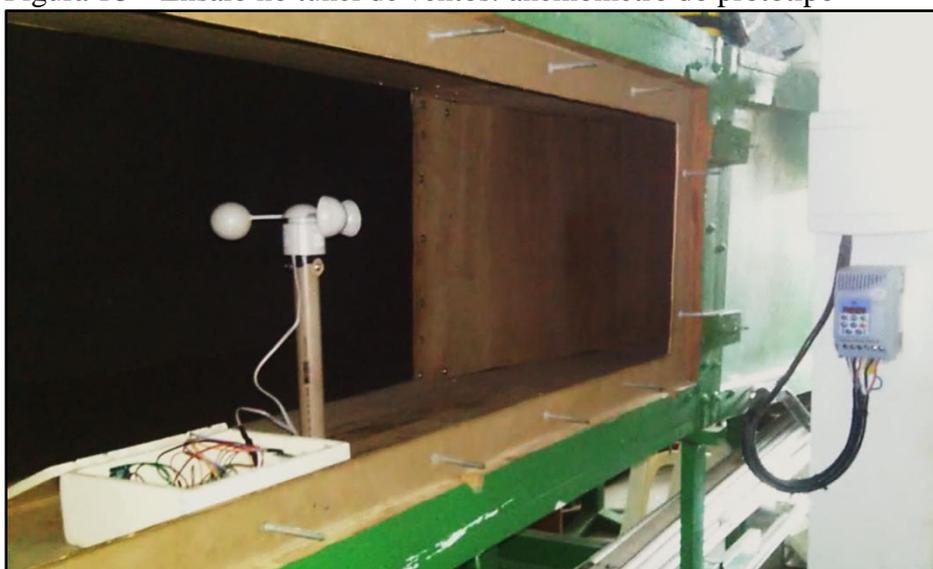
Figura 17 – Ensaio no túnel de ventos: anemômetro Davis



Fonte: Próprio autor.

Após essa etapa, foram colocados os anemômetros dos protótipos nos mesmos níveis em que o do Davis fora submetido, e assim fossem registrados seus valores de velocidade. Ressaltando, que esse procedimento foi feito separadamente para cada anemômetro de cada protótipo, onde foram acoplados em estruturas provisórias (Figura 18).

Figura 18 – Ensaio no túnel de ventos: anemômetro do protótipo

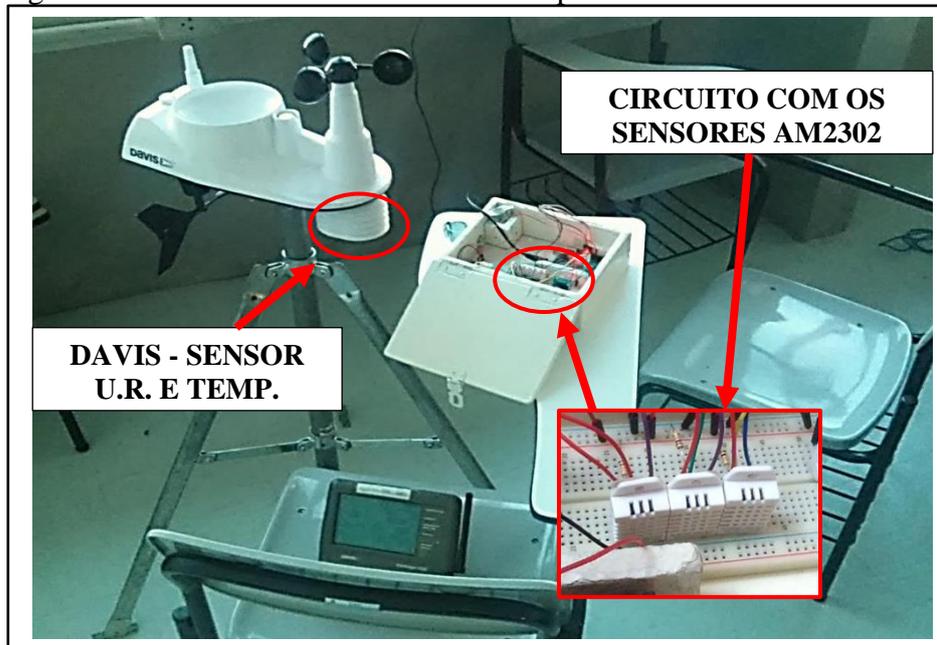


Fonte: Próprio autor.

3.2.2. Ensaio com os sensores de temperatura e umidade relativa do ar

Da mesma forma que os anemômetros, os sensores de temperatura e umidade relativa do ar (AM2302 ou DHT 22) também foram submetidos a testes e comparados aos sensores existentes na estação da Davis. O local escolhido foi uma sala de aula do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR (UFC), onde houve um controle quanto ao acesso de pessoas para não interferir nos ensaios. Os sensores AM2302 foram dispostos nas mesmas condições ao da estação Davis e submetidos a variações de temperatura e umidade relativa do ar por um período de 42 horas, dos dias 14 a 16 de janeiro de 2017 (Figura 19).

Figura 19 – Ensaio com os sensores de temperatura e umidade relativa do ar



Fonte: Próprio autor.

Os sensores foram colocados em um circuito temporário e seus valores armazenados em um cartão de memória. Já os valores de umidade e temperatura do ar da estação Davis, foram armazenados em seu *datalogger*.

3.3. Área de estudo

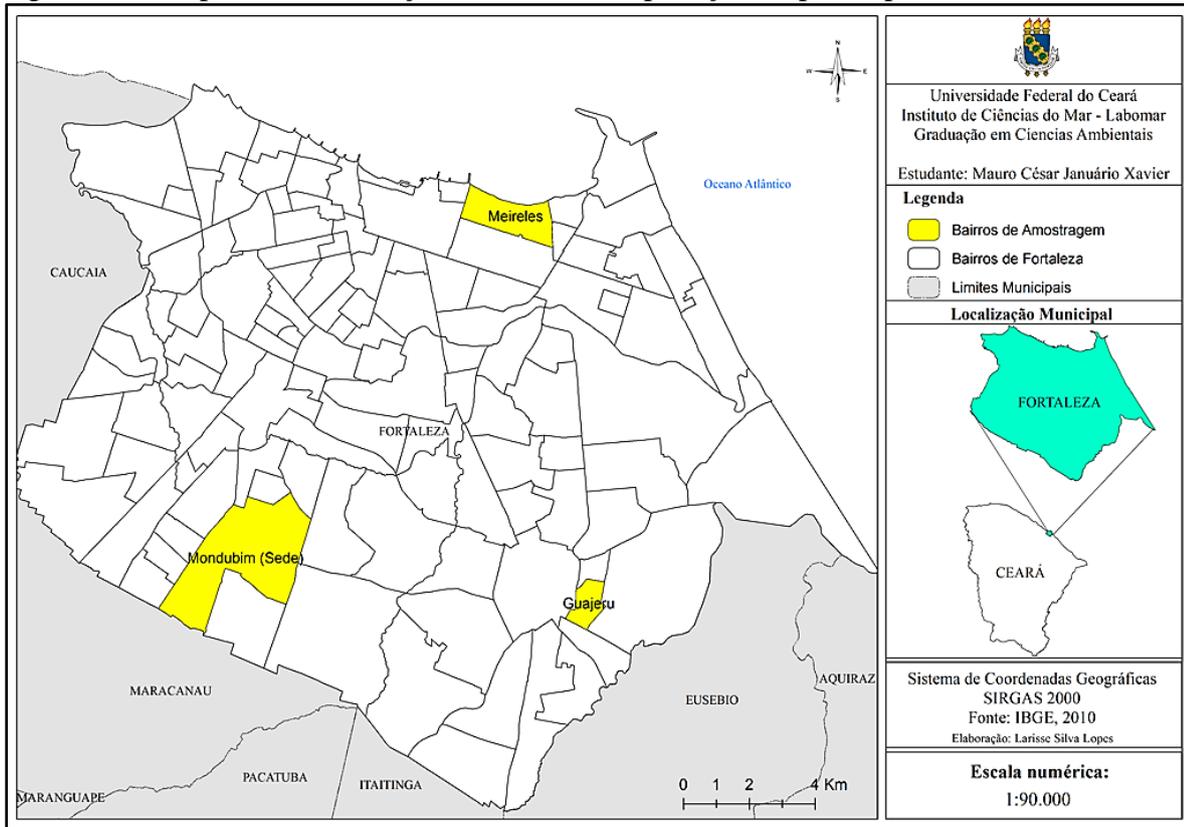
A cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizada no litoral atlântico, na região do nordeste brasileiro, à uma altitude média de 21 metros, com latitude $03^{\circ}43'02''S$ e longitude $38^{\circ}32'35''O$ (ROCHA, 2014). A cidade apresenta uma área de $314,930 \text{ km}^2$, cerca de 2.609.716 habitantes e uma densidade demográfica de 7.786,44 hab/ km^2 , sendo a cidade mais populosa do Ceará e a quinta mais populosa do Brasil (IBGE, 2010).

O município apresenta duas estações climáticas bem definidas, a chuvosa (de janeiro a julho) e a seca (de agosto a dezembro), com velocidade média anual dos ventos de 3,53 m/s (SOUSA, 2011). Considerando alguns dados acerca de Fortaleza, temos uma pluviosidade de 1.338,0 mm, temperaturas médias variando de 26 a 28 °C e a cidade possui como clima, o tropical quente sub-úmido (IPECE 2015).

Para a aplicação do protótipo foram escolhidos três bairros de Fortaleza, sendo eles:

- a) Meireles, localizado em uma área nobre, na orla da cidade com presença predominante de edificações e um grande fluxo de veículos diariamente;
- b) Guajeru, localizado na periferia, com predominância de residências, áreas verdes e terrenos baldios;
- c) Mondubim, mais especificamente no local denominado Planalto Arvoredo, onde esta havendo um processo de especulação imobiliária.

Figura 20 – Mapa com a indicação dos locais de aplicação do protótipo



Fonte: Elaborado por Larisse Lopes (2017).

3.4. Índices de avaliação da sensação térmica

Para a análise da sensação térmica foram selecionados dois índices, presentes na literatura. O primeiro índice é o desenvolvido por Thom (1959) que envolve valores de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), sendo denominado de Índice de Desconforto de Thom (IDT).

Esse índice é abordado no trabalho de Santos *et al.* (2011), sendo empregado para avaliar o clima urbano de um campus universitário localizado na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba (Brasil). A fórmula utilizada no estudo é a seguinte:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \cdot UR) \cdot (T - 14,5) \quad (2)$$

Onde:

IDT – Índice de Desconforto de Thom
 T – temperatura do ar (°C)
 UR – Umidade relativa do ar (%)

Para classificar as condições térmicas dos valores produzidos através do IDT, será utilizada a classificação proposta por Giles *et al.* (1990), demonstrada na tabela abaixo.

Tabela 7 – Níveis de desconforto para Índice de Desconforto de Thom

FAIXA	IDT (°C)	NÍVEL DE DESCONFORTO TÉRMICO
1	IDT < 21	Sem desconforto
2	21 ≤ IDT < 24	Menos de 50% da população sente desconforto
3	24 ≤ IDT < 27	Mais de 50% da população sente desconforto
4	27 ≤ IDT < 29	A maioria da população sente desconforto
5	29 ≤ IDT < 32	O desconforto é muito forte e perigoso
6	IDT ≥ 32	Estado de emergência médica

Fonte: Retirado de Santos *et al.*(2011).

O segundo índice, proposto por Suping *et al.* (1992) é denominado: Índice de Temperatura Efetiva com Vento - TEv, que considera além dos valores de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), a velocidade dos ventos (m/s).

Esse índice é abordado nos trabalhos desenvolvidos por Gobo e Galvani (2012) e por Baraúna dos Santos, Amorim e Cavalcante (2014). No primeiro trabalho, o índice é aplicado em estudos de conforto térmico para o estado do Rio Grande do Sul (Brasil), e o último para o município de Arapiraca, estado de Alagoas (Brasil). Segue abaixo a fórmula abordada nesses estudos.

$$TEv = 37 - [(37 - T) / (0,68 - 0,0014 \cdot UR + (1/1,76 + 1,4 \cdot v^{0,75}))] - 0,29 \cdot T \cdot (1 - UR/100) \quad (3)$$

Onde:

TEv – Temperatura Efetiva com Vento (°C)
 T – Temperatura do ar (°C)
 RH – Umidade relativa (%)
 v – Velocidade dos ventos (m/s)

Para os diferentes graus de percepção derivado da fórmula do TEv, foram utilizadas as condições estabelecidas por Fanger (1970). Segue abaixo na tabela 8, os graus de percepção.

Tabela 8 – Níveis para o Índice de Temperatura Efetiva com Vento

TE _v (°C)	SENSAÇÃO TÉRMICA	GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO
TE _v < 13	Muito frio	Extremo estresse ao frio
13 ≤ TE _v < 16	Frio	Tiritar
16 ≤ TE _v < 19	Frio Moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
19 ≤ TE _v < 22	Ligeiramente Frio	Vasoconstrição
22 ≤ TE _v < 25	Confortável	Neutralidade térmica
25 ≤ TE _v < 28	Ligeiramente quente	Ligeiro suor; vasodilatação
28 ≤ TE _v < 31	Quente moderado	Suando
31 ≤ TE _v < 34	Quente	Suor em profusão
TE _v > 34	Muito Quente	Falha na termorregulação

Fonte: Retirado de Baraúna dos Santos, Amorim e Cavalcante (2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do procedimento de calibração

4.1.1. Anemômetro

Nos ensaios com os anemômetros, foram registrados 40 valores para cada um dos sete intervalos de velocidade e calculada uma média para cada intervalo. Na tabela 9, temos os valores registrados pelo anemômetro da Davis e dos protótipos.

Tabela 9 – Valores de velocidade registrados pelos anemômetros

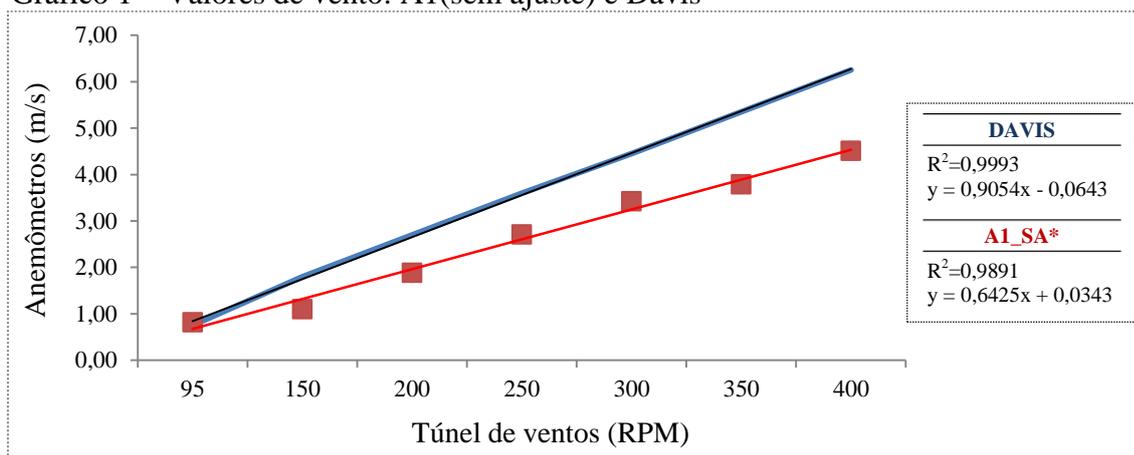
Túnel de ventos (RPM)	Intervalos de velocidade	Davis (m/s)	Anem. 1 (m/s)	Anem. 2 (m/s)	Anem. 3 (m/s)
95	0 – 1 m/s	0,75	0,82	0,92	0,96
150	1 – 2 m/s	1,80	1,10	1,66	1,92
200	2 – 3 m/s	2,70	1,88	2,58	2,63
250	3 – 4 m/s	3,60	2,71	3,19	3,58
300	4 – 5 m/s	4,45	3,42	4,07	4,68
350	5 – 6 m/s	5,35	3,79	4,74	6,05
400	6 – 7 m/s	6,25	4,51	5,70	6,99

Fonte: Próprio autor.

Conforme tabela 9, é evidente a divergência entre os valores registrados pelos anemômetros de cada protótipo, em comparação aos valores da Davis. Dessa forma, ajustes são necessários para que os valores possam ser relacionados entre si. Diante disso, o procedimento utilizado para adequar os valores dos anemômetros aos da Davis, foi feito através de ajustes individuais (nas casas decimais) no valor de seus raios (Fórmula 1), de modo com que esses marcassem valores semelhantes ao anemômetro calibrado no mesmo fluxo de vento dentro do túnel.

Os valores do anemômetro 1 (A1) apresentaram divergência em relação ao anemômetro Davis (Gráfico 1). Onde o aparelho da Davis apresentou coeficiente angular de 0,9054, enquanto A1 foi de 0,6425, com uma inclinação inferior ao do anemômetro de referência.

Gráfico 1 – Valores de vento: A1(sem ajuste) e Davis

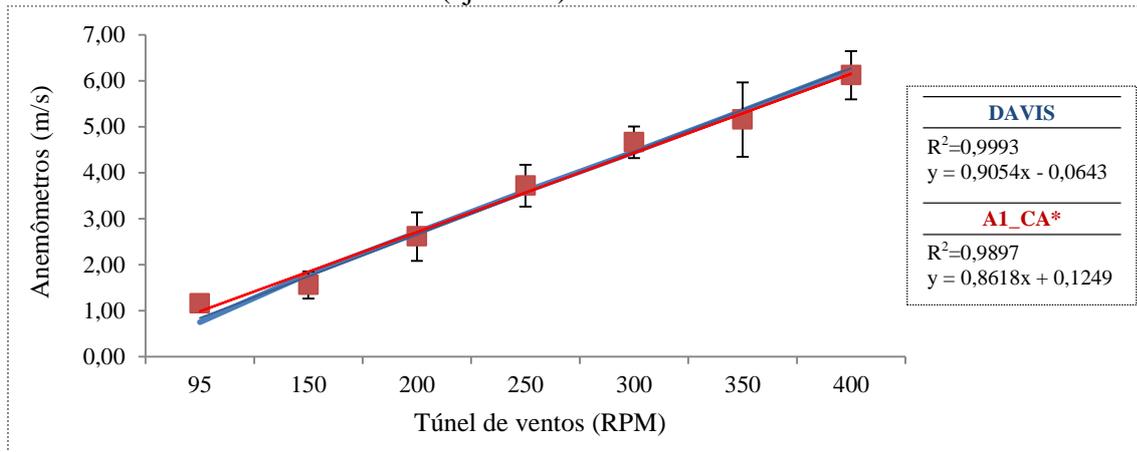


Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007

*SA – Sem ajuste.

Para ajustar os valores do A1, foi adicionado 0,0063 na medida de seu raio, provocando mudanças as quais aproximam a reta do A1 (Gráfico 2) à reta do anemômetro da Davis. Dessa forma, o coeficiente angular do A1 ficou no valor de 0,8618.

Gráfico 2 – Valores de vento: A1 (ajustado) e Davis

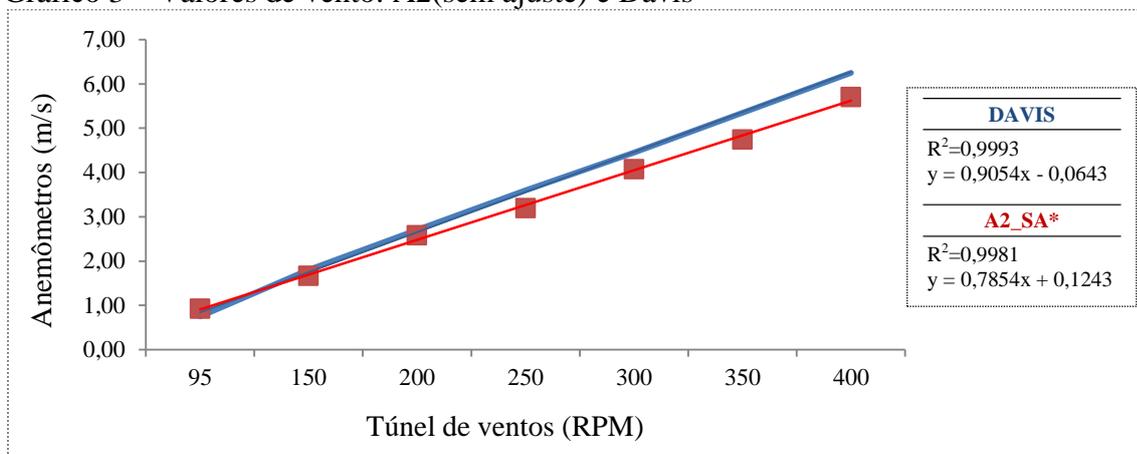


Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007

*CA – Com ajuste.

Diferente do anemômetro 1, os valores do anemômetro 2 (A2), já ficaram mais próximos aos valores marcados pelo anemômetro calibrado (Gráfico 3), apresentando um coeficiente angular no valor de 0,7854.

Gráfico 3 – Valores de vento: A2(sem ajuste) e Davis

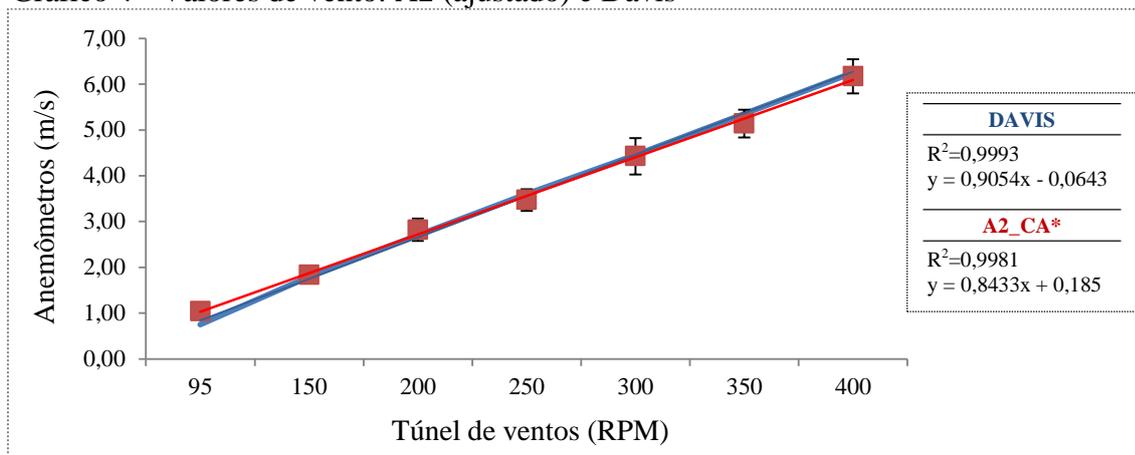


Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

*SA – Sem ajuste.

Para os efeitos de correção, foi adicionado 0,0011 no valor do raio, que foi empregado na sua fórmula de velocidade de forma que o coeficiente de angulação ficou 0,8433.

Gráfico 4 - Valores de vento: A2 (ajustado) e Davis

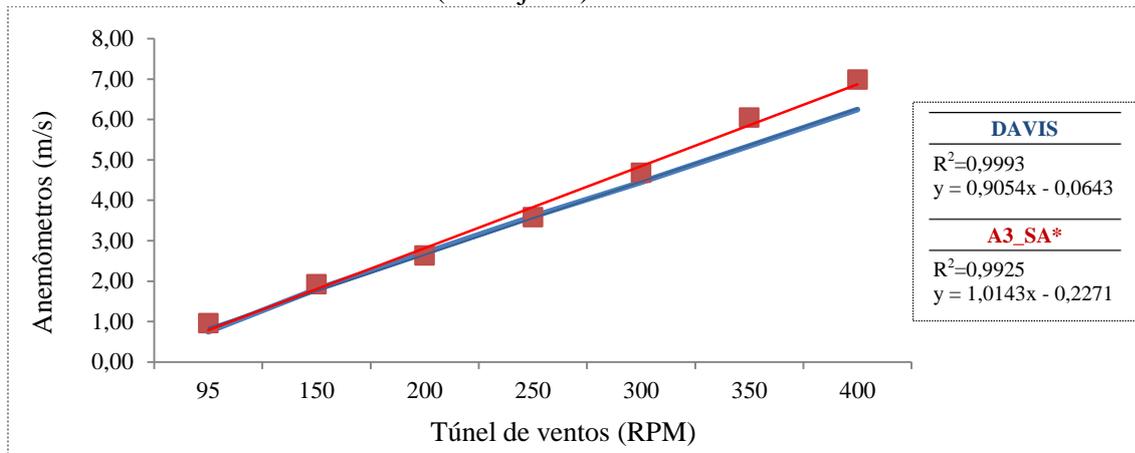


Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007

*CA – Com ajuste.

Diferente dos demais, o anemômetro 3 apresentou valores acima aos registrados pelo anemômetro Davis (Gráfico 5), com coeficiente angular de 1,0143.

Gráfico 5 - Valores de vento: A3 (sem ajuste) e Davis

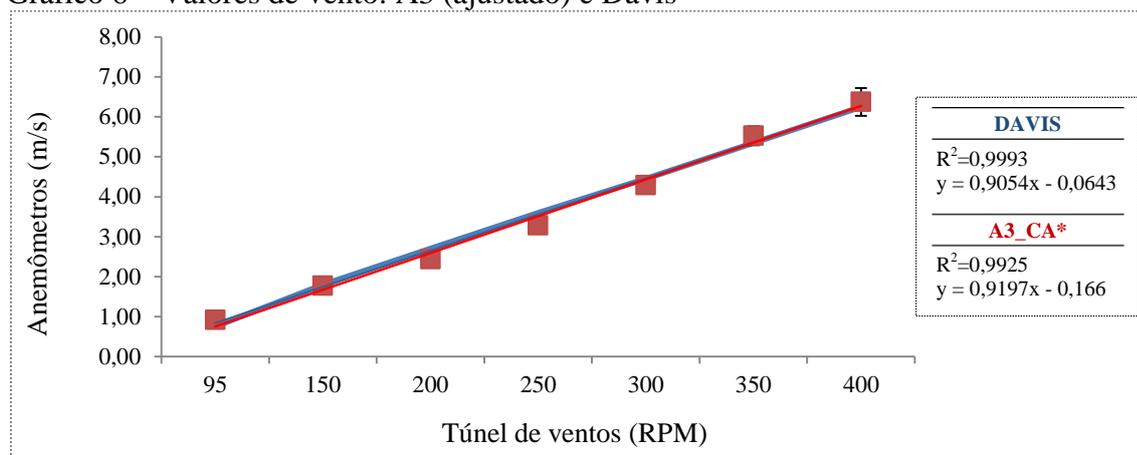


Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

*SA – Sem ajuste.

Para ajustar o valor de A3, foi retirado um valor de 0,0023 de seu raio. Segue no gráfico 6, o comportamento desse, em relação ao anemômetro da Davis.

Gráfico 6 – Valores de vento: A3 (ajustado) e Davis



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

*CA – Com ajuste.

Após o ensaio realizado no túnel de ventos e as correções que foram aplicadas, foi avaliada a questão de igualdade entre as médias dos anemômetros, por meio de um teste estatístico. Antes desse procedimento, foi realizada uma análise na distribuição dos 40 valores obtidos em cada intervalo de velocidade, através do teste estatístico de Shapiro-Wilk. Teste que é aplicado quando se tem números de amostras inferiores a 50 (Field, 2009).

Por meio do teste Shapiro-Wilk, foi constatado que alguns valores (dos intervalos de velocidade correspondente aos anemômetros) apresentaram distribuição não normal (nível de significância menor 0,05), sendo necessária a escolha de um teste não paramétrico, para avaliar a igualdade de suas médias.

Tabela 10 – Resultado do teste Shapiro-Wilk

	INTERVALOS DE VELOCIDADE						
	0-1 m/s	1-2 m/s	2-3 m/s	3-4 m/s	4-5 m/s	6-7 m/s	7-8 m/s
Davis	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1	0,137	0,003	0,000	0,028	0,446	0,000	0,971
A2	0,604	0,017	0,115	0,398	0,371	0,277	0,009
A3	0,318	0,506	0,028	0,446	0,697	0,009	0,190

Fonte: Adaptado dos resultados obtidos no *software* IBM SPSS 20.

Dessa forma, o teste estatístico utilizado para avaliar se há igualdade entre os valores obtidos pelos anemômetros em relação ao da Davis, é o teste de Mann-Whitney ou

também denominado de teste U, o qual é equivalente ao teste paramétrico t de *Student* (Field, 2005).

A avaliação estatística foi aplicada separadamente sobre as médias de cada intervalo de velocidade, registrado pelos anemômetros dos protótipos em relação ao da Davis. O teste foi realizado com um intervalo de confiança de 95%, o resultado está presente na tabela abaixo.

Tabela 11 – Resultado do teste estatístico Mann-Whitney

COMPARAÇÕES	RESULTADO DO TESTE
Davis e anemômetro 1	0,949
Davis e anemômetro 2	0,749
Davis e anemômetro 3	0,949

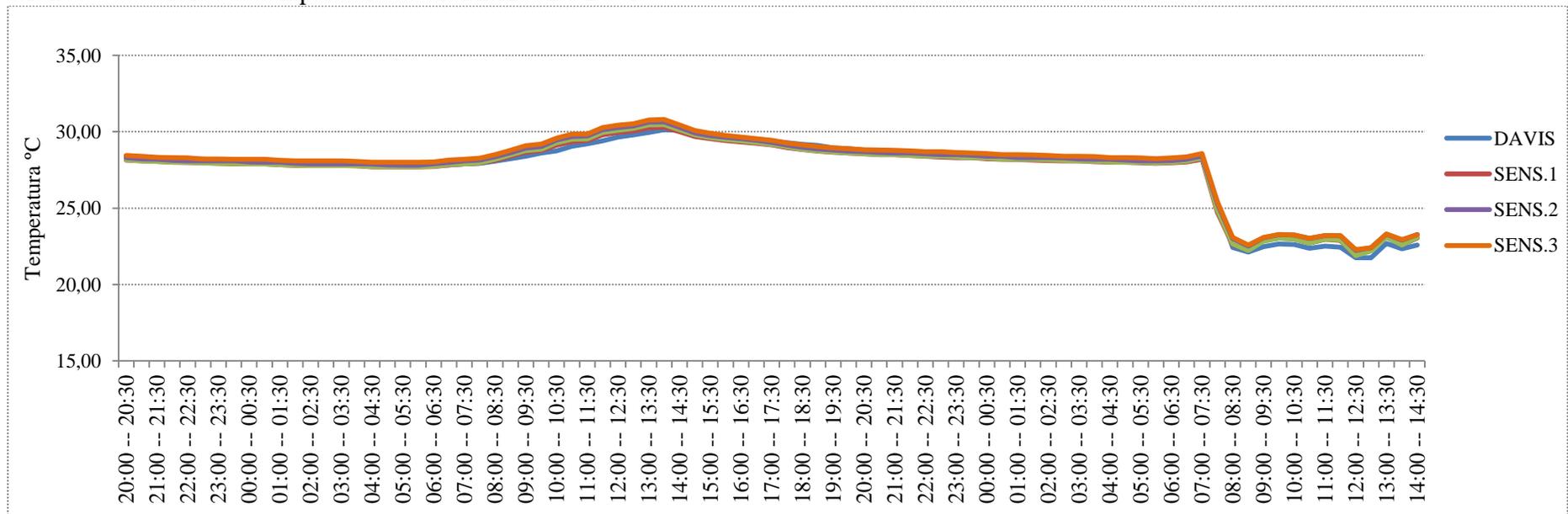
Fonte: Adaptado dos resultados obtidos no *software* IBM SPSS 20.

Os valores presentes na tabela 11 referem-se a significância assintótica, ou seja, caso esses valores deem acima de 5% (0,05), significam que não há diferença significativa entre as médias dos pares, ou seja, são considerados iguais. E como podemos perceber, o teste dos três anemômetros em comparação ao Davis, apresentou valores acima de 0,05, isto é, podemos estatisticamente comprovar, que há igualdade entre os valores registrados.

4.1.2. Sensor AM2302

No gráfico 7, temos os valores de temperatura registrados pelos sensores, ao longo das 42 horas de amostragem. É perceptível que as variações de temperatura dos três sensores (AM2302) em relação aos da Davis, são pequenas, estando em média com 0,3 °C de diferença.

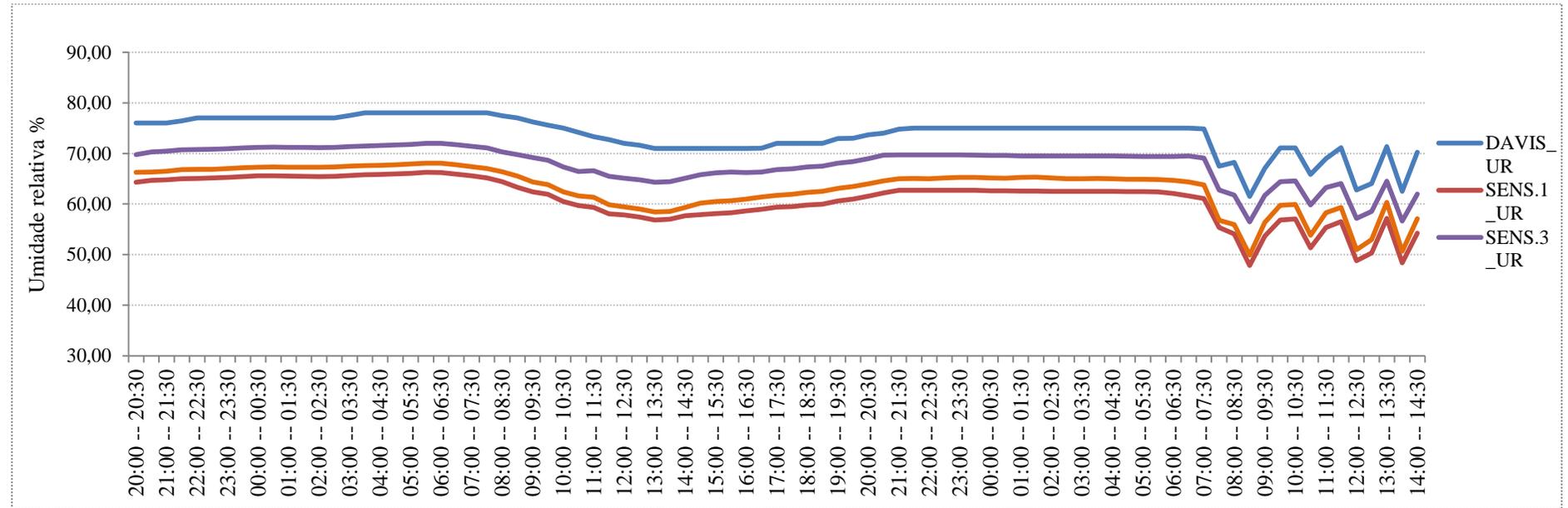
Gráfico 7 – Valores de temperatura do ar: AM2302 e Davis.



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

No gráfico 8 é evidente que os valores de U.R. dos sensores AM2302, apresentaram divergências em relação aos valores da Davis. Entretanto, percebe-se que as retas apresentam o mesmo comportamento, ou seja, quando o valor de U.R. de um sensor sobe os de outros sensores também detectam a mesma variação.

Gráfico 8 – Valores de umidade relativa do ar: AM2302 e Davis.



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

Diante a isso foi calculado um fator de correção, tomando como base o valor de umidade da estação calibrada. Segue abaixo a fórmula utilizada para encontrar o fator de correção, assim como o gráfico com os valores ajustados.

$$FC = V.M. / V.R.$$

(4)

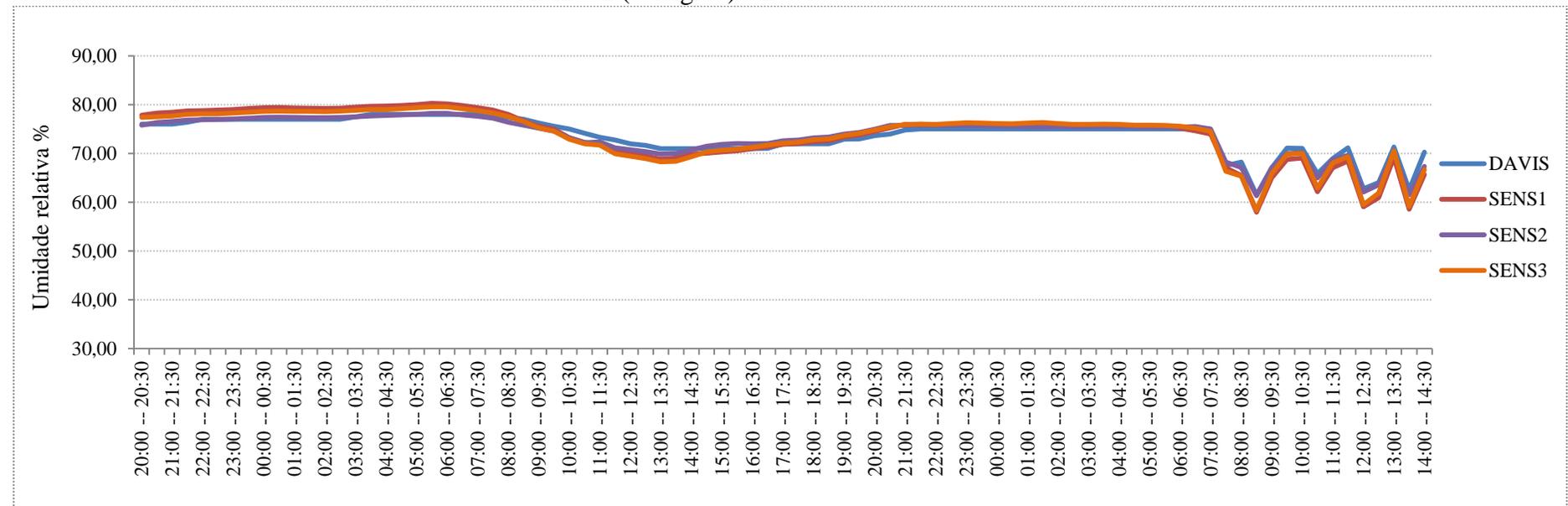
Onde:

FC = Fator de correção;

V.M. = Valor Medido (sensor AM2302);

V.R. = Valor de Referência (sensor da estação Davis).

Gráfico 9 – Valores de umidade relativa do ar: AM2302 (corrigido) e Davis



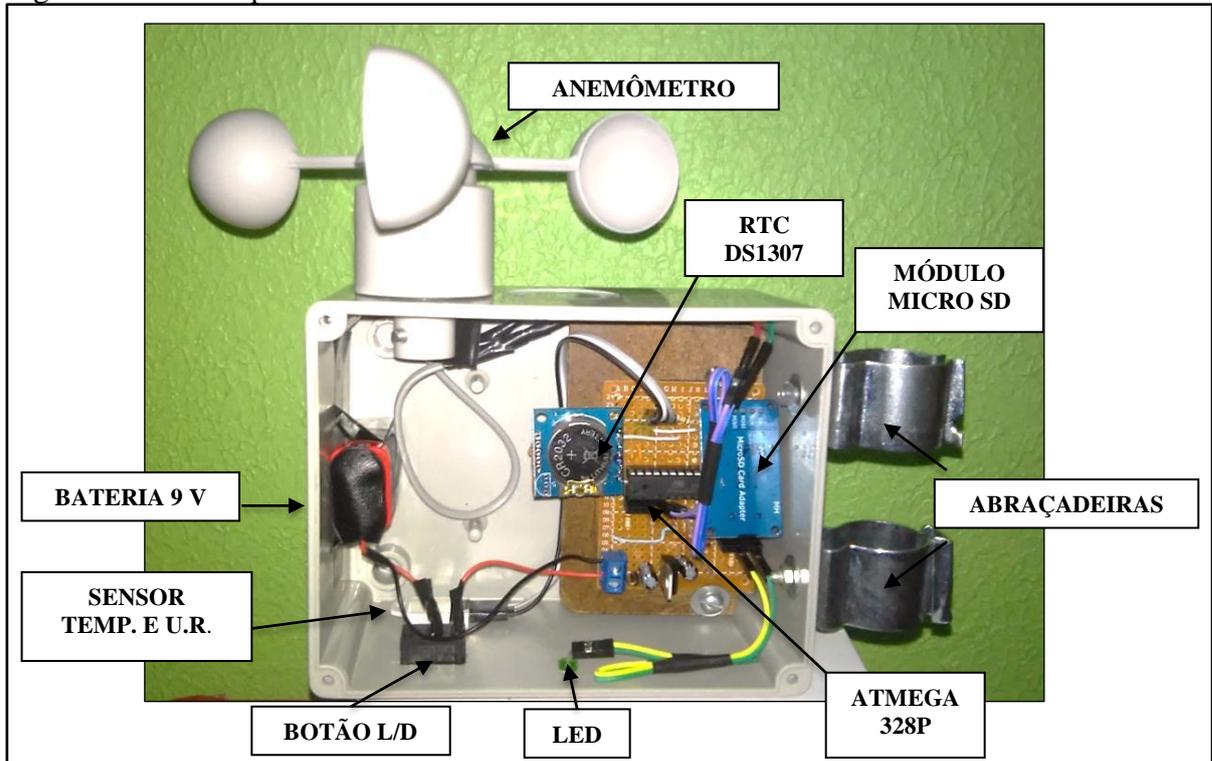
Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

4.2. Montagem do protótipo

Após a obtenção dos componentes eletrônicos, do desenvolvimento da programação e do procedimento de calibração, foi executada a etapa de montagem do protótipo.

Os componentes eletrônicos foram soldados na placa de fenolite e acoplados dentro da caixa elétrica da marca Steck (Figura 21). Na lateral externa foram colocadas abraçadeiras para fixação nos locais de amostragem e abaixo da caixa foi adicionada uma chave gangorra, para ligar e desligar o protótipo. Segue abaixo uma visão geral desse instrumento.

Figura 21 – Protótipo



Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar, que até chegar ao resultado demonstrado na figura acima, foram elaborados versões anteriores, que serviram de base para amadurecer a ideia do protótipo (Apêndice C).

O protótipo apresentou um custo médio de R\$ 170 reais. Na tabela 12, estão presentes os preços individuais de cada componente utilizado na elaboração de um protótipo.

Tabela 12 – Orçamento dos itens utilizados para construção de um protótipo

COMPONENTES	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)
Abraçadeira 1/4	2	0,50
Anemômetro	1	45,00
Barra de 40 pinos fêmea	1	1,50
Caixa de passagem elétrica	1	20,00
Capacitores cerâmicos de 22 pF	2	0,10
Capacitores eletrolíticos de 10 uF	2	0,70
Cartão de memória micro SD	1	20,00
Chave Gangorra	1	1,30
Conector KRE – 2 vias	1	0,90
Cristal 16 MHz	1	1,20
Diodo 1N4007	1	0,10
LED	1	0,20
MCU Atmega328p	1	12,00
Módulo AM2302 (ou DHT22)	1	38,90
Módulo cartão micro SD	1	13,90
Módulo RTC DS1307	1	14,90
Placa fenolite de cobre perfurada	1	3,90
Regulador de tensão L7805	1	1,80
Resistor	5	0,10

Fonte: Próprio autor.

O protótipo apresenta uma configuração simples, o que colabora para a sua replicação, pois os dispositivos utilizados em sua construção são fáceis de serem adquiridos. Diferente dos demais, os anemômetros tiveram de ser comprados em *sites* de lojas no exterior. Quanto à programação, a linguagem utilizada apresenta uma estrutura agradável para compreender, sendo indicado para iniciantes em relação a outras linguagens de programação.

Quanto aos sensores que registram valores de temperatura e umidade relativa do ar, se faz necessária uma verificação periódica, para assegurar que esses dados permaneçam confiáveis em novas aplicações. O mesmo vale para os anemômetros, já que esse tipo de equipamento apresenta incertezas em suas medições; como afirmam Alé, Simoni e Hack (2008).

4.3. Aplicação dos protótipos

Após a etapa de montagem e replicação do protótipo, foram realizadas aplicações piloto em três locais da cidade de Fortaleza (Ceará), de modo a se obter uma resposta dos protótipos nesses ambientes. O teste foi realizado em tempo real nos bairros: Meireles, Guajeru e Mondubim, em um período de 24 horas, nos dias 25 e 26 de janeiro de 2017. Vale ressaltar que nesses dias não houve incidência de chuvas.

Nas amostragens, os protótipos foram afixados em diferentes estruturas e ficaram à uma distância média de três metros do solo.

No bairro Meireles (P1) o protótipo foi instalado no estacionamento do LABOMAR- UFC, em um mastro de bandeira (Figura 22-A). No Bairro Guajeru (P2), o protótipo foi afixado em um poste de energia localizado dentro de um condomínio de casas, conforme figura 22-B, e no bairro Mondubim, o protótipo foi instalado em um quintal de uma residência (Figura 22-C).

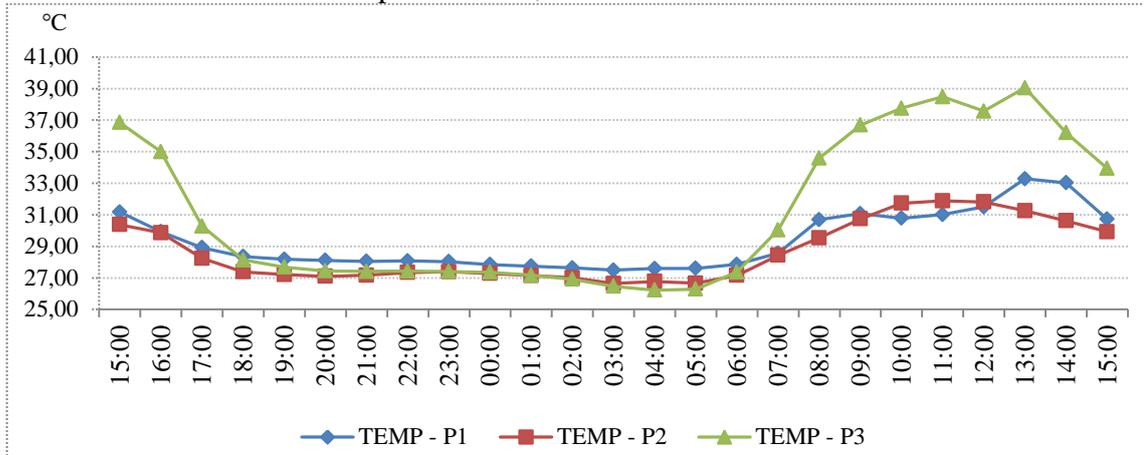
Figura 22 – Locais de amostragens: a) Ponto 1 – Meireles; b) Ponto 2 – Guajeru; c) Ponto 3 – Mondubim



Fonte: Próprio autor.

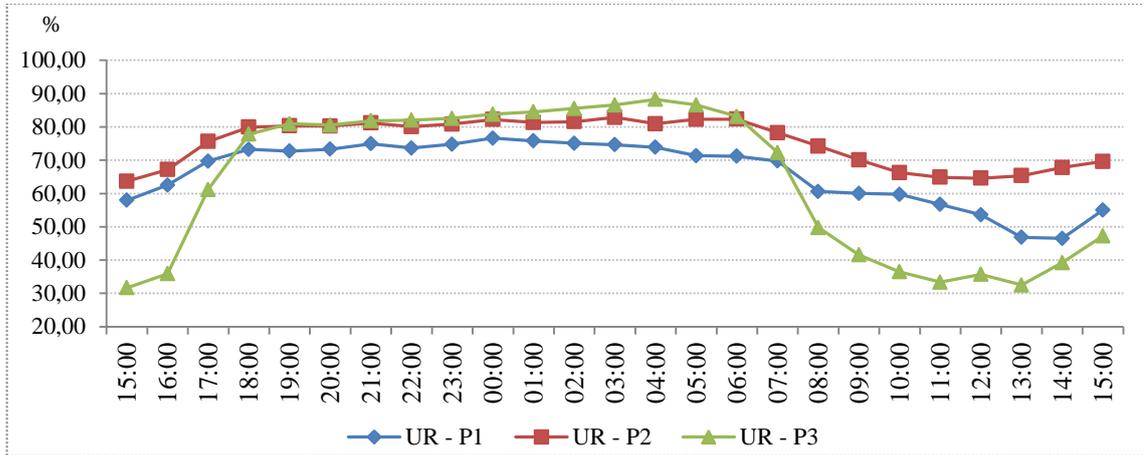
Durante o período de amostragem, as grandezas mensuradas apresentaram uma dinâmica semelhante, porém com intensidades diferentes, decorrente das particularidades de cada local. Segue abaixo os gráficos, com os valores de temperatura (gráfico 10), umidade relativa (gráfico 11) e velocidade dos ventos (gráfico 12).

Gráfico 10 – Gráficos de temperatura: P1, P2 e P3



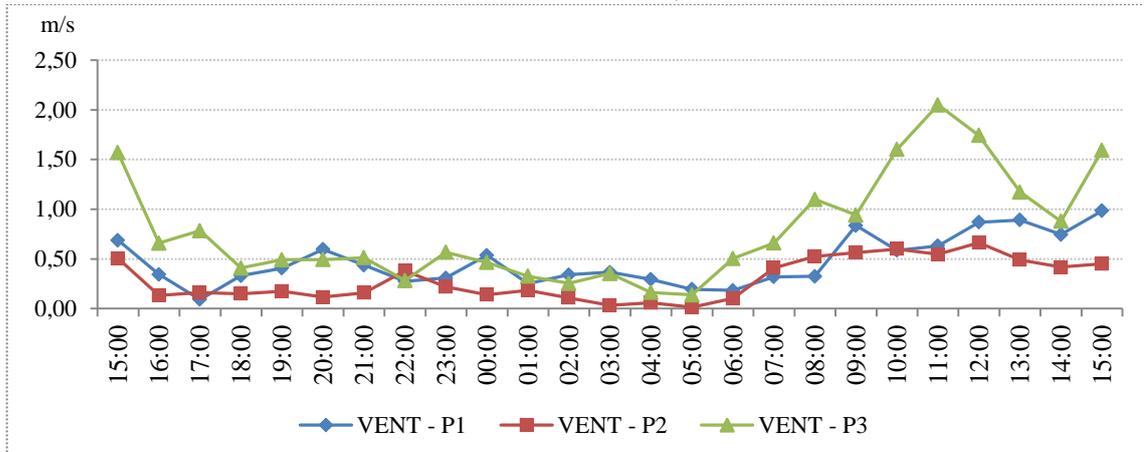
Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no software Excel 2007.

Gráfico 11 – Gráficos de umidade relativa do ar: P1, P2 e P3.



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no software Excel 2007.

Gráfico 12 – Gráficos de velocidade dos ventos: P1, P2 e P3



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no software Excel 2007.

4.3.1. Semelhanças na dinâmica climática dos pontos de amostragem

Nos três pontos amostrados, é perceptível que as maiores temperaturas são aquelas registradas entre o final da manhã (11:00h), estendendo-se até o período da tarde (até as 15:00h). Esse comportamento está diretamente relacionado à ação do Sol, que atinge seu ápice ao meio-dia, mas que continua a aquecer a atmosfera e a superfície terrestre mesmo no período de sua inclinação.

A umidade relativa do ar nos três pontos comporta-se de maneira inversa ao ciclo da temperatura. Pois como a umidade relativa indica indiretamente a quantidade de vapor de água na atmosfera, quando ocorre um aumento da temperatura essa capacidade de retenção aumenta, decorrente da expansão do ar. Em contrapartida os valores de umidade relativa caem. No período noturno, já ocorre uma diminuição do valor de temperatura do ar (resfriamento), onde a retenção de vapor d'água na atmosfera cai e dessa forma a umidade tende a subir.

Para os três pontos, os valores de ventos no período diurno, foram maiores que os registrados no período noturno. Isso se deve ao aquecimento irregular pelo Sol sobre esses locais de amostragem e áreas circunvizinhas, que gera um gradiente de pressão deixando a atmosfera mais instável. De modo que o vento se desloca das áreas de maior pressão (mais frias), para as áreas mais quentes (menor pressão).

4.3.2. Diferenças na dinâmica climática dos pontos de amostragem

Em relação às divergências e particularidades da temperatura, umidade relativa do ar e ventos em cada local de amostragem, temos a seguinte situação:

O bairro Meireles (P1) apresentou valores de temperatura maiores que P2 (Bairro Guajeru) durante manhã e tarde, porém menores que P3 (Bairro Mondubim) no mesmo período. Nesse local durante o período noturno níveis de temperatura se mantiveram maiores que os outros dois pontos, fato esse, que pode estar relacionado com a intensa urbanização desse ponto, gerando uma perda lenta da radiação absorvida nesse período. Durante todo o período de amostragem, os valores de umidade nesse ponto, não foram muito altos quanto em P2. Os registros de vento nesse local não passaram de 1m/s, o que pode estar relacionado a verticalização dos empreendimentos no local.

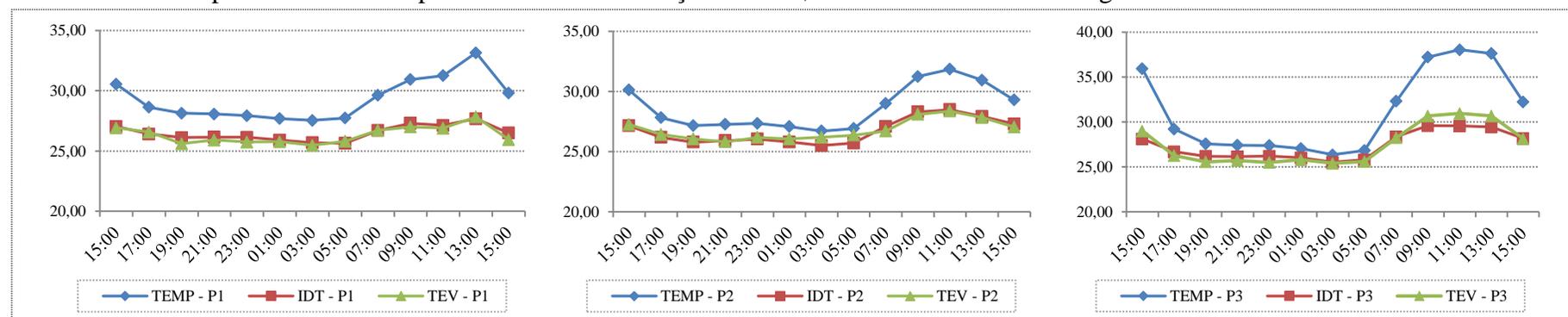
O bairro Guajeru foi o local que registrou os menores valores de temperatura em relação aos outros, apresentando valor máximo de 31,88 °C. Fato que pode estar diretamente relacionado, devido a presença constante de vegetação, que utiliza a radiação proveniente do sol em seus processos metabólicos, diminuindo assim a quantidade de energia disponível na atmosfera local. E que também oferece um sombreamento, diminuindo a incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre. Nesse ambiente também foi registrado os maiores valores de umidade no período da manhã (máx. 84%), e a incidência de ventos não foi tão forte (valores < 1m/s).

O bairro Mondubim, foi o local que apresentou maior amplitude térmica no período de amostragem, o que pode estar relacionado ao fato de ser uma área com pouco sombreamento em relação aos outros dois pontos. Onde nos períodos de maior insolação ocorre uma absorção intensa da radiação pelas casas e pelo solo (não asfaltado). À noite, por não haver nenhum fator que retenha esse calor como em P1 (decorrente do espaço construído, asfalto e concreto) e em P2 (vegetação que retém certa quantidade de calor), as perdas de calor são mais intensas, o que influencia diretamente nos altos níveis de umidade relativa durante o período noturno. A incidência de ventos foi maior do que nos outros pontos, podendo estar ligado ao fato de ser uma área com poucos “obstáculos” à passagem e circulação dos ventos.

4.4. Aplicação dos índices

Utilizando o Índice de Desconforto de Thom e o Índice de Temperatura Efetiva com o Vento – TEv, observamos que nos três bairros os níveis de sensação térmica (termos quantitativos), são menores do que os valores reais de temperatura (gráfico e tabela 13).

Gráfico 13 – Comportamento da temperatura real e de sensação térmica, nos três locais de amostragem



Fonte: Próprio autor - gráfico gerado no *software* Excel 2007.

Tabela 13 – Valores de temperatura real e de sensação térmica, nos três locais de amostragem

	PONTO 1 - Meireles			PONTO 2 – Guajeru			PONTO 3 – Mondubim		
	Real	IDT	TEv	Real	IDT	TEv	Real	IDT	TEv
Mín.	27,50°	25,54°	25,37°	26,65°	25,48°	25,55°	26,23°	26,42°	25,17°
Máx.	33,28°	27,79°	27,92°	31,88°	28,53°	28,46°	39,05°	29,93°	31,55°
Média	29,33°	26,50°	26,35°	28,67°	27,16°	27,21°	31,19°	28,01°	28,54°

Fonte: Próprio autor.

Comparando os dados de sensação térmica obtidos nos três pontos, por meio dos índices: TEv e IDT, percebemos uma diferença muito pequena entre seus valores. Essa situação pode estar relacionada aos baixos registros de ventos em P1 e P2 (inferiores a 1 m/s). Em P3, mesmo tendo registrado a ocorrência de mais ventos (entre 0,20 a 2 m/s), apresentou em determinados horários, níveis de temperatura mais altos, o que pode ter interferido nos valores do TEv. Com relação à esse índice, Gobo e Galvani (2012) declaram que ele pode não expressar corretamente os valores de sensação térmica em locais os quais apresentem níveis elevados de calor.

Para o IDT, utilizando a classificação proposta por Giles *et al.* (1990), a qual é apresentada na tabela 7, temos as seguintes situações:

- a) P1 - No período noturno, os valores de sensação térmica, oscilaram entre 25,64 °C e 26,42 °C, que segundo a classificação adotada, expressa um nível de desconforto para mais de 50% da população ($24 \leq \text{IDT} < 27$). Embora no período diurno haja variações, se comparadas ao noturno, seus valores de sensação térmica também representam um nível de desconforto sentido pela maioria da população, sendo levemente acentuado a partir das primeiras horas do dia e se intensificando no início da tarde (chegando a atingir 27,79 °C);
- b) P2 - Temos uma condição de desconforto, semelhante ao ponto 1, para o período do dia e da noite;
- c) P3 - O período noturno correspondente à esse ponto recebe a mesma classificação que é adotada nos períodos da noite dos outros dois locais. Enquanto no período diurno, o desconforto é considerado forte ($29 \leq \text{IDT} < 32$), principalmente entre 09:00 e 15:00 horas, o que pode ser um risco à saúde e ao bem estar da população inserida nessas localidades.

Considerando os efeitos relacionados à ventos, do índice TEv, e a classificação de Fanger (1970) a qual determina níveis para esse índice (Tabela 8), observa-se as seguintes situações em cada ponto:

- a) P1 - É classificado como um ambiente ligeiramente quente ($25 \leq \text{TEv} < 28$), seja durante o dia ou noite;
- b) P2 - Sua classificação é a mesma de P1, porém entre 09:00 e 13:00 horas há uma variação que muda a classificação para quente moderado ($28 \leq \text{TEv} < 31$);

- c) P3 - Os valores desse ponto, no período da noite se enquadram na classificação como ligeiramente quentes ($25 \leq TEv < 28$). No período da manhã é quente e moderado ($28 \leq TEv < 31$) tendo seu ápice no período de 09:00 as 13:00 horas.

Os dados gerados nesse trabalho, considerando o Índice de Desconforto de Thom, apresentaram certo nível de concordância em relação a outros estudos desenvolvidos com essa temática. Justificando tal informação, temos o trabalho elaborado por Santos *et al.* (2011), onde realizam a aplicação do índice em oito pontos do campus da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de João Pessoa (PB) e o estudo de Santos, Amorim e Dereczynski (2016) que projetam uma pequena estação meteorológica para avaliar o fenômeno de ilhas de calor em dois locais (cidade e meio rural) do bairro de Campo Grande (RJ).

Os dados de temperatura e do IDT obtidos nesses estudos, foram comparados com os valores da presente pesquisa. De forma a fazer uma correlação, essas áreas foram classificadas em duas: local com maior urbanização, sendo comparadas ao bairro Meireles e áreas com predominância de paisagens naturais e/ou com pouca urbanização, sendo comparadas ao bairro Guajeru, onde os pontos escolhidos de cada trabalho foram aqueles com características similares aos do presente estudo. No trabalho de Santos *et al.* (2011), os locais selecionados foram: o biotério (maior presença de vegetação) e o Centro de tecnologia (ambiente mais edificado) e no trabalho de Santos, Amorim e Dereczynski (2016), foram escolhidos as localidades do Rio da Prata (sem urbanização) e Arnaldo Eugênio (urbanizado).

De acordo com a tabela 14, podemos observar que o uso do IDT fez com que os valores de temperatura real em cada localidade fossem reduzidos, isso ocorre por considerar os efeitos de umidade relativa do ar em conjunto com os valores de temperatura.

Tabela 14 – Comparação entre os estudos que utilizam o IDT

LOCAL	REGIÃO/ÁREA	TEMP. REAL (°C)	IDT (°C)	FONTES
Fortaleza (CE)	Bairro Guajeru*	28,53°	27,16°	Presente estudo
	Bairro Meireles**	29,50°	26,50°	
João Pessoa (PB)	Biotério*	28,00°	26,50°	Santos <i>et al.</i> (2011)
	Centro de tecnologia**	29,00°	27,00°	
Campo Grande (RJ)	Rio Prata*	37,00°	35,50°	Santos, Amorim e Dereczynski (2016)
	Arnaldo Eugênio**	22,40°	22,80°	

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011) e Santos, Amorim e Dereczynski (2016).

* Área pouco urbanizada e com presença de vegetação

** Área com maior urbanização

Para o índice TE_v, não foi possível comparar os resultados de outros estudos com o presente trabalho, assim como foi feito com o IDT, pois as amostragens utilizando o TE_v acontecem de maneira diversificada. De forma a exemplificar tal informação, podemos citar alguns estudos, como de Gobo e Galvani (2012), que utilizam o TE_v para a sensação térmica do estado do Rio Grande do Sul em uma série histórica de 30 anos (1981 à 2010) e o trabalho de Santos, Amorim e Cavalcante (2014), que utilizam vários índices, dentre eles o TE_v, para avaliar a sensação térmica em diferentes períodos (época de chuva e seca) para o município de Arapiraca em Alagoas.

5. CONCLUSÃO

Os resultados do projeto foram positivos para os seus objetivos, onde cada protótipo que foi elaborado apresentou boa funcionalidade na aquisição em tempo real dos dados atmosféricos (temperatura, umidade relativa do ar e ventos), de forma a se determinar a sensação térmica do ambiente amostrado, além das particularidades dessas grandezas nos locais de aplicação dos protótipos.

Com relação aos gastos monetários para a construção do protótipo, teve-se um custo muito baixo em comparação à um equipamento comercial, gerando uma economia em torno de R\$ 7.300 reais. Mediante a esse aspecto, o desenvolvimento de estudos ambientais pode ser facilitado.

O protótipo pode ser utilizado em outras aplicações envolvendo a climatologia em espaços urbanos, o que proporciona um conhecimento de suas potencialidades e limitações, em aplicações futuras. Melhorias no protótipo podem ser realizadas, como por exemplo, uma autonomia energética, de forma a facilitar o seu uso nessas aplicações.

Diante dos resultados da aplicação do protótipo, em locais distintos da cidade de Fortaleza, os dois índices utilizados na determinação da sensação térmica, apontaram níveis de desconforto em todos os pontos amostrados, apresentando uma maior intensidade no período diurno. É importante ressaltar a necessidade de outras abordagens que complementem tais resultados e que possam identificar outros fatores, os quais interfiram nas condições climáticas de cada local.

É fundamental evidenciarmos que os resultados desta pesquisa são indicativos e não conclusivos, portanto fazem-se necessários novos estudos e aplicações para que as

conclusões definitivas possam ser formadas acerca da sensação térmica na cidade de Fortaleza. Com os resultados obtidos, pretende-se contribuir como fonte de dados a respeito dessa temática, uma vez que fatores naturais e antrópicos influenciam em sua determinação.

Apesar das pesquisas acerca da sensação térmica, terem se desenvolvido à décadas em vários países, ainda há poucos estudos no Brasil, principalmente com a utilização de índices, para determinação da sensação térmica. Os poucos estudos que existem, devido às disparidades de cada região do país, acabam dificultando abordagens comparativas.

De modo geral, faz-se necessário desenvolver estratégias de planejamento para a cidade de Fortaleza, de modo que os níveis de desconforto não sejam acentuados com o passar dos anos e venham a interferir ainda mais no bem estar dos indivíduos, assim como na qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **ANTAC**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.
- ALÉ, J. A. V.; SIMIONI, G. S.; HACK, P. S. Importância da calibração de anemômetros nos empreendimentos eólicos *In*: Congresso Internacional de Metrologia Mecânica - CIMMEC, 1, 2008, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.
- ALVIM, G. P. **Projeto e construção de uma estação meteorológica aplicada a uma embarcação teleoperada**. 2016. 129 f. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) – Faculdade de engenharia, Universidade do estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- AOSONG. Temperature and humidity module. **AM2302 product manual**, Aosong Electronics, Guangzhou. China. 10 p. 2013. Datasheet. Disponível em: <<http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 9, p. 20-25, 2007.
- ATMEL. **Atmel 8-bit microcontroller with 4/8/16/32 Kbytes in-sytem programmable flash**. Estados Unidos. 651 p. 2015. Datasheet. Disponível em: <http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet_complete.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.
- BANZI, Massimo. **Getting Started with Arduino**. 2. ed. USA: O'Reilly Media, 2011, 128 p.
- BARAÚNA DOS SANTOS, J.; AMORIM, R. F. C. ; CAVALCANTE, L. P. A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca - Alagoas, utilizando Software MATLAB. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, PE. Edição especial, v.7, n. 5, p. 939–948, 2014.
- BELDING, H.; HATCH, T. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. **Heating, Piping, Air Conditioning**, v.27, n. 8, p. 129-42, 1955.
- BORGES, G. A. *et al.* **Desenvolvimento com microcontroladores Atmel AVR**. Brasília , DF. 38 p. 2008. Disponível em: <<https://lara.unb.br/~gaborges/recursos/notas/nt.avr.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- BRAGA, N. C. **Como funciona o Reed-Switches (MEC089)**. 2014. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/3860-mec089>>. Acesso em: 28 dez. 2016.
- DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 278 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

FANGER, P. O. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*, **Copenhagen**: Danish Technical Press, 1970.

FIELD, A. P. *Descobrimos a estatística usando o SPSS*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 688p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. **Glossário Técnico**. Fortaleza. Ceará. 2014. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/component/glossary/Gloss%C3%A1rio-3/page,13/?Itemid=0>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

GILES, B. D.; Balafoutis, C. H. The Greek heatwaves of 1987 and 1988. **International Journal of Climatology**, v.10, p.505–517, 1990.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. New York: J. Wiley & Sons, 1969.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E. Aplicação do Índice de Temperatura Efetiva com Vento (TEv) nos estudos de conforto térmico para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista GeoNorte**, v. 3, n. 8, p. 403-413, 2012.

HONJO, T. Thermal comfort in outdoor environment. **Global environmental research**. Japão: AIRIES, v. 13, p 43-47, 2009.

HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P. Determining lines of equal comfort. **ASHVE Transaction**, v. 29, n. 4, p.163-176, 1923.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Informações completas sobre Fortaleza**. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=ceara|fortaleza|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Perfil básico municipal de Fortaleza**. 2015. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2015/Fortaleza.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

JOHANSSON, E. *et al.* Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *In: ICUC8: The 8th International Conference on Urban Climate and the 10th Symposium on the Urban Environment*, 8., 10., 2014. Dublin, Ireland. **Urban Climate**, Dublin: Elsevier. v. 10, p. 346-366, 2014.

LITTLE, M. **Low-cost wind datalogger**. 2014. Disponível em: <<http://www.re-innovation.co.uk/web12/index.php/en/projects/wind-datalogger>>. Acesso em: 25 dez. 2016.

LOMBARDO, M. A. Análise das mudanças climáticas das metrópoles: o exemplo de São Paulo e Lisboa. *In: Silvia Ap. Ortigoza; Ana Tereza C. Cortez. (Org.). Da produção ao consumo: impactos socio-ambientais no espaço urbano*. 1. ed. Rio Claro: Unesp (Cultura Acadêmica), v. 1, p. 112-147, 2009.

MASTERTON, J. M.; RICHARDSON, F. A. Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *In: Environment Canada: CLI 1-79*. Ontario, Downsview: Atmospheric Environment Service, 1979.

MAXIM INTEGRATED. **DS1307**: 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock. Maxim Integrated Products. 14 p. 2015. Datasheet. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

MAYER, H.; HOPPE, P. **Thermal comfort of man in different urban environments**. *In: Theoretical and Applied Climatology*. [Munique]: Springer-Verlag, p. 43-49, 1987.

MENON, M. G. K. **O papel da ciência no desenvolvimento sustentável**. *Estud. av.* v.6, n.15, p. 123-127, 1992.

MIRANDA, R. A.C.; PEREIRA, F. R. Desenvolvimento de plataforma para monitoramento “automatizado” de dados termo-pluviométricos. **Geosul**, Florianópolis, v. 26, n. 52, p 129-144, 2011.

MISSENARD, A. Equivalences thermiques des ambiances; equivalences de passage; equivalences de séjour. **Chaleurs et Industrie**, Juillet-Août, 1948.

MOURA, M. O. ; SALES, M. C. L. ; ZANELLA, M. E. . Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, v.28, n. 2, p. 33-44, 2008.

MONK, S. **Programação Arduino: começando com sketches**. Porto Alegre: Bookman, 160 p, 2013.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.7, n. 3, p. 43-58, 2007.

NIKOLOPOULOU, M. Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach. **Centre for Renewable Energy Sources – CRES**. Department of Buildings: Greece. 2004. Disponível em: <http://www.cres.gr/kape/education/1.design_guidelines_en.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.

OLIVEIRA *et al.* Conforto térmico em praças na cidade de Natal/RN: Um diagnóstico psicofísico usando modelos de ITU E CHILL. **Revista Interface**, [S.l.]: Porto Nacional, v. 3, n.3, p. 77-88, 2006. Disponível em: <<https://sistemas2.uft.edu.br:8004/index.php/interface/article/view/347>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

PALMIERI, A. M. *et al.* Sistema automatizado para coleta de dados de umidade relativa e temperatura do ar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p.636-648, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000400004>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

REBOUÇAS FILHO, P. P. **Microcontroladores PIC: linguagem C utilizando CCS para leigos**. Maracanaú: [s.n.], 209 p, 2013.

REPELLI, C.A. *et al.* Sensação Térmica para Fortaleza - CE. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*. 1998, Brasília-DF. **Anais...** Brasília, 1998.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 440 p, 2014.

ROCHA, C. A. **Pressão sonora, sensação térmica, poluição do ar e seus riscos associados como indicadores da qualidade ambiental em áreas usadas para esporte e lazer – Fortaleza, CE**. 2014. 76 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciências do Mar (Labomar) , Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2014.

SAMPAIO, C. A. de P.; ULLMAN, M. N.; CAMARGO, M. Desenvolvimento e avaliação de anemômetro de copos de fácil construção e operação. **Rev. Ciênc. Agron.**, Lages, v.4, n.1, p. 11-16, out. 2005.

SANCHEZ TORRECILLA, J. R. **Sistema de monitorición y telegestión remota basado en Arduino para Smart Buildings**. 2014. 55 p. Monografia (Grado en Ing. Sist . de Telecom. , Sonido e Imagen). Universidad Politecnica de Valencia, Gandia, 2014. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10251/47319> >. Acesso em: 15 dez. 2016.

SANTOS, A. A. M.; AMORIM, H. S.; DERECHYNSKI, C. P. Investigação do fenômeno ilha de calor urbana através da utilização da placa Arduino e de um sítio oficial de meteorologia. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, v. 39, n.1, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0143> >. Acessado em: 25 jan. 2017.

SANTOS, J. S. *et al.* Análise das condições do conforto térmico em ambiente urbano: Estudo de caso em campus universitário. **Revista Brasileira de Geografia Física: Paraíba** v. 4, n. 2, p. 336 – 353, 2011.

SILVA, C. F. e. **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina – PI**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SILVA, Í. S. L; KASCHNY, J. R. A. **Aplicações de dispositivos I2C em sistemas microcontrolados**. 2012. Disponível em: <<http://physika.info/physika/documents/Itallo2012.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

SILVA, F. T.; SCARIONE, P.; ALVAREZ, C. E. A influência da rugosidade e porosidade da tipologia urbana na ventilação em área litorânea e a percepção de conforto do transeunte. *In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: UFES, p. 731-736, 2012.

SOUSA, F. W. **Estimativa da exposição e risco de câncer a compostos**

carbonílicos e btex em postos de gasolina na cidade de Fortaleza-CE. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil-Saneamento Ambiental) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SOUSA FILHO, M. R. P.; SALES, M. C. L. Estudo do comportamento dos ventos na cidade de Fortaleza nos últimos trinta e cinco anos: 1974 - 2009 (resultados preliminares). *In: XVI Encontro Nacional de Geógrafos*, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. **Int. J. Biometeorol.**, v. 36, p. 63-8, 1992.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Washington, v.12, n. 2, p.57–60, 1959.

TRENTIN, M. P. **Data-logger SD/MMC com Arduino.** 2011. Disponível em: <<http://www.paulotrentin.com.br/electronica/data-logger-sdmmc-com-arduino/>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

UM10204. **I2C-bus specification and user manual.** 64 p. 2014. Datasheet. Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Guia de normalização de trabalho acadêmicos da Universidade Federal Ceará.** Ceará: Biblioteca Universitária, 173 p. 2013.

VERNON, H. M.; WARNER, C. G. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. **J. Hyg.**, v. 32, p. 431–462, 1932.

GLOSSÁRIO

- **Arduino:** é uma tecnologia desenvolvida no *Ivrea Interaction Design Institute*, na Itália, onde um de seus fundadores é o Massimo Banzi. Quando se fala de Arduino deve considerar que envolve três aspectos: plataformas de prototipagem; linguagem de programação; e um software de compilação.
- **Arquitetura RISC:** (*Reduction Instruction Set Computer*) é uma arquitetura utilizada em dispositivos eletrônicos (ex.: microcontroladores), que apresenta como característica a “rapidez” no processamento das informações.
- **Barramento:** refere-se às vias de transmissão de dados e informações nos sistemas computacionais e dispositivos eletrônicos.
- **Bit:** é a contração de “*binary digit*” (dígito binário), esse sistema representa dois estados em circuitos eletrônicos: ligado (1) ou desligado (0). A combinação desses números pode ser usada para representar quantidade de transmissão de dados, armazenamento de dispositivos, pacotes de informações, entre outras “condições” no meio eletrônico e digital.
- **Capacitância:** característica de armazenar cargas elétricas.
- **Capacitor:** componente eletrônico, que tem como característica armazenamento de carga elétrica na forma de campo eletrostático, o qual se mantém por determinado período. Nos circuitos eletrônicos podem desempenhar diversas funções, dentre elas podem servir como filtro na passagem de corrente elétrica, evitando que variações danifiquem os circuitos.
- **Compilador:** é o programa que converte o código escrito em determinada linguagem de programação, para a linguagem que sistemas computacionais reconhecem.
- **Conversor analógico-digital:** é um periférico presente nos microcontroladores, onde é realizada conversão do valor de tensão em valores digitais, nos MCU há pinos específicos onde realizam a conversão.
- **Corrente elétrica:** deslocamento de cargas elétricas dentro de algum condutor, devido a diferença de potencial existente no circuito.
- **Diodo:** dispositivo semicondutor de dois terminais, que deixa a corrente elétrica “fluir” em um só sentido.
- **Farad:** é unidade de capacitância, representada pela letra “F”.

- **Função:** em programação, esse termo pode ser entendido como uma instrução ou comando que executa determinada ação. Também pode ser utilizado para se referir a um bloco de comandos ou instruções criados por programadores, que executa um conjunto de ações.
- **Hertz:** é a unidade de medida, utilizada para representar a quantidade de ocorrência de algum evento, representado pelas letras “Hz”.
- **Integrated Development Environment (IDE):** traduzindo significa Ambiente de Desenvolvimento Integrado, e refere-se a um *software* que detém ferramentas, editores e compiladores empregados no desenvolvimento de aplicativos e códigos de programação, ou seja, é na IDE que o código de programação é construído, portanto não confundir com o termo linguagem de programação.
- **Java:** é uma linguagem de programação e uma plataforma computacional, utilizada para a construção de programas, páginas na internet e ambiente de alguns softwares.
- **LED:** (*Light Emitting Diode*) é um diodo emissor de luz, presente em circuitos eletrônicos, servindo para indicar o funcionamento de circuitos, sinais de alerta, transmissão de dados, entre outros propósitos.
- **Linguagem de programação:** é um conjunto de instruções e comandos, que são utilizados no desenvolvimento de um programa.
- **Memória Flash:** é um tipo de memória não volátil, é um marco no desenvolvimento para dispositivos compactos (Ex.: cartões de memória).
- **Memória EEPROM:** (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) é um tipo de memória não volátil de somente leitura, onde os registros nela contidos só podem ser apagados por meio de pulsos elétricos e luz ultra-violeta.
- **Memória RAM:** (*Random Access Memory*) é um tipo de memória volátil (temporário) presente em alguns dispositivos eletrônicos, que possibilita tanto escrita quanto leitura de dados, quando o dispositivo é desligado, os dados presentes na RAM são apagados.
- **Módulo:** nesse trabalho, refere-se às placas com componentes eletrônicos.
- **Ohm:** é a unidade que expressa resistência à passagem da corrente elétrica, sendo representada pela letra grega Ω .
- **Periféricos:** nos microcontroladores são circuitos presentes em seu interior, que realizam procedimentos específicos, por meio da programação inserida no microcontrolador. Por

exemplo, temporização ações determinadas, conversão de sinais analógicos em digitais, e outros.

- **Protocolo de comunicação:** pode ser descrito como um conjunto de procedimentos e especificações, que regem a comunicação entre dispositivos, plataformas e sistemas computacionais (ex.: SPI, I2C e outros).
- **Reset:** pode ser entendido como a ação de reiniciar determinado processo, no meio eletrônico ou da informática.
- **Resistência elétrica:** é a propriedade que alguns componentes ou circuitos possuem em apresentar resistência a passagem de corrente elétrica, sua unidade de medida é Ohms.
- **Resistor:** é um dispositivo utilizado em circuitos eletroeletrônicos, que limita a passagem da corrente elétrica. Servindo, de forma geral, como uma proteção aos dispositivos que necessitem de determinadas faixas de tensão e/ou corrente.
- **Resistor pull-up:** responsável por manter determinado pino (seja “entrada” ou “saída”) de algum dispositivo eletrônico em “nível alto”, impedindo que ocorra o fenômeno “estado flutuante”.
- **Sensor capacitivo:** sensor que a partir de determinada condição externa (ex. umidade relativa do ar) ocasiona variação na sua capacitância, o que pode gerar uma alteração da tensão ou da frequência do sinal de saída do sensor.
- **Temporizador:** também conhecido por *timer*, é um periférico presente nos microcontroladores, o qual permite que seja configurado uma “contagem” para executar ações que necessitem um controle de tempo.
- **Tensão elétrica:** é a diferença de potencial (ddp) entre determinados pontos, dentro de um circuito ou dispositivo eletrônico. Sua unidade é o volt.
- **Termistor:** é um tipo de sensor de temperatura constituído de material semicondutor, o qual apresenta seu valor de resistência elétrica alterada, conforme variações na temperatura.
- **Volt:** unidade de tensão elétrica, representada pela letra “V”.

**APÊNDICE A – FIGURAS DOS COMPONENTES E ITENS UTILIZADOS NA
CONSTRUÇÃO DO PROTOTIPO.**

Conector de 2 vias - KRE 	Placa perfurada de fenolite 	Fios (<i>jumpers</i>) 
Capacitor cerâmico 22 pF 	LED 5 mm 	Regulador de tensão L7805 
Capacitor eletrolítico 10 μ F 	Resistor 	Abraçadeira tipo "D" com cunha 
Cristal oscilador de quartzo 	Diodo 1N4007 	Soquete DIP 28 pinos 
Chave gangorra 	Barramento fêmea de 40 pinos 	Microcontrolador Atmega328p 
Módulo micro SD Card 	Módulo RTC DS1307 	Módulo Sensor AM2302 

Fonte: Figuras retiradas do Google Imagens 2017.

APÊNDICE B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO ELABORADO PARA O PROTÓTIPO

```

/*****/
#include <DHT.h>
#include <DS1307.h>
#include <SdFile.h>
#include <SdFat.h>
#include "LowPower.h"

#define P 3.14
#define RAIO 0.02
#define PINO_VENTO 2
#define DHT_PINO A1
#define DHT_TIPO DHT22

double Velocidade;
unsigned long MillisAtras = 0;
uint16_t start = 0;
volatile uint16_t Giro = 0;
const int chipSelect = 10;
float h, t;
SdFat sdCard;
SdFile baseDados;
DHT dht(DHT_PINO, DHT_TIPO);
DS1307 rtc(SDA, SCL);
/*****/
void func_cabecalho()
{
    baseDados.println("Nova coleta - Ponto XXX\t");
    baseDados.print("Data\t");
    baseDados.print("\tHora\t\t");
    baseDados.print("Humi\t");

```

```

baseDados.print("Temp\t ");
baseDados.println("Vento-m.s");
}
/*****/
void func_erro_led()
{
digitalWrite(8, HIGH);
}
/*****/
void func_Contador()
{
Giro++;
}
/*****/
void func_Veloc_Vento()
{
Velocidade = ((2 * P * RAIO) * (Giro / 30));
}
/*****/
void func_DHT()
{
h = dht.readHumidity();
t = dht.readTemperature();
if (isnan(h) || isnan(t))
{
Serial.println("Falha no DHT!");
func_erro_led();
return;
}
}
/*****/
void func_SD_erro()

```

```

{
  if (!sdCard.begin(chipSelect, SPI_HALF_SPEED))
  {
    func_erro_led();
    sdCard.initErrorHalt();
  }
  if (!baseDados.open("DADOS.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END))
  {
    func_erro_led();
    sdCard.errorHalt("Erro na abertura do arquivo DADOS.txt!");
  }
}
/*****/
void func_Dormir()
{
  for (int i = 0; i <= 7; i++) // Intervalo de 56 segundos para "dormir"
  {
    LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
  }
}
/*****/
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  rtc.halt(false);
  pinMode(PINO_VENTO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(8, OUTPUT);

  //rtc.setTime(00, 27, 0);      // Hora do dia 12:00:00 (Formato 24h)
  //rtc.setDate(05, 11, 2016);  // Data (Formato: DD/MM/AAAA)

```

```

func_SD_erro();
func_cabecalho();
attachInterrupt(0, func_Contador, RISING);
start = millis();
}
/*****/
void loop()
{
if (millis() - MillisAtras >= 30000)
{
detachInterrupt(0); //INTERRUPÇÃO - desativando
func_Dormir();
func_DHT();
func_Veloc_Vento();

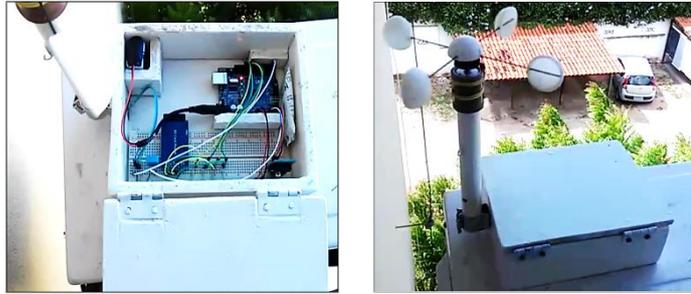
baseDados.print(rtc.getDateStr(FORMAT_SHORT)); //DATA
baseDados.print("\t");
baseDados.print(rtc.getTimeStr()); //HORA
baseDados.print("\t");
baseDados.print(h); //UMIDADE
baseDados.print("\t");
baseDados.print(t); //TEMPERATURA
baseDados.print(" \t ");
baseDados.println(Velocidade); //VENTOS

baseDados.close(); //CARTÃO SD – fechando e salvando dados
baseDados.open("DADOS.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END);
attachInterrupt(0, func_Contador, RISING); //INTERRUPÇÃO - reativando
Giro = 0;
MillisAtras = millis();
}
}

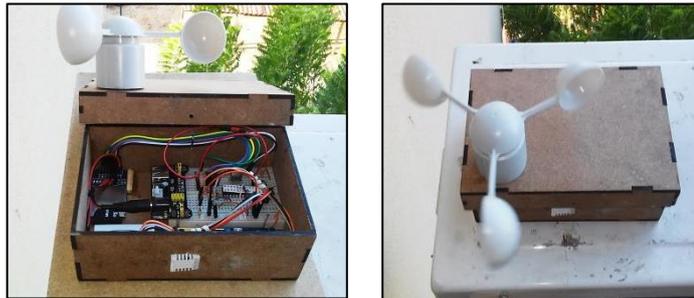
```

APÊNDICE C – VERSÕES ANTERIORES DO PROTÓTIPO

Protótipo – Versão I



Protótipo – Versão II



Protótipo – Versão III

