

Universidade Brasil
Campus de São Paulo

ANDRÉ MARQUES DE OLIVEIRA

SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO

SYSCLIMATE- CLIMATE MONITORING SYSTEM

SÃO PAULO, SP

2019

André Marques de Oliveira

SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

SÃO PAULO, SP
2019

FICHA CATALOGRÁFICA
(em construção)

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

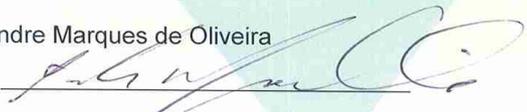
Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

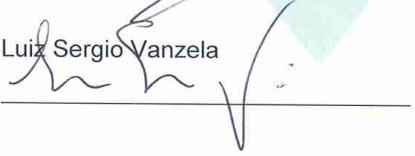
Título do Trabalho: **"SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO"**

Autor(es):

Discente: Andre Marques de Oliveira

Assinatura: 

Orientador: Luiz Sergio Vanzela

Assinatura: 

Data: 21/outubro/2019

TERMO DE APROVAÇÃO



TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRE MARQUES DE OLIVEIRA

“SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO”

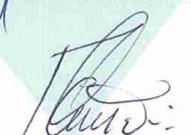
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



Prof(a). Dr(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente)



Prof(a). Dr(a) Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro (Universidade Brasil)



Prof(a). Dr(a) Ronaldo Cintra Lima (UNESP)

Fernandópolis, 21 de outubro de 2019.

Dedico este trabalho a meus familiares e minha esposa pelo incansável apoio e incentivo em minha formação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela, pela sua disponibilidade e incentivo, que foram fundamentais para realizar e prosseguir este estudo. Reforço o apoio incondicional prestado, a forma de interesse extraordinário e pertinente como acompanhou a realização deste trabalho. As suas críticas construtivas, as discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo o percurso. Eternamente grato por todo o apoio!

À minha amada esposa Aline, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros, sem a atenção devida e depois de tantos momentos de lazer perdidos. Obrigado pelo presente de cada dia, pelo seu sorriso e por saber me fazer feliz.

Ao meu chefe Rodrigo Fernandes, na qual não poderia estar mais grato, por esta oportunidade que está me proporcionando. Sei que sempre dei meu melhor, mas sentir vossa confiança desta maneira, é muito motivador.

A todos os amigos e colegas que de forma direta ou indiretamente, contribuíram ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis. Para não correr o risco de não enumerar algum não vou identificar ninguém, aqueles a quem este agradecimento se dirige, desde já os meus agradecimentos.

SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO

RESUMO

Os fenômenos meteorológicos estão relacionados diretamente com variáveis atmosféricas, tais como: temperatura, pressão atmosférica, umidade do ar, entre outras, com a qual a interligação e intensidade das mesmas nos relatam possibilidades de acontecimentos, entre eles precipitação, estiagem, nevasca, etc. Para tanto, esta pesquisa teve como objetivo a criação do SysClimate (Sistema de Monitoramento Climático) um sistema autônomo e informatizado conectado a uma ou mais estações meteorológicas, essas utilizando componentes que facilmente são encontrados no mercado, tendo também como base a redução de custo em relação às estações meteorológicas tradicionais, além de possibilitar a inovação e desenvolvimento de diferentes métodos de coleta e gerenciamento de dados. Como proposta, para atender os requisitos mencionados, utilizou-se como componente inovador selecionando o microprocessador Raspberry Pi 3 B+. Esse sistema tem seu funcionamento online e a geração de relatórios de forma rápida, precisa e modular enquanto seus resultados levaram a concluir que o SysClimate é uma plataforma promissora e se constituindo como uma solução com custo 80% inferior que as comerciais disponíveis no mercado, proporcionando uma opção de sistema de monitoramento climático de acesso mais facilitado para empresas de pequeno e médio porte, prefeituras, universidades, entre outros segmentos.

Palavras-chave: automação, meteorologia, hardware, tecnologia, Linux.

SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO

ABSTRACT

The Meteorological phenomena are directly related to atmospheric variables, such as temperature, atmospheric pressure, air humidity, among others, with which their interconnection and intensity tell us possibilities of events, including precipitation, drought, snowfall, etc. To this end, this research aimed to create the SysClimate (Climate Monitoring System) an autonomous and computerized system connected to one or more weather stations, these using components that are easily found in the market, also based on cost reduction in traditional weather stations, as well as enabling the innovation and development of different data collection and management methods. As a proposal, to meet the mentioned requirements, it was used as an innovative component selecting the Raspberry Pi 3 B + microprocessor. This system works online and reports quickly, accurately and modularly while its results lead to the conclusion that SysClimate is a promising platform and is an 80% lower cost solution than commercially available ones. an easier access climate monitoring system option for small and midsize businesses, city halls, universities, among other segments.

Keywords: automation, meteorology, hardware, technology, Linux.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do índice de UV.....	29
Tabela 2: Escala de Beaufort – Intensidade dos ventos.	31
Tabela 3: Tempos de sincronização da estação Meteorológica com o SysClimate. .	58
Tabela 4: Detalhe das informações do cadastro de usuários do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	65
Tabela 5: Detalhe das informações do cadastro de perfis do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	65
Tabela 6: Detalhe das informações do cadastro de empresas do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	66
Tabela 7: Detalhe das informações do cadastro de estações meteorológicas do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	66
Tabela 8: Detalhe das informações do cadastro de temperaturas do ar no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	66
Tabela 9: Detalhe das informações do cadastro de umidades do ar no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	67
Tabela 10: Detalhe das informações do cadastro de pressão atmosférica do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	67
Tabela 11: Detalhe das informações do cadastro de precipitação pluviométrica do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	67
Tabela 12: Detalhe das informações do cadastro de velocidade do vento no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	68
Tabela 13: Detalhe das informações do cadastro de direção do vento do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	68
Tabela 14: Detalhe das informações do cadastro de radiação UV do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um termômetro convencional de mercúrio em vidro	20
Figura 2: Esquema de psicrômetro tradicional.	22
Figura 3: Barômetro de Torricelli – Esquema de funcionamento.....	25
Figura 4: Barômetro de Aneroide.	25
Figura 5: Fotoperíodo ao longo do ano, em diferentes latitudes do hemisfério Sul...	27
Figura 6: Esquema do balanço de energia da radiação solar, e que R_{ns} é a radiação solar de ondas curtas e R_{nl} é a radiação solar de ondas longas.	28
Figura 7: Anemômetro de Canecas.....	32
Figura 8: Sensor de direção do vento.	32
Figura 9: Pluviômetro - Modelo Ville Paris	34
Figura 10: Pluviômetro - Modelo Automático.....	35
Figura 11: Quadro de exemplos de órgãos federais e estaduais que utilizam sistemas informatizados para a disponibilização de dados meteorológicos e climáticos.	37
Figura 12: Localização da primeira estação meteorológica automática do Sysclimate.	38
Figura 13: Esquema de funcionamento – SysClimate, sendo 1-Coleta e armazenamento local de dados, 2-Integração em cloud, 3-Tratamento e disponibilização na internet e 4- Acesso dos usuários	39
Figura 14: Estação Meteorológica.....	40
Figura 15: Datalogger - Estação Meteorológica	41
Figura 16: Sensor DHT22.....	44
Figura 17: Sensor BMP180	44
Figura 18: Abrigo de sensores de temperatura, umidade e pressão.....	45
Figura 19: Sensor UVM-30A	45
Figura 20: Abrigo do sensor de UV	45
Figura 21: Anemômetro e Biruta	46
Figura 22: Pluviômetro automático de báscula.....	47
Figura 23: Raspberry Pi 3 B+	47

Figura 24: Arduino UNO.....	48
Figura 25: Placa Protoboard para Raspberry Pi 3 B+	49
Figura 26: Roteador 4G Dlink DWR-922.....	50
Figura 27: Painel Solar de 90W.....	50
Figura 28: Controladores de Carga e Bateria de 18Ah 12V.....	51
Figura 29: Sistema de Refrigeração Externo.....	52
Figura 30: Relê e sensor de Temperatura - Sistema de Refrigeração	52
Figura 31: Estrutura da Estação Meteorológica	53
Figura 32: Diagrama de Funcionamento.....	57
Figura 33: SysClimate - Tela Inicial.....	59
Figura 34: Dashboard - Estação Meteorológica	60
Figura 35: Tela de Temperatura.....	60
Figura 36: Tela de Login do Sysclimate	61
Figura 37: Tela Principal de Gerenciamento	62
Figura 38: Relatório de Extração de Dados Excel.....	62
Figura 39: Banco de Dados - Extração de Variável de Temperatura do ar	63
Figura 40: Banco de Dados - Extração de Variável de Umidade relativa do ar.....	63
Figura 41: Banco de Dados - Extração de Variável de Pressão Atmosférica.....	64
Figura 42: Diagrama de Entidade de Relacionamento do Sistema WEB Sysclimate	70
Figura 43: Diagrama de Entidade de Relacionamento da Estação Meteorológica de campo.	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO.....	17
3. CONCEITOS E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	18
3.1 Meteorologia e Climatologia	18
3.2 Clima	18
3.3. Variáveis climáticas.....	19
3.3.1 Temperatura do ar.....	19
3.3.2 Umidade relativa do ar	21
3.3.3. Pressão atmosférica.....	24
3.3.4. Radiação Solar	26
3.3.5. Vento	30
3.3.6. Precipitação Pluvial	33
3.4. Informática no monitoramento climático	36
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1. Local e período.....	38
4.2 Funcionamento geral.....	38
4.3 Hardwares e estrutura física.....	40
4.4 <i>Softwares</i>	42
4.5 Estação Meteorológica	42
5. APRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - OPWether	43
5.1. <i>Hardwares</i> e estrutura física.....	43
5.1.1. Estação meteorológica automática	43
5.2. <i>Softwares</i> e estrutura virtual.....	54
5.2.1 Estação meteorológica automática	54
5.2.2 Estação de controle.....	55
5.3 Metodologia de disponibilização dos dados	56
6. SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO	58
6.1 Monitoramento climático.....	58
6.2 Homepage.....	58
6.3 Resultados das coletas de dados por estação de controle	62
6.4 Especificações de classes principais do sistema	64
6.5 Diagrama de Entidade Relacionamento (DER)	69

7. CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1. INTRODUÇÃO

Todos os ecossistemas do planeta são influenciados pelas condições meteorológicas e climáticas. A humanidade sempre trabalhou para entendê-las e aplicar os conhecimentos adquiridos ao seu favor, seja no segmento de alimentos, na cadeia produtiva da agricultura, meio ambiente, entre outros. As alterações climáticas sempre estiveram presentes no planeta Terra desde os tempos remotos, alterações as vezes severas, que resultaram até em extinção de espécies.

Por isso, desde os tempos primitivos, o homem tem buscado entender e desenvolver mecanismos para monitorar e prever o clima. Para Mendonça e Danni-Oliveira [1] a meteorologia trata da dimensão física da atmosfera, que em sua especificidade, aborda fenômenos meteorológicos como raios, trovões, descargas elétricas, nuvens, composição físico-química do ar e previsão de tempo.

O seu estudo já fora iniciado há muito tempo, inclusive Frisinger [2] afirma que como em qualquer ciência, é impossível determinar um começo exato para a meteorologia. Uma distinção deve ser feita entre a meteorologia como qualquer ciência e meteorologia do senso comum, pois a ciência é comparativamente um ramo do conhecimento relativamente jovem enquanto o entendimento da meteorologia do senso comum remonta às origens das civilizações humanas.

Diante da importância do conhecimento das tendências climáticas para as atividades humanas e de suas alterações ao longo dos anos, é imprescindível o monitoramento climático. Isso porque as consequências de eventos climáticos extremos têm sido as mais diversas, sendo desde prejuízos econômicos, passando pelas perdas de vida decorrentes de inundações, furacões, ondas de frio ou de calor.

Assim, os estudos e equipamentos em monitoramento climático tem-se aprimorado e um avanço significativo foi observado do século XX, que perdura até os dias atuais, com a tecnologia de radares meteorológicos, radiossondas, satélites e redes de observação etc. Com o advento da tecnologia e do cenário atual, há a necessidade de entender, analisar e prever os fenômenos climáticos como chuvas, tempestades, furacões, nevascas, etc. Por conseguinte, a partir de sistemas de monitoramento, como rede telemétrica e hidrometeorológica, radares, satélites que segundo Vianello e Alves [3] é o último grande evento de desenvolvimento da meteorologia moderna, fornecendo esse imagens de todo o planeta a cada 30 minutos

e coletando diversas informações (em sua maioria variáveis climáticas), que são customizadas a fim de atender as necessidades de cada segmento socioeconômico, seja privada ou pública.

Como observado, embora atualmente exista uma ampla tecnologia inovadora em monitoramento climático, em sua maioria, ainda é onerosa para a maioria dos municípios brasileiros ou de empresas públicas ou privadas de pequeno a médio porte. Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias em meteorologia também deve preconizar a redução de custos, propiciando maior facilidade de acesso por estas instituições ou pessoas, cujo monitoramento climático é imprescindível para as suas atividades.

2. OBJETIVO

Diante do exposto, neste trabalho, desenvolveu-se um sistema web autônomo de monitoramento climático de estação automática de baixo custo, constituído de tecnologias de fácil acesso no mercado e uso de *softwares* livres. Este sistema, em sua versão inicial, foi denominado de SysClimate.

3. CONCEITOS E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

3.1 Meteorologia e Climatologia

Para Ynoue et al. [4] a Meteorologia é a ciência que estuda as propriedades físicas da atmosfera, visando a compreensão dos processos que explicam a sua evolução, necessária para a previsão dos estados futuros. A Meteorologia é algo mais vasto, ocupando-se não só da atmosfera, como da sua interação com os outros componentes da litosfera (camada sólida externa da Terra), hidrosfera (camada de água da superfície terrestre, envolvendo tudo que é composto por água), criosfera (camada de gelo permanente sobre a superfície da Terra) e biosfera (conjunto de todos os ecossistemas presentes no planeta Terra).

Seguindo este conceito, a meteorologia na concepção de Mendonça e Danni-Oliveira [1] trabalha com o uso de instrumentos para a mensuração dos elementos e fenômenos atmosféricos, o que possibilita o registro desses fenômenos e forma uma fonte de dados de fundamental importância para o desenvolvimento de outra área do conhecimento, a Climatologia, na qual, a partir de elementos visíveis e inúmeros tipos de mapas e sistemas de observação planetária, consegue caracterizar, um estado médio da atmosfera e sua evolução num determinado lugar, dando origem as características do Clima deste local.

3.2 Clima

A paisagem de um local é definida por vários fatores como o solo, o relevo, a vegetação, a fauna, o clima, etc. O clima, segundo Torres e Machado [5], assume um significado expressivo na configuração externa da paisagem, visto que o mesmo influencia e é influenciado por outros elementos como vegetação, o solo e o relevo.

O clima é um fenômeno natural que ocorre a nível atmosférico, que se estende por todo o planeta, na qual possui características distintas para cada local, definido pelas particularidades como temperatura, precipitação, umidade, entre outros fatores, encontrados em cada região.

Para Steinke [6], o termo “clima”, constitui um conjunto de eventos de tempo semelhantes (tendências), mais ou menos estáveis, que resulta em condições relativamente permanentes, durante um período de tempo mais longo. Costuma-se

conceituar clima como conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre.

Ainda na concepção de Torres e Machado [5] o clima intervém ainda na formação dos solos, na decomposição das rochas, na elaboração das formas de relevo, no regime dos rios e das águas subterrâneas, no aproveitamento dos recursos econômicos, na natureza e no ritmo das atividades agrícolas, nos tipos de cultivos praticados, nos sistemas de transportes e na própria distribuição dos homens na Terra.

Devido à esta tão grande importância, o estudo do clima tem se intensificado nos últimos séculos, onde hoje praticamente seu conhecimento é indispensável para o futuro do ser humano.

3.3. Variáveis climáticas

3.3.1 Temperatura do ar

Para a Organização Mundial de Meteorologia [7] a temperatura é uma grandeza física que caracteriza o movimento aleatório médio das moléculas em um corpo físico, na qual é caracterizada pelo comportamento em que dois corpos em contato térmico tendem a uma temperatura igual. Sendo assim a temperatura representa o estado termodinâmico de um corpo e seu valor é determinado pela direção do fluxo líquido de calor entre os corpos.

Segundo Ayoade [8] a temperatura pode ser definida em termos do movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevado será a temperatura. Mais comumente, ela é definida em termos relativos tomando-se por base o grau de calor que o corpo possui. A temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância a outra.

Neste contexto, a temperatura de um corpo está relacionada com a energia cinética de uma molécula ou átomo, sendo assim a temperatura é a medida do calor sensível nele armazenado, na qual podemos expressar em unidades como graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ou Kelvin (K), a relação entre elas é apresentada nas Equações 01 e 02, tendo como ponto de partida 0°C .

$$K = ^\circ\text{C} + 273 \quad \text{Equação (01)}$$

, sendo:

K – Kelvin

$^\circ\text{C}$ – Graus Celsius

$$^\circ\text{F} = 1,8 ^\circ\text{C} + 32 \quad \text{Equação (02)}$$

, sendo:

$^\circ\text{F}$ – Graus Fahrenheit

$^\circ\text{C}$ – Graus Celsius

Para Ayoade [8] vários fatores influenciam na distribuição da temperatura sobre a superfície da Terra ou parte dela. Eles incluem a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas.

A mensuração da temperatura, é de suma importância para estudos em todos os ramos da meteorologia, sendo assim, vários métodos foram desenvolvidos, sendo que o mais conhecido é o termômetro de mercúrio, que tem como princípio a propriedade de expandir-se ou contrair-se com a temperatura, neste caso o mercúrio, criando assim um equilíbrio térmico entre o meio e a dilatação/contração do líquido (Figura 1).

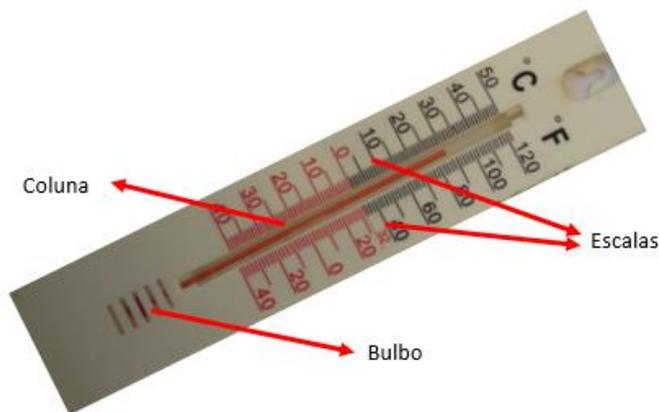


Figura 1: Esquema de um termômetro convencional de mercúrio em vidro.

Para fins meteorológicos, a temperatura é aferida em vários meios, na qual as principais são: a temperatura do ar (em várias altitudes), do solo e da água do mar. Em relação a temperatura do ar, a mesma deve ser obtida por meio de termômetro exposto ao ar em um local protegido da radiação solar direta.

Com a ampliação e desenvolvimento de novas tecnológicas, muitas voltadas a automação, foram criados vários sensores, entre eles, os sensores digitais de temperatura, com diversos princípios de funcionamento. Dentre os sensores destacam-se os termopares, termômetros de resistência e termístores, além da radiação infravermelha, versão que não necessita do contato físico.

Para Pires, Afonso e Chaves [9] um modelo eletrônico de sensor de temperatura apresenta várias vantagens: baixo peso, baixo custo, rápida resposta a mudanças de temperatura, boa resistência mecânica e eliminação do erro inerente ao ser humano quando da leitura da temperatura em um termômetro convencional (erro de paralaxe, regressão da coluna de mercúrio, tempo de leitura lento).

Os sensores termopares são baseados na junção de dois metais distintos unidos em uma extremidade. Quando há uma diferença de temperatura nesta extremidade com a que está livre, surge uma diferença potencial que pode ser aferida por um voltímetro. Entretanto, os termômetros baseados em resistência possuem seu funcionamento na relação entre a resistência elétrica do material utilizado em função de sua temperatura. Os termístores, que apresentam grande variação da resistência em função da variação da temperatura, com um valor de resistência elétrica para cada temperatura absoluta.

Outra tecnologia para a criação de sensores de temperatura digitais são os modelos baseados em radiação infravermelha, que podem aferir a temperatura em função da radiação emitida de corpos, ou seja, sem o contato físico direto.

A temperatura é uma variável climática utilizada em diferentes estudos, desde a temperatura da superfície terrestres ou em altitudes elevadas, temperatura do solo, investigação do comportamento térmico da água e rios, mares e oceanos, entre outros.

3.3.2 Umidade relativa do ar

A umidade do ar, mais comumente mensurada pela umidade relativa do ar, para Barry e Chorley [10] é a expressão do teor real de umidade de uma amostra de ar como porcentagem do mesmo volume de ar saturado na mesma temperatura (Equação 03).

$$RH = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100 \quad \text{Equação (03)}$$

, sendo:

RH – umidade relativa do ar (%)

ea - pressão atual de vapor (kPa);

es – pressão de saturação de vapor (kPa).

Ayoade [8] afirma que a umidade relativa do ar não oferece, na verdade, informação sobre a quantidade de umidade na atmosfera, mas informa quão próximo o ar está de saturação. Também seu valor pode variar se houver uma mudança de temperatura do ar, mesmo que não tenha havido nenhum aumento ou diminuição em seu conteúdo de vapor no ar.

Sendo assim a umidade relativa é a relação entre a quantidade de água existente na atmosfera (umidade absoluta) com a máxima possível, em uma determinada temperatura (umidade de saturação). Neste contexto, quanto maior for a temperatura maior será a capacidade do ar em retenção de água e vice-versa.

O instrumento mais tradicional utilizado para mensurar a umidade relativa do ar é o psicrômetro (Figura 2), cuja palavra é originada de “psychrós”, que do grego significa frio.

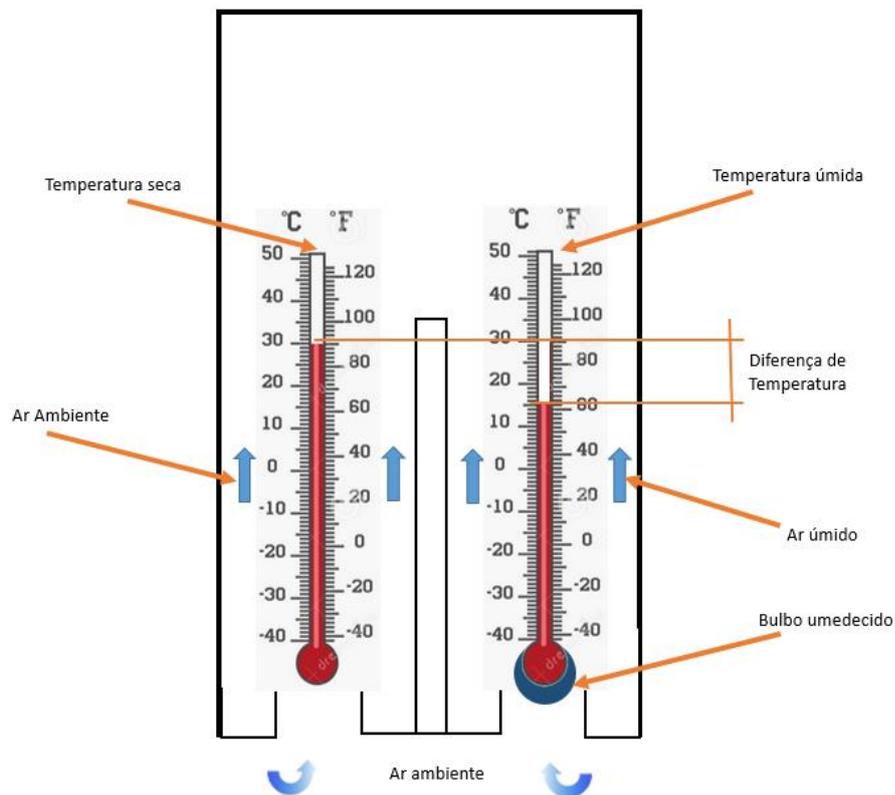


Figura 2: Esquema de psicrômetro tradicional.

O psicrômetro tradicional consiste em dois termômetros idênticos, posicionados paralelamente, sendo um de bulbo seco e o outro de bulbo umedecido constantemente por um cordão/malha de algodão, pelo efeito de capilaridade em água destilada. O termômetro de bulbo úmido simula a temperatura do ar saturado, permitindo determinar a pressão atual de vapor por meio da Equação 04.

$$e_a = e_s - \gamma \cdot (T_s - T_u) \quad \text{Equação (04)}$$

, sendo:

e_a - pressão atual de vapor (kPa);

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa);

γ - constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

T_s - temperatura do termômetro de bulbo seco (°C);

T_u - temperatura do termômetro de bulbo úmido (°C).

A pressão de saturação de vapor varia em função da temperatura do ar, e pode ser obtida pela equação 05, originada da curva psicrométrica.

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right)} \quad \text{Equação (05)}$$

, sendo:

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa);

T - temperatura do ar (°C).

Também temos os Higrômetros, instrumentos capazes de aferir a umidade presente nos gases, mas especificamente na atmosfera. Atualmente, há várias versões digitais deste equipamento no mercado que conseguem realizar tal leitura, de forma precisa e disponibilizando várias outras variáveis a partir das leituras realizadas, como ponto de orvalho e umidade absoluta. O mais comum são os sensores termohigrômetros, que são calibrados para mensurar simultaneamente a temperatura e umidade relativa do ar.

O estudo da umidade relativa do ar é explorado por diversas áreas, como por exemplo, na preservação de alimentos, na climatologia, no manejo de animais, na produção agrícola, no controle de doenças e pragas, entre tantos outros estudos.

Silva et al. [11], em seu trabalho, afirma que a umidade relativa do ar tem importância fundamental em muitas áreas de aplicação, principalmente aquelas direcionadas ao setor agropecuário, que influencia na tomada de decisão de processos que envolvem a conservação de grãos armazenados, a sanidade e crescimento de plantas, assim como o conforto térmico animal.

3.3.3 Pressão atmosférica

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia [7] a pressão atmosférica é a força exercida em uma área em virtude do peso da atmosfera acima dela, sendo assim, é igual ao peso de uma coluna vertical de ar acima de uma projeção horizontal da superfície (equação 06). Por isso, de maneira geral, quanto maior a altitude menor será a pressão e quando menor a altitude maior será a pressão, sendo que ao nível do mar a pressão atmosférica é máxima e equivale a 1 atmosfera (1 atm = 760 mmHg = 1013,3 mb = 101,33 kPa = 10,33 mca).

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{ar seco}} + e_a \quad \text{Equação (06)}$$

, sendo:

P_{atm} - pressão atmosférica;

$P_{\text{ar seco}}$ - pressão de outros gases no ar;

e_a - pressão atual de vapor (pressão parcial).

Para Torres e Machado [5] esta variável representa papel fundamental no clima, pois suas variações estão intimamente relacionadas aos diferentes estados do tempo. Suas leituras podem sofrer alterações em função da temperatura, que por sua vez, é definida pela radiação solar que varia em função da localização geográfica e estações do ano.

A pressão atmosférica é medida por instrumento denominado barômetro, cuja criação foi realizada pelo físico italiano Torricelli, a partir de seus estudos em mecânica de fluidos. Existe atualmente vários modelos de barômetros, dentre os quais pode-se citar o de Torricelli (barômetro de mercúrio), o de Aneróide e os digitais. No Barômetro de Torricelli é um equipamento clássico, que consiste em um tubo de um metro de altura, com um lado aberto, no qual seu interior é preenchido de mercúrio; o referido tubo é inserido em outro recipiente, também com mercúrio (Figura 3).

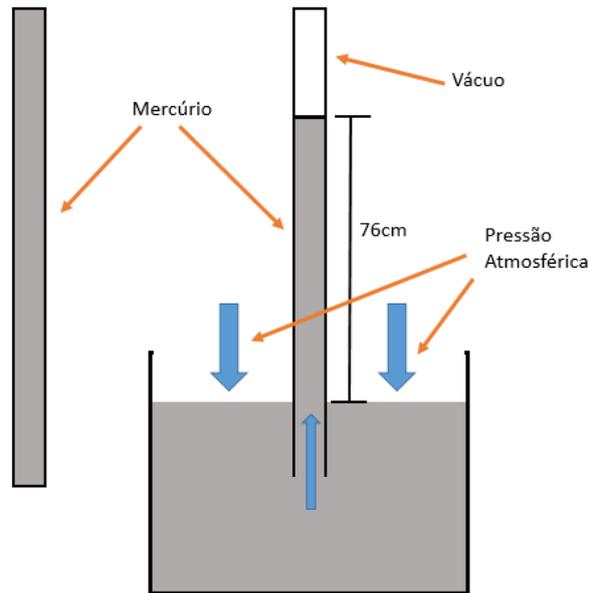


Figura 3: Barômetro de Torricelli – Esquema de funcionamento.

Tais procedimentos geram um vácuo na parte superior do tubo, que se altera conforme o peso da atmosfera sobre o mercúrio (Hg) que está fora do tubo. Tal leitura realizada ao nível do mar resultará em uma altura de coluna de mercúrio de 76 cm (ou 760 mm de Hg) que corresponde a unidade de medida de 1 atmosfera (1 atm).

O Barômetro de Aneróide tem seu funcionamento de forma mecânica e tem aparência de um relógio (Figura 4). Dentro deste equipamento há uma pequena caixa de metal flexível, na qual o ar em seu interior é retirado via bombeamento, criando-se um vácuo. Assim, quaisquer alterações de pressão atmosférica provoca a contração ou expansão do metal. Este movimento faz com que as partes mecânicas do equipamento se movam, transmitindo para uma agulha a leitura no ato da medição, atrelada a um sistema de mensuração numérica.



Figura 4: Barômetro de Aneróide.

Fonte: <https://www.gestaoeducacional.com.br/wp-content/uploads/2018/11/barometro-aneróide-1-300x300.jpg> [12]

Atualmente o mercado possui diversos sensores digitais utilizados principalmente em estações meteorológicas automáticas para monitorar a pressão atmosférica. Tais sensores, em sua maioria, utilizam o conceito de piezo-resistivo internamente, na qual refere-se à mudança da resistência elétrica com a deformação/contração como resultado da pressão aplicada. São formados por elementos cristalinos interligados em ponte com outros resistores que promove o ajuste de zero, sensibilidade e compensação de temperatura. O material de construção varia conforme o fabricante e, atualmente, é comum o uso de sensores de estado sólido.

3.3.4 Radiação Solar

O Sol é a principal fonte de energia para os processos atmosféricos no planeta. Inclusive Ynoue et al. [4] afirma que o tempo e o clima são determinados pela quantidade e distribuição da radiação solar que atinge a terra.

Para Barry e Chorley [10] a radiação solar é uma fonte de energia injetada em nossa atmosfera pelo Sol, que está constantemente liberando uma parte de sua massa por meio de ondas irradiantes de energia eletromagnética e partículas de energia para o espaço. Essa emissão sendo constante representa a maior energia disponível na Terra.

Tal energia liberada pelo Sol origina-se de reações nucleares dentro de seu núcleo, sendo transmitida pelas ondas eletromagnéticas (ou radiação eletromagnética). A maior parte destas ondas se encontram na faixa de luz visível (radiação ultravioleta e infravermelha). Essa energia é fundamental para a vida no planeta e o principal elemento meteorológico, bem como fator determinante do tempo e clima.

Pela radiação solar é possível extrair algumas variáveis, na qual as mais comuns são: fotoperíodo, insolação, radiação solar extraterrestre, radiação solar ou global, radiação líquida e radiação ultravioleta.

Segundo Varejão-Silva [13] define-se fotoperíodo, ou duração efetiva do dia, como o intervalo de tempo transcorrido entre o nascimento e o ocaso do Sol, em determinado local e data (Figura 5). Variável está muito importante para estudos no

comportamento fisiológicos das plantas (espécies para cultivo principalmente), além das atividades civis.

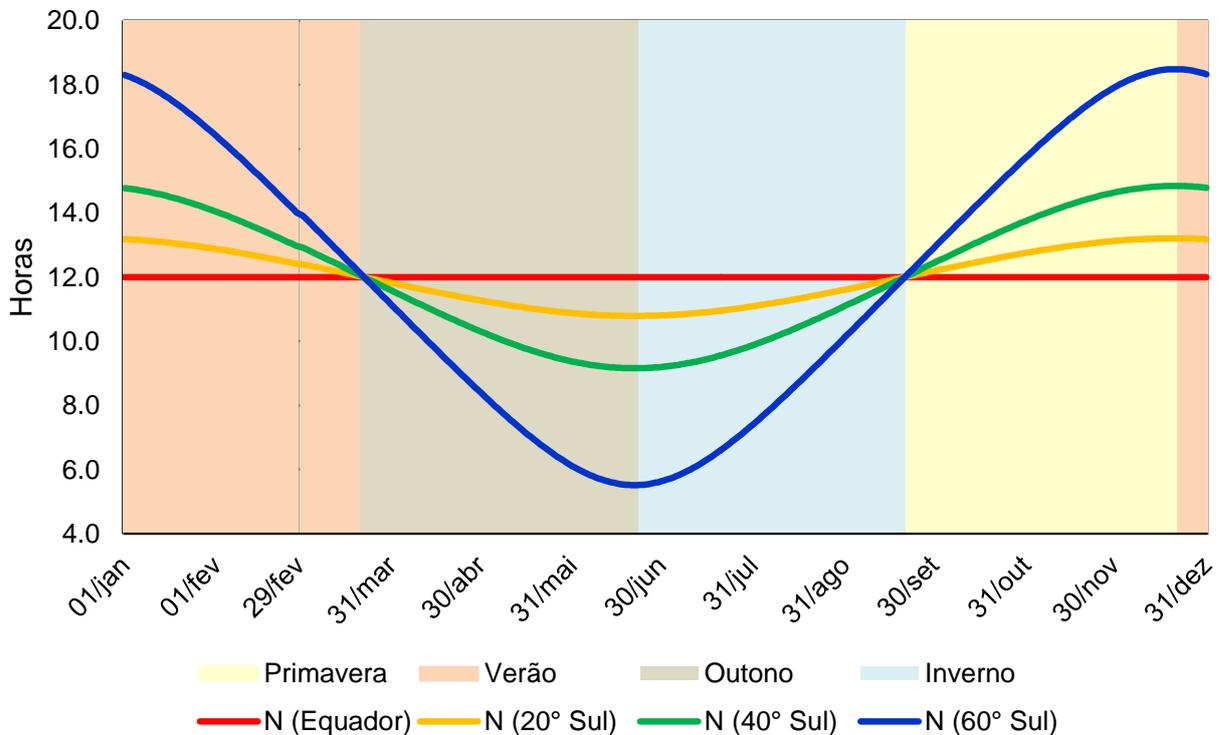


Figura 5: Fotoperíodo ao longo do ano, em diferentes latitudes do hemisfério Sul.

Para Macagnan [14] a radiação solar extraterrestre é a energia solar total, em todos os comprimentos de onda, fora da atmosfera terrestre, incidente em uma superfície de área unitária em exposição normal aos raios do Sol, a uma distância de 1 UA (distância média Terra-Sol). A média anual da energia solar extraterrestre é de 1367 W m^{-2} . Sua determinação é extremamente importante não só para aplicações extra-atmosféricas (satélites, naves espaciais, etc.) como para aplicações terrestres.

Quando a radiação solar entra na atmosfera, uma parte é absorvida, parte é espalhada e parte é refletida de volta para o espaço, ou seja, a quantidade de radiação que fornece energia para os processos climáticos é definida pelo balanço de energia da radiação solar (Figura 6).

A radiação solar ou global é o somatório da radiação solar que atinge a superfície terrestre, sendo fundamental em estudos relacionados ao balanço de radiação na superfície terrestre e na geração de energia fotovoltaica.

Balço de Radiação Solar

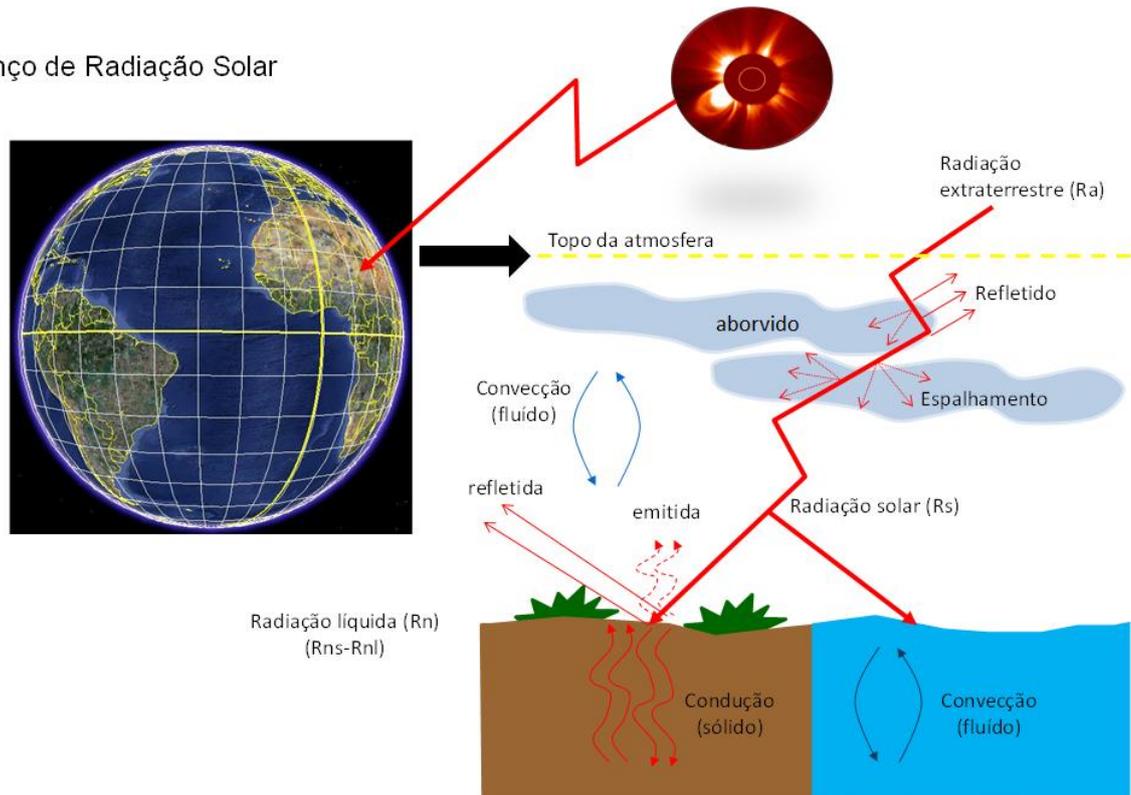


Figura 6: Esquema do balanço de energia da radiação solar, e que R_{ns} é a radiação solar de ondas curtas e R_{nl} é a radiação solar de ondas longas.

Segundo Allen, Pereira e Smith [15] a fração da radiação solar que não é refletida é denominada de radiação solar de ondas curtas e depende do albedo ou coeficiente de reflexão, que por sua vez, varia de acordo com a cobertura da superfície terrestre. A fração da radiação de ondas curtas que é emitida de volta para a atmosfera, na forma de energia radiante. A diferença entre a radiação de ondas curtas e a radiação de ondas longas é denominada de radiação líquida.

O monitoramento dos componentes da radiação solar é fundamental para os estudos do balanço de energia da radiação solar, imprescindível no entendimento dos processos climáticos e, por conseguinte, nas áreas das ciências aplicadas que dependem do clima.

A radiação Solar Ultravioleta (UV) é, segundo Varejão-Silva [13], uma faixa do espectro eletromagnético não visível, com comprimento de ondas inferiores a 360 nm, cuja frequência é superior à luz violeta. Tal faixa do espectro pode ser classificada em três tipos: Radiação Ultravioleta A (UVA), Radiação Ultravioleta B (UVB) e Radiação Ultravioleta C (UVC).

Okumo e Vilela [16] verificaram que fatores temporais, geográficos e meteorológicos afetam a irradiância espectral da radiação UV na superfície da Terra, na qual tais fatores são: horário do dia, estações do ano, latitude geográfica, altitude nuvens, reflexão na superfície e ozônio.

Os raios UVA têm comprimento de onda de 320 a 360 nm, possuem maior incidência na superfície terrestre durante todo o dia e em todas as estações do ano, não sendo absorvidos pela camada de ozônio, incluindo dias nublados ou com baixa luminosidade e correspondem à maior porção do espectro ultravioleta. Os raios UVB, com comprimento de onda na faixa de 280 a 320 nm, são parcialmente absorvidos pela camada de ozônio, apresentam maior incidência durante o verão, principalmente, no horário das 10h às 16h, em regiões de altitudes elevadas e próximas à linha do Equador. Em relação aos raios UVC, esses apresentam um comprimento de onda menor que 280 nm, portanto, sendo a radiação que menos se aproxima da luz visível. São muito nocivos à biosfera, porém pouco acometem a Terra porque são quase totalmente absorvidos pela camada de ozônio.

Para Correia [17] o estudo dos raios UV é muito importante, pois não se limita a somente às ciências atmosféricas, mas também a outras áreas como ciências biomédicas e sociais. Em que, em seus estudos ele afirma que os raios UVA e UVB são prejudiciais à saúde humana. Sendo os raios UVA sendo os causadores principais do envelhecimento precoce, os UVB provocam vermelhidão da pele e queimaduras, sendo que a superexposição pode levar ao surgimento de sardas, aumentar o risco de câncer de pele, causam danos aos olhos, podendo acarretar probabilidade de catarata e/ou cegueira. Entretanto a vitamina D, que é muito importante ao metabolismo de cálcio e do fosforo, é sintetizada pela pele por meio de exposição aos raios ultravioleta. A Organização Mundial da Saúde (OMS) [18] classifica-os em 5 categorias (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação do índice de UV.

Categoria	Índice ultravioleta
Baixo	< 2
Moderado	3 a 5
Alto	6 a 7
Muito alto	8 a 10
Extremo	> 11

Fonte: Tabela adaptada da Organização Mundial de Saúde [18].

No mercado possui vários dispositivos e sensores que podem realizar as leituras das ondas eletromagnéticas, que neste caso pode-se destacar os sensores digitais de UV, que em sua maioria possuem um amplificador interno, que converte fotocorrente em tensão, dependendo da intensidade da UV.

3.3.5 Vento

Segundo Steinke [6] o vento é o deslocamento do ar atmosférico, resultado de diferenças de pressão e temperatura da superfície terrestre, que interfere na sua direção e velocidade, deslocando massas de umidade de ar quente ou ar frio.

Para Pereira, Angelocci e Sentelhas [19], os ventos são deslocamentos de ar no sentido horizontal, originários de gradientes de pressão, na qual sua intensidade e direção são determinados pela variação espacial e temporal do balanço de energia na superfície terrestre, que causa variações no campo de pressão atmosférica, gerando os ventos. O vento se desloca de áreas de maior pressão (áreas mais frias) para aquelas de menor pressão (áreas mais quentes), e quanto maior a diferença entre as pressões dessas áreas, maior será a velocidade de deslocamento.

Em relação a mensuração da velocidade e direção do vento a Organização Mundial de Meteorologia [7] afirma que a velocidade deve ser relatada com uma resolução mínima de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, com intervalos de leitura em média de 10 min, já em relação a direção do vento, deve ser relatada em graus, e deve apresentar uma média entre os intervalos de leitura de 10 min, para fins de observações aeronáuticas este tempo médio é de 2 min. A direção do vento é definida como a direção de deslocamento do vento, no sentido horário, em relação ao norte geográfico, ou seja, norte verdadeiro.

A velocidade do vento também pode ser caracterizada e dividida em escalas. O meteorologista anglo-irlandês Francis Beaufort em meados do século XIX, a partir de caracterizações empíricas (pela vivência e observação) dividiu em escalas as intensidades dos ventos, estudo este levando em consideração características em terra e mar. Essa escala é utilizada pela Organização Mundial de Meteorologia [7] até os dias atuais para caracterizar os efeitos dos ventos e sua influência (Tabela 2).

Tabela 2: Escala de Beaufort – Intensidade dos ventos.

Escala	Descrição	Velocidade (m s ⁻¹)	Efeitos em terra
0	Calmo	<0,3	Fumaça sobe na vertical
1	Aragem	0,3 a 1,5	Fumaça indica direção do vento
2	Brisa leve	1,6 a 3,3	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	Brisa fraca	3,4 a 5,4	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	Brisa forte	8 a 10,7	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	10,8 a 13,8	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda-chuva aberto; assobio em fios de postes
7	Vento forte	13,9 a 17,1	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	Ventania	17,2 a 20,7	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento
9	Ventania forte	20,8 a 24,4	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	Tempestade	24,5 a 28,4	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções
11	Tempestade violenta	28,5 a 32,6	Estragos generalizados em construções
12	Furacão	>32,7	Estragos graves e generalizados em construções

Fonte: Tabela adaptada do Guia de Instrumentos Meteorológicos e Métodos de Observação da Organização Mundial de Meteorologia de 2008 página 123 [7].

Para a mensuração da velocidade e direção do vento utilizam-se equipamentos denominados de anemômetros. No mercado existem vários modelos de anemômetros para a medição da velocidade do vento, sendo o mais utilizado, o modelo de canecas, que tem três ou quatro canecas em volta de um pole vertical, fixado geralmente em um mastro para a melhor captação dos ventos (Figura 7). A leitura de velocidade ocorre pelo número de rotações por minuto (RPM), que a partir de cálculos matemáticos, podem ser convertidos em metros por segundos (m s⁻¹), quilômetros por hora (km h⁻¹), entre outras medidas.



Figura 7: Anemômetro de Canecas.

Fonte: http://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/158525-8485837.jpg [20]

A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento origina-se. Varejão-Silva [13] explica que a direção é expressada em termos do azimute, isto é, do ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico (0°), medido no mesmo sentido horário (Figura 8).



Figura 8: Sensor de direção do vento.

Fonte: http://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/158525-8485877.jpg [20]

O funcionamento do sensor de direção do vento tem como princípio o reed switch (dispositivos que funcionam como interruptores de liga/desliga, acionados por campos magnéticos produzidos por ímãs ou eletroímãs dele aproximados), na qual é montada uma base circular com tais componentes, onde ao passar pelo eixo, este ímã, é chaveado para central um sinal elétrico da posição da “seta” indicando a direção.

3.3.6 Precipitação Pluvial

A Organização Mundial de Meteorologia [7] define precipitação como os produtos líquidos ou sólidos da condensação de vapor de água que cai das nuvens ou depositados do ar ao solo, incluindo chuva, granizo, neve, orvalho, geada e nevoeiro. A quantidade total de precipitação que atinge o solo em um determinado período é expressa em termos da altura vertical da água (ou água equivalente no caso de formas sólidas) à qual cobriria uma projeção horizontal da superfície da Terra. Ela é uma parte importante do ciclo hidrológico, que é responsável por retornar a maior parte de água doce ao planeta, sendo a principal fonte de abastecimento dos sistemas hídricos, representando uma variável climática importante para todos os ecossistemas.

Neste mesmo contexto a Steinke [6] afirma que a precipitação é a queda de água ou gelo das nuvens, quando a resistência do ar é vencida pelo peso dos hidrometeoros (conjunto de partículas de água, líquidas ou sólidas) que compõem a nuvem.

Referente a sua mensuração a unidade de precipitação, segundo a Organização Mundial de Meteorologia [7], é a de profundidade linear, geralmente expressa em milímetros (volume/área) para precipitação líquida, enquanto as medições de queda de neve são feitas em unidades de centímetros e décimos.

O instrumento mais comum utilizado na mensuração da precipitação é o pluviômetro. No mercado há modelos convencionais e digitais, onde os convencionais consistem em um recipiente de forma cilíndrica exposto ao ar livre, indicando a quantidade precipitada em mililitros (mm), que corresponde a precipitação em litros de água por metro quadrado de superfície. A Figura 9 representa um Pluviômetro do modelo Ville de Paris considerado como modelo padrão pela Organização Mundial de Meteorologia [7].



Figura 9: Pluviômetro - Modelo Ville Paris.

Fonte: <http://noosfero.ucsal.br/articles/0008/4306/img-20160721-wa0010.jpg> [21]

Para Tubelis e Nascimento [22] está profundidade linear, é determinada pela medida do volume de água captado por uma superfície horizontal de área conhecida, através da equação 05:

$$h = \frac{V}{A} \quad \text{Equação (07)}$$

, sendo:

h – altura de precipitação (mm);

V – volume de água captada (L);

A – área de superfície coletora (m²);

O pluviômetro automático mais comum é o pluviômetro de balança, que funciona com pulsos eletrônicos (Figura 10). No pluviômetro automático de balança, o funil (A) capta o volume de água e converge para uma gangorra/báscula dotada de pequenos reservatórios (normalmente com capacidade de 0,25 mm) (B). Ao completar o reservatório a balança tomba de um lado para o outro, descartando a água coletada nos orifícios (E). Esse movimento aciona um reed switch (C) a partir de um ímã (D), emitindo um pulso eletrônico que será registrado pela central, em que cada pulso corresponderá a 0,25 mm de precipitação.

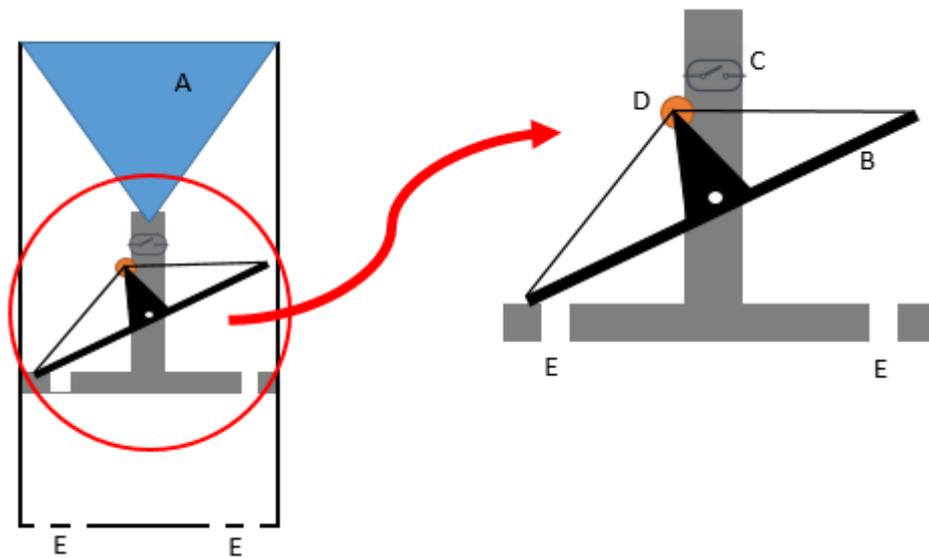


Figura 10: Pluviômetro - Modelo Automático.

A partir do estudo da precipitação e com o auxílio de instrumentos, como no caso o pluviômetro, é possível obter outras variáveis importantes, sendo a duração, intensidade e frequência das precipitações.

A duração é o intervalo de tempo contado desde o início até o final da precipitação, sendo expressada em horas (h) ou minutos (min), indispensável para determinação da intensidade de precipitação, que é expressada, geralmente em mm h^{-1} ou mm min^{-1} . Este é um dos parâmetros mais importantes no estudo da hidrologia, sendo indispensável para determinação correta do hidrograma de uma bacia hidrográfica e estudos em desastres naturais.

O conhecimento das características das precipitações apresenta grande interesse de ordem técnica por sua frequente aplicação nos projetos hidráulicos. Para tanto a frequência de precipitação é uma estimativa da probabilidade, de um modo geral, é a associação da intensidade com a sua frequência de ocorrência. Para isso analisam-se estatisticamente as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram cada magnitude. Em seguida, pode-se avaliar as probabilidades teóricas, que são fundamentais para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, previsibilidade de enchentes, entre outras aplicações.

3.4 Informática no monitoramento climático

Nas últimas décadas, com o desenvolvimento significativo da informática e a criação de tecnologias físicas e lógicas de aprimoramento, foi possível melhorar cada vez o poder computacional com hardwares mais compactos, em um processo contínuo.

O uso de modelos numéricos de previsão do tempo e do clima permitiram um ganho significativo com o aprimoramento da informática. Computadores e sistemas podem analisar uma grande quantidade e variedade de dados, disponibilizando-os em mapas, fenômenos atmosféricos em curto espaço de tempo, entrelaçamento de dados históricos para melhores previsões futuras. Porém, é preciso reforçar que a participação de mão de obra especializada é fundamental para que a eficiência dos sistemas seja alcançada.

Por se tratar de uma área muito importante para a sociedade, pois abrange a gestão de recursos hídricos, produção agrícola, energéticos, planejamento do espaço aéreo, da defesa civil, controle de pragas, doenças e epidemias. Assim foram surgindo empresas e órgãos especializados no assunto.

A Organização Mundial de Meteorologia [7] trata sobre a padronização e coleta das variáveis meteorológicas, visando a sua utilização para a preparação em tempo real de análises meteorológicas, previsões e condições meteorológicas severas, para o estudo do clima, para locais dependentes do clima para operações (por exemplo em aeródromos, construção em terra e em mar, entre outros), para hidrologia e meteorologia agrícola, e para pesquisa em meteorologia e climatologia.

No Brasil existem diversos órgãos públicos e privados especializados na previsão do tempo, dentre os quais pode-se destacar o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE, 2019) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) em nível federal e o Centro de Meteorologia de Bauru – IPMet e Centro Integrado de Pesquisas Agrometeorológicas – CIIAGRO (IAC, 2019), em nível estadual. Os dois primeiros órgãos federais e o terceiro órgão estadual com características de disponibilização de previsão do tempo e dados meteorológicos em tempo real, enquanto o quarto órgão estadual com uma finalidade de disponibilização de dados agroclimáticos para o suporte na produção agrícola (Figura 11).

The figure displays four screenshots of meteorological websites:

- www.cptec.inpe.br/**: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Shows a forecast for Fernandoópolis/SP with a 24-hour forecast and a map of Brazil with active meteorological alerts.
- http://www.inmet.gov.br/portal/**: Instituto Nacional de Meteorologia. Features a satellite precipitation map of South America and a city-specific forecast for Brasília-DF showing a high of 17°C and a low of 28°C.
- https://www.ipmet.unesp.br/index.php**: Instituto de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Produção. Displays weather conditions for Estação Bauru, including temperature (32.8°C), humidity (27%), and wind (3.0 km/h NE).
- http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciagroonline/**: Centro de Informações Integradas de Apoio à Gestão Agrícola. Provides a 'Balanco Hídrico' table and a 'Resenha Agrometeorológica' table with various data series and graphical options.

Figura 11: Quadro de exemplos de órgãos federais e estaduais que utilizam sistemas informatizados para a disponibilização de dados meteorológicos e climáticos.

O status atual dos monitoramentos e disponibilização de dados meteorológicos e climáticos demonstram como o desenvolvimento de softwares e hardwares são importantes para o desenvolvimento sustentável da humanidade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e período

O SysClimate foi desenvolvido na Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis, entre o período de 20 de julho de 2017 a 15 de abril de 2019, na qual vários protótipos de estações meteorológicas automáticas foram desenvolvidos e aprimorados até a versão final. A versão final da primeira estação do SysClimate foi instalada dentro da Fazenda de Ensino e Pesquisa (Fazenda Santa Rita) da Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis, nas coordenadas 20°17'54,13" Sul e 50°16'56,51" Oeste (Figura 12).

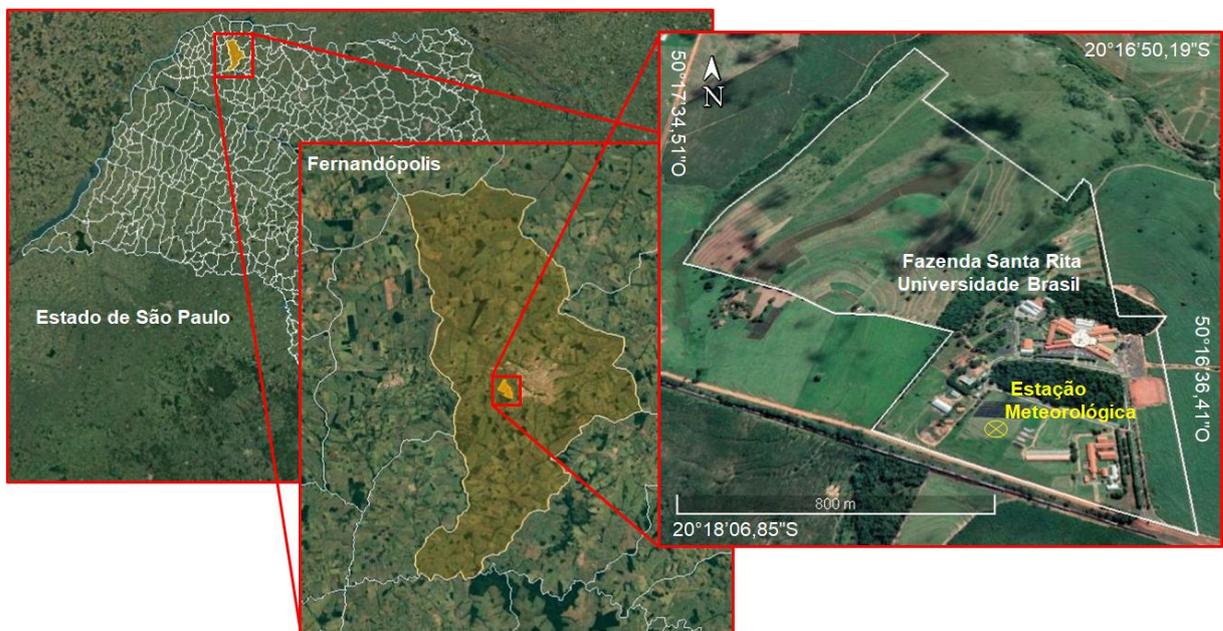


Figura 12: Localização da primeira estação meteorológica automática do SysClimate.
Fonte: Alterado de Google Earth (20/08/2019) [23].

4.2 Funcionamento geral

O princípio de funcionamento do SysClimate pode ser dividido em 4 etapas (1-Coleta e armazenamento local de dados, 2-Integração em *cloud*, 3-Tratamento e disponibilização na internet e 4-Acesso dos usuários), conforme apresentado no diagrama da Figura 13.

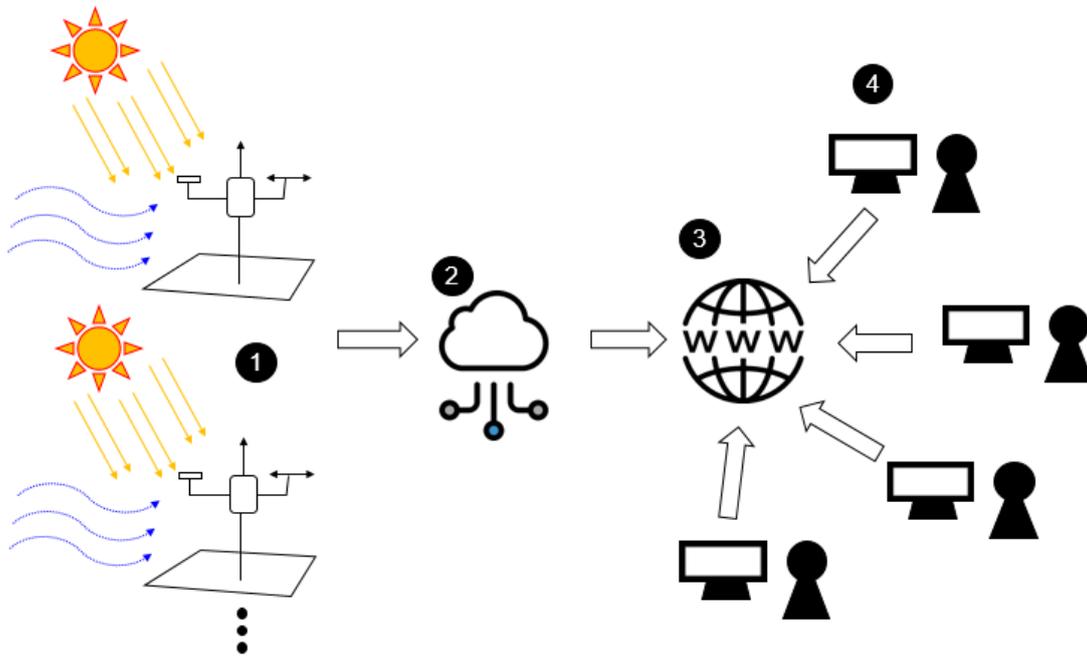


Figura 13: Esquema de funcionamento – SysClimate, sendo 1-Coleta e armazenamento local de dados, 2-Integração em *cloud*, 3-Tratamento e disponibilização na internet e 4- Acesso dos usuários

A coleta das variáveis meteorológicas (Figura 13, etapa 1) como temperatura, umidade, pressão, precipitação e índice uv. é realizada por sensores eletrônicos instalados em uma estrutura física, sendo está denominada estação meteorológica automática. Todos os dados coletados são armazenados localmente não necessitando de nenhuma interação externa.

Em seguida, os dados climáticos são integrados com a estrutura *cloud* (Figura 13, etapa 2), que consiste em tecnologia que permite o acesso remoto, em qualquer parte do mundo e a qualquer hora, de softwares de armazenamento ou processamento de dados pela internet. Nesta fase, foram programadas rotinas acionadas automaticamente, em intervalos de tempo pré-definidos, para realizar os cálculos aritméticos das variáveis e a sincronização dos resultados obtidos com uma base de dados localizada em *cloud*.

Após realizadas as sincronizações, os dados brutos são tratados (Figura 13, etapa 3) através de scripts programados para disponibilizar os dados na internet de forma mais amigável ao usuário (tabelas, relatórios e gráficos).

Realizada a disponibilização amigável de dados climáticos, os usuários podem acessá-los (Figura 13, etapa 4) de forma interativa, permitindo um certo nível de edição da obtenção dos dados na forma numérica ou gráfica. O acesso é permitido em dois níveis: o de acesso livre e o de acesso restrito.

4.3 Hardwares e estrutura física

Os hardwares utilizados no SysClimate podem ser divididos de acordo com o local de onde estão instalados no sistema e função que desempenham. De acordo com o local, podem estar na (I) estação meteorológica automática ou (II) na estação de controle. De acordo com a função dos hardwares utilizados, se dividem em: (a) coleta de dados, (b) processamento de dados, (c) armazenamento de dados, (d) transmissão de dados e (e) disponibilização de dados.

Na (I) estação meteorológica automática os componentes físicos e hardwares utilizados estão descritos na Figura 14.

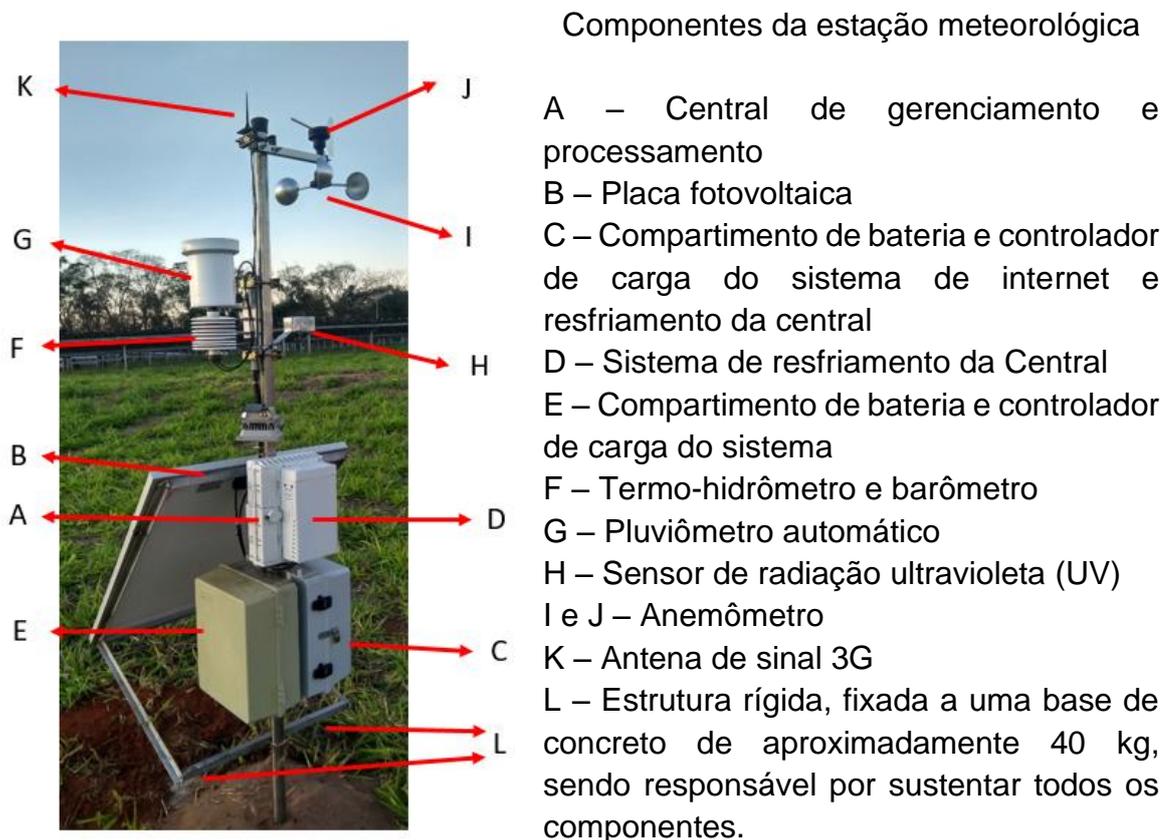


Figura 14: Estação Meteorológica.

Na coleta de dados (a), fazem parte deste grupo os sensores termohigrômetro, pluviômetro, sensor de radiação ultravioleta e anemômetro. Integrados a eles temos os controladores e microprocessadores responsáveis por gerenciar as coletas (b). Os

dados obtidos das coletas são armazenados em cartão de memória (c), este localizado no microprocessador central.

Nos últimos anos houve grande avanço tecnológico nos circuitos integrados bem como a comunicação sem fio. Sendo assim, como um dos pontos do SysClimate é acessar as informações de qualquer local ou região que tenha conexão com a internet de maneira ágil e dinâmica (e), o mesmo possui um sistema de tráfego de dados via modem 3G (d) para alimentar a base de dados web (o fluxo da informação é sempre da estação meteorologia para a web).

Atualmente no mercado há diversas versões de *Dataloggers* de estações meteorológicas automáticas. Entretanto, seus custos para aquisição e manutenção, em relação a reposição de peças, ainda são elevados, por serem tecnologias de *hardwares* e *softwares* fechadas. Na Figura 15 está apresentado o compartimento central da estação meteorológica automática, abrigando os microprocessadores Raspberry e Arduino e a integração entre eles com os sensores externos, assim constituindo nosso *Datalogger*, conforme segue:

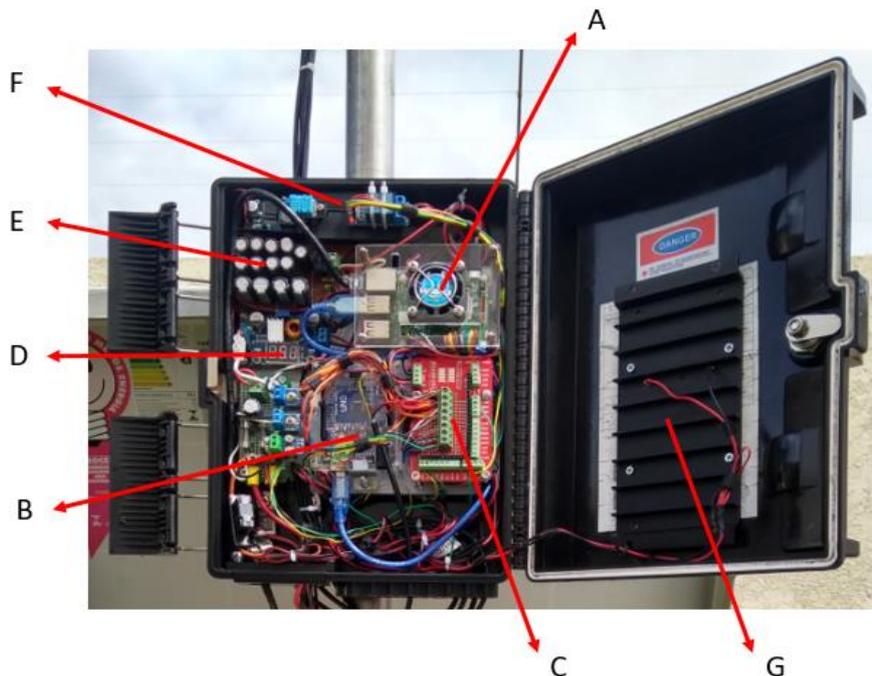


Figura 15: Datalogger - Estação Meteorológica.

A – Microprocessador Raspberry com cooler de ventilação instalado.

B – Microprocessador Arduino.

C – Placa Protoboard que realiza as ligações entre os sensores internos e externos com os microprocessadores.

- D – Controlador de carga de 5V / 5 amperes.
- E – Estabilizador de energia com capacitores.
- F – Sensores do sistema de resfriamento interno.
- G – Placa de alumínio resfriada pelo sistema de refrigeração.

4.4 Softwares

Os *softwares* utilizados no SysClimate se classificam de acordo com sua função (a) coleta de dados, (b) processamento de dados, (c) armazenamento de dados, (d) transmissão de dados e (e) disponibilização de dados, podendo estar localizados na estação meteorológica ou no ambiente web.

Todos os *softwares* utilizados no projeto são livres e de código aberto (a), possibilitando assim um aprimoramento futuro dos algoritmos implementados. Para a coleta dos dados e sincronização das bases de dados foram utilizados os compiladores (*software* ou grupo de *softwares* que a partir de um código fonte escrito em alto nível é transcrito para linguagem de máquina para ser processada) das linguagens de programação Python e C (b e d). Para o armazenamento dos dados utilizou-se bases de dados relacional (c), sendo responsáveis por armazenar todos os dados do sistema seja na estação meteorológica ou na parte *web*. Em relação ao *software* que utilizamos para disponibilizar as informações para o usuário, é o compilador denominado Apache responsável por compilar códigos fontes na linguagem PHP.

4.5 Estação Meteorológica

A estação meteorológica desenvolvida para o SysClimate foi batizada com o nome de OPWether, nome este escolhido para representar uma opção (OP) no monitoramento climático (Wether).

Todo seu desenvolvimento foi voltado para atender as características de custo x benefício, flexibilidade, usabilidade, manutenção e acessibilidade. Chegando assim em uma solução para substituição das estações automáticas atualmente disponíveis no mercado que são de alto custo.

5 APRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - OPWether

A construção da estação meteorológica automática, para a execução do SysClimate, teve como princípio de concepção, a utilização de tecnologias de baixo custo e ampla disponibilidade no mercado. Neste princípio, os hardwares e outros elementos físicos teriam que ser de fácil aquisição e de simples construção. Todas as linguagens de programação aqui utilizadas são *open source* (*software* de código aberto que pode ser adaptado para diferentes fins).

A concepção também foi orientada no princípio da "Internet das Coisas", em que uma rede de objetos físicos, veículos, prédios e outros que possuem tecnologia embarcada, sensores e conexão com a rede (internet) e é capaz de coletar e transmitir seus próprios dados. Este conceito emergiu de diversos avanços que surgiram nas áreas da microeletrônica, comunicação, sensoriamento e sistemas embarcados.

Deste modo, foi possível construir um equipamento com múltiplas possibilidades de manuseio e versátil nas parametrizações, principalmente no que se diz respeito às políticas de coletas de variáveis climáticas, podendo essas serem programadas com inúmeros algoritmos e escalas de coletas diferentes, sendo que todos os dados podem ser acessados de forma simples e amigável via Internet.

Para controle da estação meteorológica, utilizou-se o sistema operacional Raspibian (NOOBS), na qual Upton e Halfacree [24] descreve como sendo uma variação da popular distribuição de Linux Debian e Linux um projeto de código aberto originalmente criado para produzir um *kernel* gratuito para qualquer usuário. O *kernel* é o núcleo do sistema operacional e manipula a comunicação entre usuário e o *hardware*.

5.1 Hardwares e estrutura física

5.1.1 Estação meteorológica automática

a) Coleta de dados

Para coletar os dados de temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado o Sensor DHT22, que permite mensurar a variação 0 a 100% de umidade relativa do ar (com

acurácia de 2 a 5%) e de -40 a 125°C na temperatura do ar (com acurácia de 0,5°C) (Figura 15).

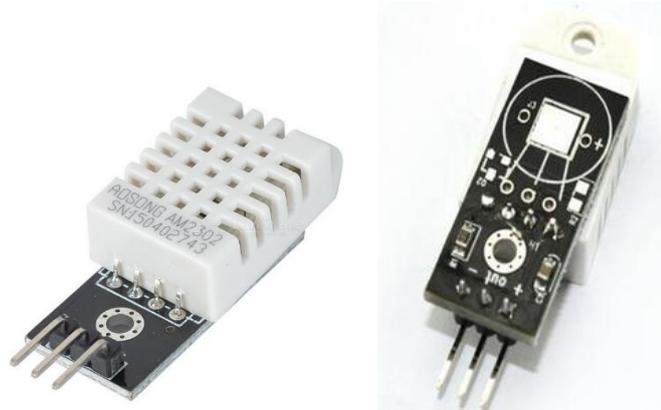


Figura 16: Sensor DHT22.

No caso do sensor de pressão, foi utilizado o modelo BMP180 (Figura 16), que possui uma faixa de leitura entre 300 à 1100 hPa (Altitude +9000m a -500m) com uma acurácia de 0,06 hPa (Altitude 50cm). Mesmo podendo medir a temperatura, o sensor BMP180 tem como objetivo principal medir a pressão atmosférica e baseado nesses dados, pode determinar com precisão a altitude de um ambiente.

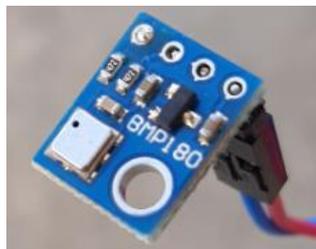


Figura 17: Sensor BMP180.

Os sensores de temperatura, umidade e pressão foram acondicionados em abrigo montado em alumínio, pintado com tinta epox branco, diâmetro do tubo central de 31,5 mm, diâmetro das aletas de 120 mm, com espaçamento entre as aletas de 15 mm. Todo este conjunto ficou com 165 mm de altura (Figura 17), na qual este protege da luz do Sol de incidir diretamente sobre os sensores, conforme padrão meteorológico.



Figura 18: Abrigo de sensores de temperatura, umidade e pressão.

Para medir o índice de radiação ultravioleta (UV) foi utilizado o sensor UVM-30A, que pode detectar radiação UV com tamanho de ondas entre 200-370 nm, com rápida resposta e gerenciamento analógico, com funcionamento normal em temperaturas que variam de -20° a $+85^{\circ}\text{C}$ e acurácia de ± 1 UV Index (Figura 18).



Figura 19: Sensor UVM-30A.

O sensor de índice UV foi alojado em abrigo com folhas de zinco de 0,4 mm e fixados com parafusos e arrebites com um orifício na parte superior (este protegido contra infiltração de água) (Figura 19).

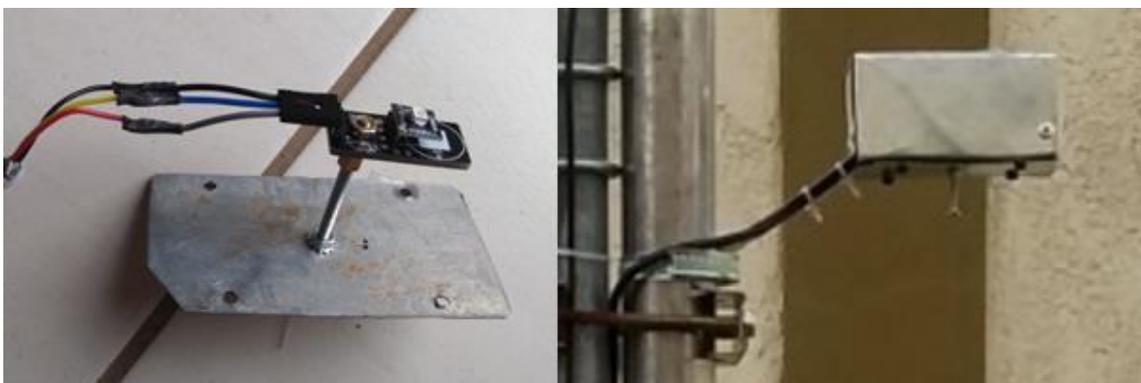


Figura 20: Abrigo do sensor de UV.

Para coletar os dados de velocidade e direção do vento, adquiriu-se as peças separadamente pela Internet e a montagem foi realizada artesanalmente (Figura 21)



Figura 21: Anemômetro e Biruta.

Na confecção do anemômetro foram utilizadas “canecas” em alumínio com 75 milímetros de diâmetro. Foi adicionado um eixo com rolamento lacrado (livre de manutenção e blindado contra infiltração) com diâmetro de 300 milímetros, que permite a coleta das informações, adicionando-se ao sistema, um sensor magnético também lacrado. Com este conjunto foi possível suportar altas velocidades, tais podendo ultrapassar os 130 km h^{-1} e manter alta sensibilidade com início de sua operação com ventos de $0,9 \text{ km h}^{-1}$. O sensor de direção do vento foi confeccionado em alumínio, com eixo de 250 mm, sendo adicionado um sensor resistivo, com giro de 360° e alta sensibilidade, permitindo mensurar ângulos de 0° a 360° . Para a fixação desta estrutura à haste central da estação meteorológica foi utilizado um suporte de alumínio de 260 milímetros de comprimento, fixado a abraçadeiras de formato U de duas polegadas (50,8 milímetros). Toda a estrutura é resistente às intempéries.

Para a coleta dos valores da precipitação foi utilizado um pluviômetro automático de báscula, montado em abrigo de alumínio pintado com tinta epóxi branca, oferecendo assim uma grande durabilidade e proteção contra intempéries. Tal equipamento/sensor foi acoplado na estrutura central da estação meteorológica através de abraçadeiras do tipo U de duas polegadas (50,8 milímetros), conforme observado na Figura 22.



Figura 22: Pluviômetro automático de báscula.

Possui sensor *reed switch* (chave magnética que funciona por campo magnético, fechando os contatos internos quando aproximamos um ímã do sensor) de alta qualidade e possui esvaziamento automático a cada leitura. Com um coletor de 147 milímetros de diâmetro e altura de 160 milímetros, possui sensibilidade de leitura de 0,25 milímetros por metro quadrado. Para um posicionamento correto do equipamento, possui um nível de bolha em sua base.

b) Processamento e armazenamento de dados

Para o processamento das informações foi utilizado o Raspberry Pi 3 B+ como controlador principal (Figura 23). A versão utilizada possui um processador de 1.4GHz 64-bit quad-core processor, suporte a *dual-band wireless LAN*, *Bluetooth 4.2/BLE*, porta *Ethernet*, para o armazenamento das informações e locação do sistema operacional foi acoplado um cartão de 32GB de Classe 10 (10 MB/s de velocidade de gravação sequencial mínima).



Figura 23: Raspberry Pi 3 B+.

O microprocessador possui uma interface gráfica que pode ser acessada diretamente com a conexão de um monitor HDMI, além de outros itens. O *hardware* é um microcomputador robusto principalmente pelo seu tamanho pequeno e baixo consumo de energia.

O equipamento pode ser acessado via conexão SSH (*Secure Shell*, protocolo de rede criptográfico para operação de serviços de rede de forma segura sobre uma rede insegura - muito utilizado para acesso a plataformas Linux) ou ser acessado via protocolo RDP (*Remote Desktop Protocol*, acesso a informação e programas em um computador remoto através de uma ligação de rede).

Para uma interação melhor com os sensores foi atrelado ao Raspberry Pi 3 B+ o controlador Arduino. Este, por sua vez, é um microcontrolador baseado no ATmega328 (*datasheet* - documento que resume o desempenho e outras características técnicas de um produto). Possui 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas (com estas entradas é possível acionar leds, motores, relês, fazer leitura de sensores e botões, entre outros), um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação uma conexão ICSP e um botão de reset (Figura 24).



Figura 24: Arduino UNO.

Foi acoplado ao Raspberry Pi 3 B+ uma placa *proto-board* compatível com seu modelo (Figura 24) para auxiliar nas manobras das GPIOs (*General Purpose Input/Output*), que é basicamente um conjunto de pinos responsável por fazer a comunicação de entrada e saída de sinais digitais ou analógicas. Ele é composto por 40 pinos no Raspberry Pi B+. Com estes pinos, assim como o Arduino, é possível acionar leds, motores, relês, fazer leitura de sensores e botões, entre outros.

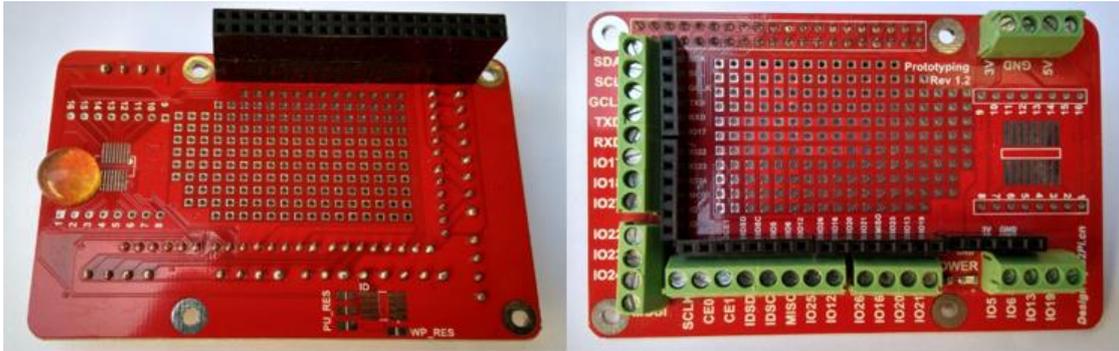


Figura 25: Placa Protoboard para Raspberry Pi 3 B+.

Toda a estrutura de processamento e armazenamento de dados foi alocada em um abrigo cuja as dimensões são 320 x 90 x 240 milímetros, representando respectivamente a altura, largura e comprimento. O compartimento foi projetado para ambientes externos, possuindo proteção contra raios UV. Como o compartimento é originalmente de cor preta, foi realizada uma pintura de tinta na cor branca fosca, para diminuir a temperatura em seu interior.

c) Transmissão/recepção de dados

A conexão com a Internet é realizada por um roteador Dlink modelo DWR-922 (Figura 25), que pode ser utilizado com as tecnologias de conexão 2G, 3G e 4G. O chip é instalado direto no aparelho, não necessitando de outros periféricos como modem. As conexões podem ser realizadas via cabo de rede RJ45 ou por wireless simultaneamente. Este equipamento foi escolhido porque além de apresentar estas características, possui duas antenas rosqueáveis, uma designada ao sinal de wireless e outra ao sinal de internet, o que possibilitou a adição de uma antena externa para a melhor captação de sinal.



Figura 26: Roteador 4G Dlink DWR-922.

Fonte: [http://files.dlink.com.au/Products/DWR-922/Images/DWR-922_A2_Image_H\(Front\).png](http://files.dlink.com.au/Products/DWR-922/Images/DWR-922_A2_Image_H(Front).png) [25]

O sistema de conexão com a internet foi alojado em abrigo hermético de cor clara com dimensões de 350 x 170 x 260 milímetros, para minimizar a temperatura em seu interior.

d) Outros componentes da estrutura física

O fornecimento de energia elétrica para a estação meteorológica automática é realizado por um sistema de baterias alimentadas por uma placa fotovoltaica de 95W, com uma tensão máxima de saída de 18,20 volts e corrente máxima de 5,23 amperes, montada em um esquadro de alumínio anodizado (Figura 26).



Figura 27: Painel Solar de 90W.

Sua estrutura de fixação foi construída de forma artesanal por intermédio de cantoneiras de 20 milímetros largura por 2 milímetros de espessura, fixadas a um tubo

de 2 polegadas (50,8 milímetros de diâmetro), sendo este responsável pela estrutura e sustentação de toda a estação meteorológica e seus componentes.

O sistema de baterias é composto de dois conjuntos acoplados à placa fotovoltaica, sendo um conjunto para suprir as demandas energéticas dos microprocessadores e o outra para alimentar o sistema de resfriamento dos equipamentos e conexão com a Internet.

Além das baterias de 18 amperes de 12 volts, cada conjunto também é composto por um controlador de carga, que regula a voltagem de entrada, evitando sobrecargas ou descargas excessivas e otimizando e prolongando a sua vida útil. O controlador de carga é necessário para evitar a alta variação de energia na alimentação das baterias, provocadas pelo aumento e diminuição de energia produzida na placa fotovoltaica (Figura 27).



Figura 28: Controladores de Carga e Bateria de 18Ah 12V.

Cada um dos conjuntos do sistema de baterias foi alojado em um abrigo hermético da cor clara, para minimizar a temperatura em seu interior, com dimensões de 350 x 170 x 260 milímetros, representando respectivamente a altura, largura e comprimento.

Como a estação funciona com componentes microprocessados, principalmente no caso do Raspberry PI B+, teve-se um cuidado em relação a um possível aumento de temperatura (que poderia danificá-lo) no local em que está alojado. Assim, foi desenvolvido um sistema de resfriamento baseado em pastilha peltier com dissipador de calor na parte externa do sistema (Figura 28).

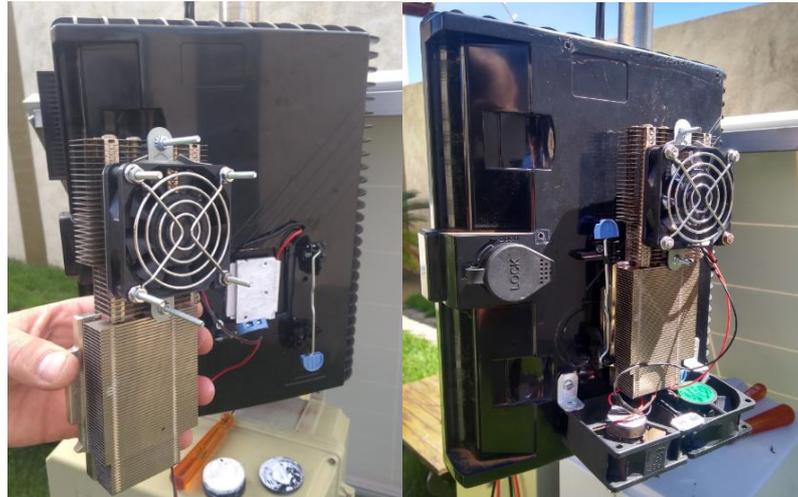


Figura 29: Sistema de Refrigeração Externo.

Para o acionamento deste sistema foi utilizada uma placa controladora com relê e outra placa com sensor de temperatura, ambos controlados pelo próprio Raspberry (Figura 29). Assim, caso a temperatura atinja um nível de alerta, o sistema será acionado.



Figura 30: Relê e sensor de Temperatura - Sistema de Refrigeração.

Para eixo central e sustentação de toda a estrutura utilizou-se um tubo de 2” polegadas (50,8 milímetros de diâmetro) com 2700 milímetros de comprimento e 2 milímetros de espessura (maior resistência quanto a envergaduras). Para a sustentação da estação, a base foi chumbada em um bloco de concreto de 0,020 m³, que após enterrada, permite uma sustentação segura, mesmo em situação de fortes ventos, como ilustrado na Figura 30.



Figura 31: Estrutura da Estação Meteorológica.

5.1.2 Estação de controle

A estação de controle pode ser constituída de um *notebook*, na qual este deve possuir uma configuração com processador de 32 bits (x86) ou 64 bits (x64) de 1 GHz ou superior, memória RAM de 2 GB ou superior, espaço livre em disco de 2GB ou superior, placa de rede sem fio no padrão IEEE 802.11 e placa de rede de 10/100 Mbps ou superior. Em relação ao sistema operacional do *notebook*, pode ser da família da Microsoft, começando pelo Windows 7 e versões superiores, e na família Linux com as versões homologadas do Debian, Cent-OS e Ubuntu.

Com relação a parte de coleta de dados (*backups*), para alterações de código fontes e manutenção no sistema operacional da estação meteorológica, é utilizada a rede de *wi-fi* da própria estação, na qual possui autenticação com nível de WPA2 (*Wi-Fi Protected Acces II*) para maior segurança, coibindo assim, um possível acesso de pessoas não autorizadas, sendo que, nesta rede também é possível a navegação na internet.

Toda a manutenção da estação meteorológica poderá ser realizada em até 50 m de sua localização, caso aconteça algum problema com a rede de *wi-fi* da estação. Assim, também é possível conectá-la fisicamente via cabeamento de par

metálico pela porta RJ45 do *notebook*, juntamente com o modulo de processamento principal, este no caso sendo o Raspberry Pi 3 B+.

5.2 Softwares e estrutura virtual

5.2.1 Estação meteorológica automática

Para o desenvolvimento e automação dos sensores da estação meteorológica foram utilizadas várias linguagens de programação e *softwares* para seu funcionamento. Para ambiente local da estação utilizou-se o Python, o MySQL e C, enquanto na parte de *Cloud* (serviço de nuvem – hospedagem de site) foram o PHP, MySQL e Apache. Entretanto, independente do ambiente, todos são *open source*.

Em relação as linguagens de programação utilizadas na estação, o Python, que é uma linguagem de programação dinâmica, interpretada, robusta, multiplataforma, multi-paradigma (orientação à objetos, funcional, refletiva e imperativa), foi utilizada para coletar todas as informações dos sensores, e também para a programação dos scripts que realizam a sincronização de dados com a parte de *cloud*. A utilização da linguagem C foi para realizar a interligação dos sensores de UV e direção do vento que estão vinculados ao arduino, este que tem uma integração com a plataforma do Raspberry Pi 3 B+ via cabo USB.

Quanto a armazenagem e organização dos dados utilizou-se o MySQL em ambos os ambientes, na qual é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês *Structured Query Language*) como interface. O MySQL, atualmente, é um dos bancos de dados mais populares nas aplicações *web*.

Na plataforma web foi utilizada a linguagem PHP, na qual é uma linguagem de programação dinâmica, interpretada, robusta, multiplataforma, multi-paradigma (orientação à objetos, funcional, refletiva e imperativa) para criação do portal e disponibilização dos dados obtidos pela estação meteorológica. Seu funcionamento é realizado a partir de um servidor Apache que interpreta todos os scripts da linguagem PHP.

Quanto a volumetria dos armazenamentos, utilizou-se na parte de *cloud*, 15MB de arquivos e um banco de dados com 1MB inicial, com uma taxa de crescimento de 2,5MB ao mês por estação meteorológica adicionada. Na parte da

estação meteorológica, utilizou-se 1,3MB em relação aos scripts de automação dos sensores e sincronizações para a web, e em relação ao banco de dados com 1MB inicial com uma taxa de crescimento de 4,3MB ao mês.

5.2.2 Estação de controle

Para a comunicação, programação, diagnósticos, entre outros itens da estação de controle da estação meteorológica foram utilizados os *softwares* FileZilla, PuTTY, NotePad++, MySQL Query Browser e Arduino IDE, sendo todos *open source*.

Como uma das necessidades é a movimentação de arquivos entre as plataformas seja ela local (estação meteorológica) ou em *Cloud*, utilizou-se o *software* FileZilla, na qual é um cliente FTP, FTPS e SFTP simplificado e multiplataforma com diferentes recursos, que neste caso, foi utilizado para upload de arquivos.

A verificação dos serviços que estão em operação na estação meteorológica, tais como logs de eventos, diagnósticos, entre outros, é de suma importância para seu bom funcionamento. Sendo assim, utilizou-se o *software* Putty destinado ao acesso remoto a servidores via *shell* (linha de comando), na qual toda transmissão de dados é criptografada, tornando a utilização viável e segura.

Uma solução muito conhecida no âmbito dos programadores para diversas linguagens é o *software* NotePad++, na qual é editor de texto e de código fonte, com suporte a várias linguagens de programação, em que neste caso, foi utilizado para desenvolvimento de *scripts* na linguagem Python e PHP.

No SysClimate foi implementada a solução de banco de dados MySQL, tanto para a estação meteorológica como na parte *web* (portal). Assim, surgiu a necessidade de um *software* para realizar o gerenciamento de ambos, em que foi utilizado o MySQL Query Browser, pois este apresenta algumas características como o armazenamento das configurações de conexão dos bancos de dados MySQL, janela de consulta as tabelas, área de resultados, editor de *scripts*, *backups*, *restores* entre outros itens. Esta ferramenta, por apresentar tais características, se mostra uma poderosa plataforma no gerenciamento de banco de dados de forma simples, rápida e objetiva.

Para criar e carregar os *scripts* na linguagem C, que são responsáveis por realizarem a integração do Arduino com o Raspberry Pi 3 B+, utilizou-se o Arduino IDE.

5.3 Metodologia de disponibilização dos dados

Na concepção da estação meteorológica foi utilizado diversos ambientes e plataformas como Raspberry Pi 3 B+, Arduino e ambiente *Cloud*. Também foram utilizadas várias linguagens de programação para interagir entre estes diferentes meios, tudo para garantir o bom funcionamento do sistema.

O sistema central SysClimate, na qual disponibiliza os dados aos usuários foi concebido em uma plataforma *web*, em que sua escolha teve como princípio as características de acessibilidade, instalação, atualização, usabilidade, estabilidade e custo x benefício.

Com relação a acessibilidade, um sistema *Web* é necessário apenas um local que tenha acesso à internet. Dessa forma, o usuário pode ter acesso à plataforma de qualquer lugar, sem a necessidade de estar fisicamente no local. O acesso é realizado por um navegador, no qual, os mais populares são o Firefox, Chrome, Internet Explorer, Safari, dentre outros.

Como é necessário somente de um navegador e internet para seu acesso, sua instalação é muito simples, somente bastando acessar a URL de hospedagem do sistema (<https://sysclimate.com.br>). A atualização do sistema também é simples, basta fazê-lo uma única vez no servidor *web*, que todos os computadores que estão acessando-o estarão atualizados, economizando tempo.

Por ser uma plataforma aberta de consulta a todos os interessados, a questão de usabilidade não poderia ser desconsiderada, sendo, para isso, desenvolvidas telas de fácil navegação e disposição dos dados de forma objetiva.

No quesito de estabilidade, os servidores *web* possuem rotinas de backups, redundância de *hardware* e *software*, todas automatizadas, garantindo a máxima manutenção do sistema online.

Dentre todos estes itens apresentados, o sistema SysClimate, por ser uma aplicação *web* apresenta um ótimo custo x benefício, além de ser uma plataforma que pode ser acessada em nível mundial.

Neste momento, o SysClimate se consolida com uma única estação meteorológica automática. Mas toda sua estrutura de banco de dados e modelos de sincronização foram projetados para o funcionamento com múltiplas estações meteorológicas automáticas (Figura 31).

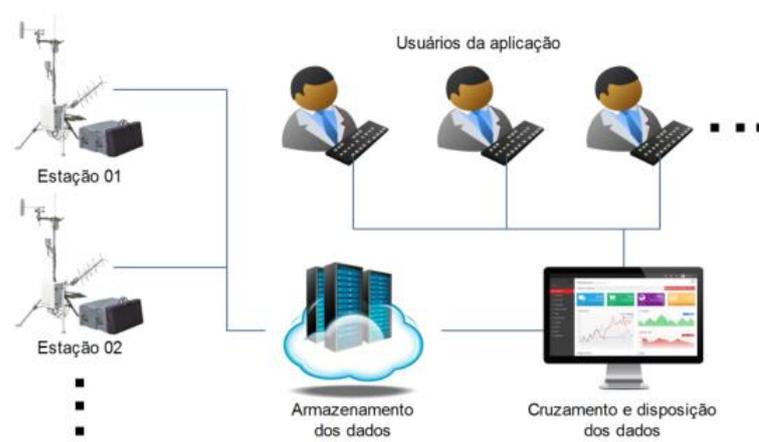


Figura 32: Diagrama de Funcionamento.

A ideia é que várias estações meteorológicas automáticas possam ser agregadas ao SysClimate, permitindo seu uso para diferentes usuários, aplicações e regiões de Fernandópolis, Estado de São Paulo e do Brasil.

6. SYSCLIMATE – SISTEMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO

6.1 Monitoramento climático

O SysClimate foi projetado para receber uma grande massa de dados de várias estações meteorológicas automáticas e organizando-os ao mesmo tempo, além da disponibilização destes dados em tempo real para os usuários da *web*.

Para interação das estações meteorológicas com a parte *web*, foram estabelecidos alguns intervalos de tempo para a coleta e sincronização das variáveis climáticas e informações (Tabela 3).

Tabela 3: Tempos de sincronização da estação Meteorológica com o SysClimate.

Item Monitorado	Coleta de	Sincronização	Tipo de sincronização
	Informações	(intervalo - minutos)	
Equipamento	10	30	íntegra
Pressão atmosférica	2	10	média aritmética
Temperatura do ar	2	10	média aritmética
Umidade relativa do ar	2	10	média aritmética
Índice UV	5	15	íntegra
Precipitação	Em tempo real	15	íntegra
Velocidade do vento	10	20	íntegra
Direção do vento	6	15	íntegra

Conforme Tabela 3, observa-se que as coletas realizadas na estação meteorológica variam de 2 a 10 minutos e sincronizações com o servidor *web* que variam de 10 a 30 minutos, em que estas podem ser de modelo “íntegra” ou “média aritmética”. No caso de sincronização “íntegra” todos os dados coletados são transmitidos em sua totalidade para o servidor *web*, enquanto no modelo “média aritmética”, os dados encontrados dentro do bloco de 10 minutos (5 leituras) são realizados a média, e sendo está sincronizada com o ambiente *web*.

6.2 Homepage

Sistemas *web* são soluções que podem ser desenvolvidos para tornar processos mais simples, rápidos, eficazes e disponibilização de informação mais ágil aos usuários, além de ser de fácil sua disseminação, neste sentido foi criado um portal *web* com o nome de SysClimate que pode ser acessado pela URL <https://sysclimate.com.br>,

conforme tela inicial demonstrada na Figura 33. Logo na primeira tela o usuário seleciona a estação meteorológica de interesse, para a visualização dos respectivos dados.

Foi utilizada esta tecnologia para que o usuário final não se preocupasse de onde acessar o SysClimate, apenas precisando de um local que tenha acesso à internet, pois o mesmo integra-se as plataformas de sistemas operacionais atualmente existentes como Linux, Windows, Mac Os, Android, Solaris, entre outros.

O sistema foi desenvolvido buscando a facilidade de navegação pelo usuário, simplicidade na busca dos dados, na relevância das informações em cada tela, sempre mantendo a consistência das informações e por fim, tendo um tempo de resposta rápido.

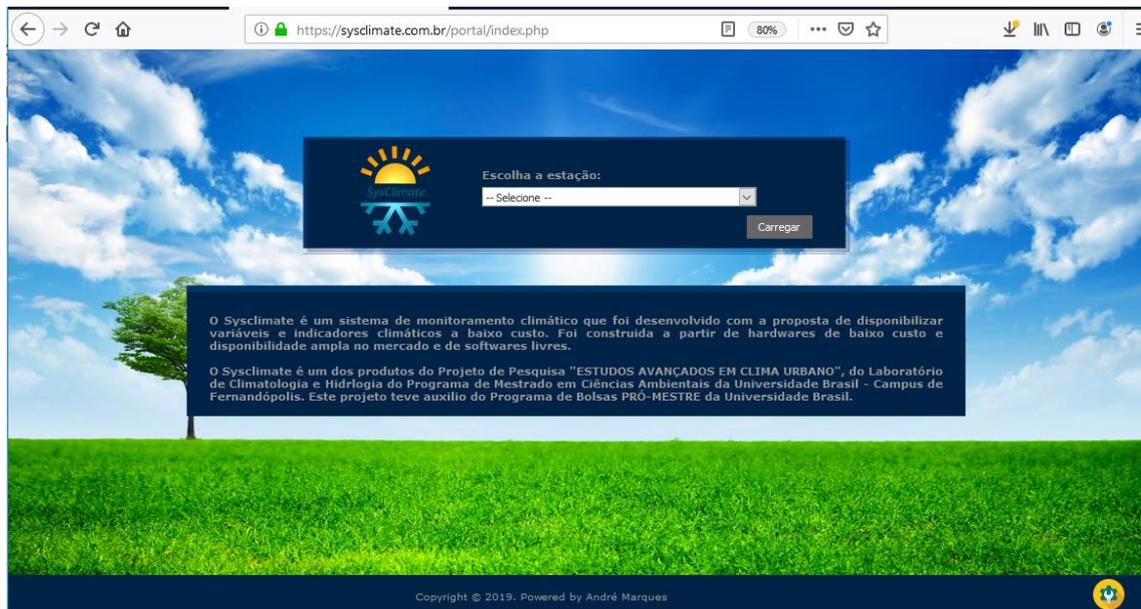


Figura 33: SysClimate - Tela Inicial.

Ao acessar a estação desejada o sistema buscará as informações da referida estação meteorológica em seu banco de dados como localidade, responsável, entre outras informações além de exibir um *dashboard* (painel de interface gráfica com o usuário que fornece visualizações rápidas dos principais indicadores relevantes para um objetivo ou processo de negócios específico) com a última atualização das variáveis meteorológicas de forma visual, facilitando assim a compreensão das informações geradas, conforme visualizado na Figura 34.

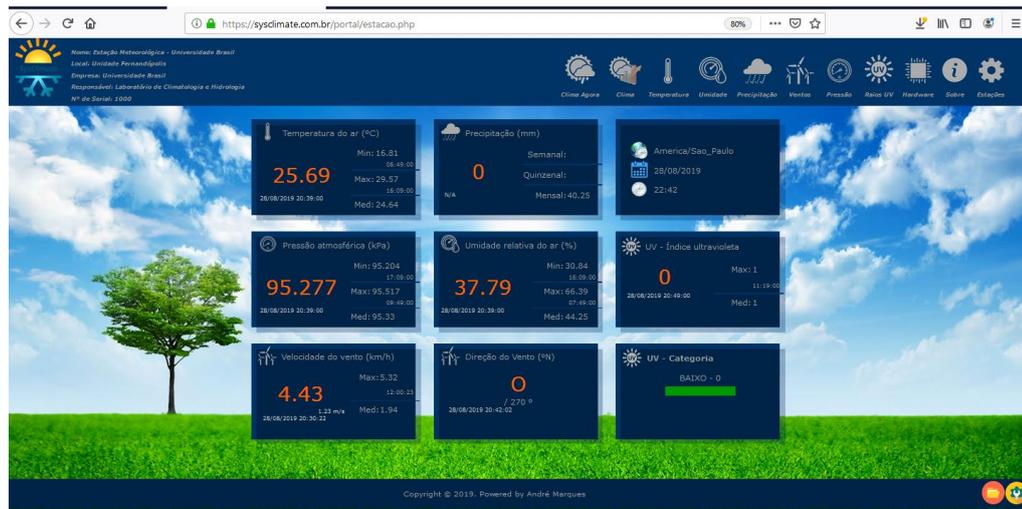


Figura 34: SysClimate - Dashboard - Estação Meteorológica.

A partir do menu principal, na parte superior ao canto direito do portal web <https://sysclimate.com.br>, é possível acessar com mais detalhes cada variável que está sendo monitorada pela estação meteorológica automática, inclusive com visualização gráfica (Figura 35).

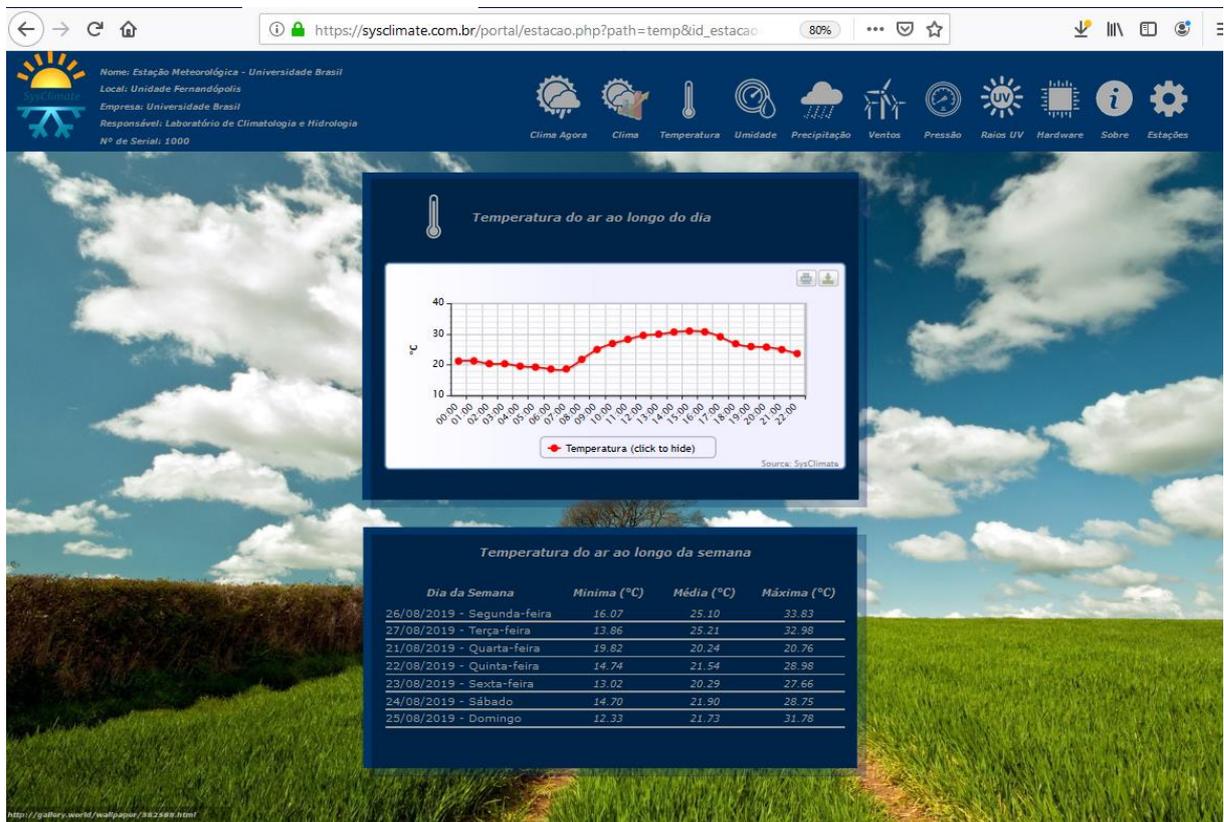


Figura 35: SysClimate - Tela de Temperatura.

Nas telas do portal relacionadas a cada variável estão disponíveis um gráfico com as médias horárias ao longo do dia, bem como uma tabela com os dados das mínimas, máximas e médias diárias dos últimos sete dias.

Para que o sistema se comporte de maneira dinâmica e totalmente operável pelos usuários, quanto a inclusão de novas estações meteorológicas, relatórios pontuais das leituras de uma determinada variável, entre outros itens, foi criado uma área de gerenciamento do sistema SysClimate, que pode ser acessado pela URL <https://sysclimate.com.br/admin> (Figura 36). Também pode ser acessado pelos ícones, um localizado na parte direita inferior da tela (imagem de uma chave com engrenagem ao redor de um círculo amarelo) e outro pelo painel principal (com o nome de “Clima”).

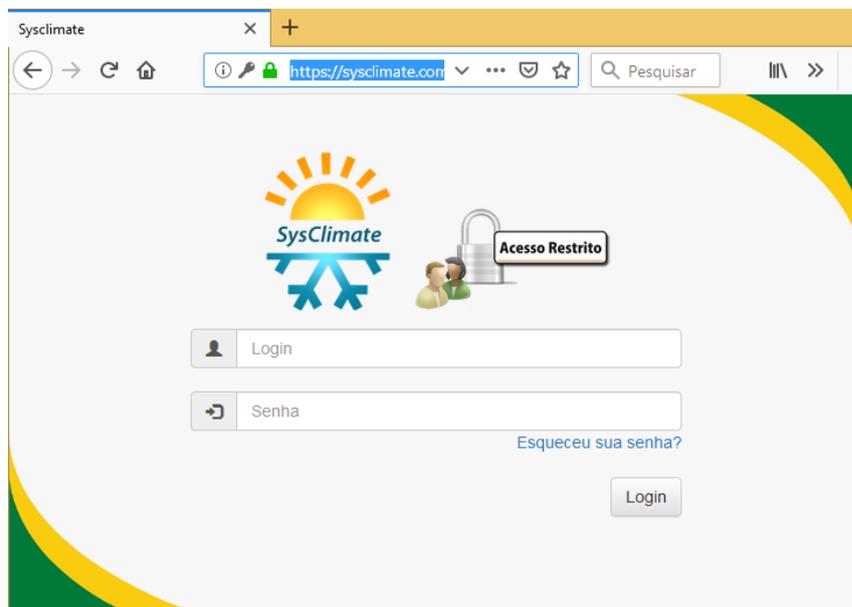


Figura 36: SysClimate - Tela de Login.

Ao efetuar o login na área administrativa, será apresentada uma tela, onde na parte superior será discriminado o usuário logado e abaixo a barra de menus com os itens “Início”, “Cadastros”, “Relatórios”, “Anexos”, “Alterar Senha” e “Sair” (Figura 37).

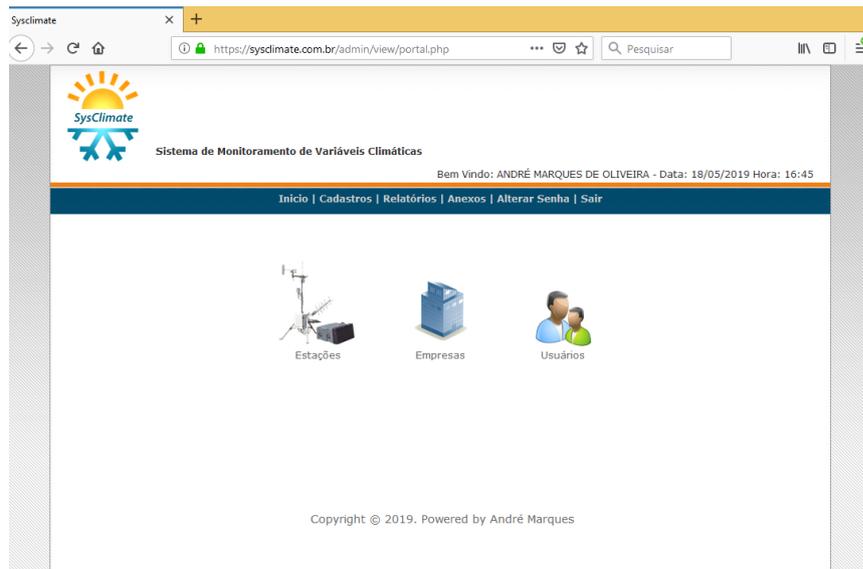


Figura 37: SysClimate - Tela Principal de Gerenciamento.

Para trabalhar com os dados obtidos nas estações meteorológicas fora do sistema, criou-se um relatório denominado de “Extração de Dados Excel”, com finalidade de se obter os dados “brutos” do banco de dados (Figura 38).

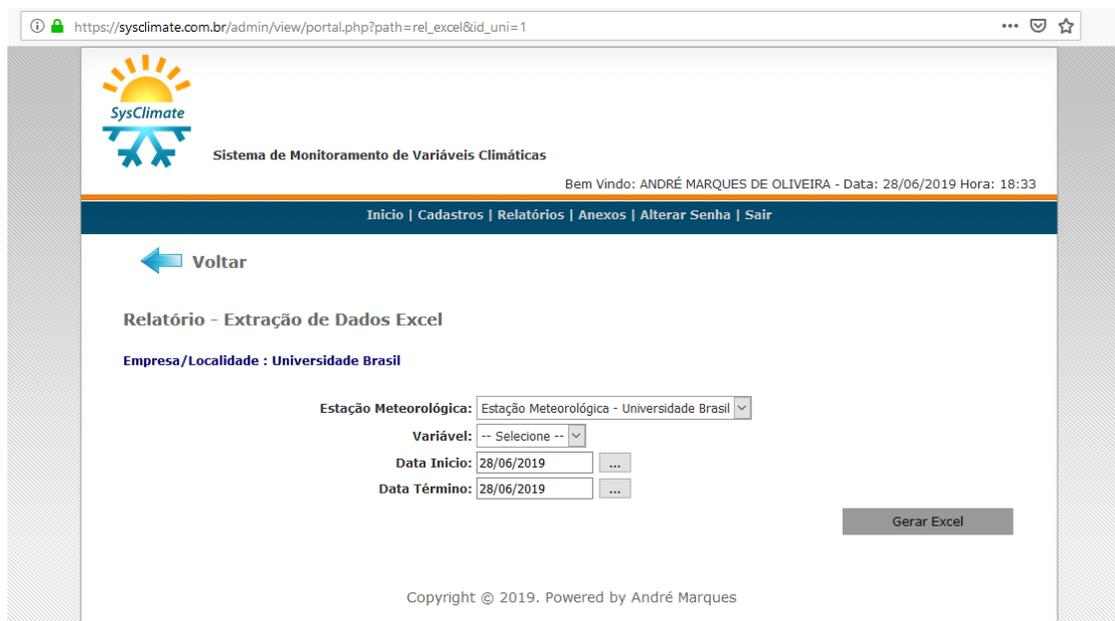


Figura 38: SysClimate - Relatório de Extração de Dados Excel.

6.3 Resultados das coletas de dados por estação de controle

Para exemplificar o SysClimate foram coletadas as variáveis temperatura e umidade relativa do ar e pressão atmosférica, dentro de um período de 60 dias (de

29/04/2019 a 28/06/2019). Para a coleta dos dados, foi realizada a extração diretamente da base de dados localizada na web (Figuras 38, 39 e 40). Os dados também poderiam ter sido obtidos pelo relatório de exportação em Excel de maneira mais resumida (trazendo a variável e sua data de referência).

```

1 SELECT * FROM estacoes_temperatura e
2 where data_hora BETWEEN CURDATE() - INTERVAL 60 DAY AND CURDATE();

```

codigo	codigo_estacao	temperatura	data_hora	data_hora_sync
26225	2	20.9	2019-04-29 00:09:00	2019-04-29 00:10:24
26226	2	20.92	2019-04-29 00:19:00	2019-04-29 00:20:06
26227	2	21	2019-04-29 00:29:00	2019-04-29 00:30:06
26228	2	21	2019-04-29 00:39:00	2019-04-29 00:40:06
26229	2	21	2019-04-29 00:49:00	2019-04-29 00:50:07
26230	2	20.96	2019-04-29 00:59:00	2019-04-29 01:00:09
26231	2	20.84	2019-04-29 01:09:00	2019-04-29 01:10:06
26232	2	20.76	2019-04-29 01:19:00	2019-04-29 01:20:07
26233	2	20.7	2019-04-29 01:29:00	2019-04-29 01:30:05
26234	2	20.7	2019-04-29 01:39:00	2019-04-29 01:40:06
26235	2	20.7	2019-04-29 01:49:00	2019-04-29 01:50:06
26236	2	20.56	2019-04-29 01:59:00	2019-04-29 02:00:09
26237	2	20.54	2019-04-29 02:09:00	2019-04-29 02:10:06
26238	2	20.6	2019-04-29 02:19:00	2019-04-29 02:20:06
26239	2	20.6	2019-04-29 02:29:00	2019-04-29 02:30:07

8648 rows fetched in 0,6525s (0,3460s) | Edit | Apply Changes | Discard Changes | First | Last | Search

Figura 39: Banco de Dados - Extração de Variável de Temperatura do ar.

```

1 SELECT * FROM estacoes_umidade e
2 where data_hora BETWEEN CURDATE() - INTERVAL 60 DAY AND CURDATE();

```

codigo	codigo_estacao	umidade	data_hora	data_hora_sync
25478	2	99.9	2019-04-29 00:09:00	2019-04-29 00:10:24
25479	2	99.9	2019-04-29 00:19:00	2019-04-29 00:20:06
25480	2	99.9	2019-04-29 00:29:00	2019-04-29 00:30:07
25481	2	99.9	2019-04-29 00:39:00	2019-04-29 00:40:07
25482	2	99.9	2019-04-29 00:49:00	2019-04-29 00:50:06
25483	2	99.9	2019-04-29 00:59:00	2019-04-29 01:00:09
25484	2	99.9	2019-04-29 01:09:00	2019-04-29 01:10:06
25485	2	99.9	2019-04-29 01:19:00	2019-04-29 01:20:06
25486	2	99.9	2019-04-29 01:29:00	2019-04-29 01:30:06
25487	2	99.9	2019-04-29 01:39:00	2019-04-29 01:40:06
25488	2	99.9	2019-04-29 01:49:00	2019-04-29 01:50:06
25489	2	99.9	2019-04-29 01:59:00	2019-04-29 02:00:08
25490	2	99.9	2019-04-29 02:09:00	2019-04-29 02:10:06
25491	2	99.9	2019-04-29 02:19:00	2019-04-29 02:20:07
25492	2	99.9	2019-04-29 02:29:00	2019-04-29 02:30:06

8648 rows fetched in 0,6756s (0,3952s) | Edit | Apply Changes | Discard Changes | First | Last | Search

Figura 40: Banco de Dados - Extração de Variável de Umidade relativa do ar.

```

1 SELECT * FROM estacoes_pressao e
2 where data_hora BETWEEN CURDATE() - INTERVAL 60 DAY AND CURDATE();

```

codigo	codigo_estacao	pressao	data_hora	data_hora_sync
44775	2	946.328	2019-04-29 00:09:00	2019-04-29 00:10:56
44776	2	946.27	2019-04-29 00:19:00	2019-04-29 00:20:09
44777	2	946.234	2019-04-29 00:29:00	2019-04-29 00:30:09
44778	2	946.172	2019-04-29 00:39:00	2019-04-29 00:40:09
44779	2	946.142	2019-04-29 00:49:00	2019-04-29 00:50:09
44780	2	946.13	2019-04-29 00:59:00	2019-04-29 01:00:14
44781	2	946.066	2019-04-29 01:09:00	2019-04-29 01:10:08
44782	2	946.038	2019-04-29 01:19:00	2019-04-29 01:20:09
44783	2	945.994	2019-04-29 01:29:00	2019-04-29 01:30:08
44784	2	945.964	2019-04-29 01:39:00	2019-04-29 01:40:09
44785	2	945.876	2019-04-29 01:49:00	2019-04-29 01:50:08
44786	2	945.82	2019-04-29 01:59:00	2019-04-29 02:00:13
44787	2	945.792	2019-04-29 02:09:00	2019-04-29 02:10:08
44788	2	945.698	2019-04-29 02:19:00	2019-04-29 02:20:09
44789	2	945.616	2019-04-29 02:29:00	2019-04-29 02:30:08

8728 rows fetched in 0,6847s (0,3936s) | Edit | Apply Changes | Discard Changes | First | Last | Search

Figura 41: Banco de Dados - Extração de Variável de Pressão Atmosférica.

Como pode ser observado nas Figuras 39, 40 e 41, a primeira coluna indica o índice da tabela, a *primary key* (chave primária, nunca se repetem na mesma tabela), a segunda coluna se refere a estação meteorológica que foram extraídos os dados (o sistema está apto a trabalhar com várias estações meteorológicas ao mesmo tempo), a terceira coluna está relacionada a variável climática, na quarta coluna refere-se qual o dia e horário de referência da leitura e na quinta e na última coluna está o dia e horário que foi sincronizado o referido registro da estação meteorológica para a base de dados *web* (este registro nem sempre será tão aproximado do registro de leitura da variável, pois caso tenha uma perda de conexão com a internet, a sincronização dos dados será reestabelecida logo após a mesma ser reconectada).

Pelos dados obtidos é possível traçar médias aritméticas dentro de horários ao longo de cada dia, realizar comparações entre datas e períodos, realizar correlações entre as variáveis, implementação de modelos matemáticos, além de uma infinidade de outras possibilidades.

6.4 Especificações de classes principais do sistema

As classes que foram projetadas para o SysClimate e que estão contidas na base de dados do *software* são: cadastro de usuários, de perfis, de empresas, de estações

meteorológicas, de papeis de parede e de anexos, além das tabelas que armazenam os dados das variáveis climáticas advindas das estações meteorológicas de campo. Para melhor entendimento logo abaixo cada classe será detalhada.

O cadastro de usuários (Tabela 4), permite que o operador do sistema cadastre e gerencie outros usuários, sendo possível cadastrar quantos usuários forem necessários. Cada usuário criado no sistema pode ter suas próprias configurações e direitos de acessos.

Tabela 4: Detalhe das informações do cadastro de usuários do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o usuário
Nome	Nome completo do usuário
Empresas	Empresa/s vinculadas ao usuários
Usuário/Login	Nome de login utilizado para acessar o sistema
E-mail	E-mail do usuário
Telefone	Número de telefone fixo do usuário
Celular	Número de telefone celular do usuário
Tipo	Qual o comportamento deste usuário dentro do sistema
Perfil	Grupo de permissões vinculadas ao usuário
Status	Situação atual dentro do sistema

O cadastro de perfil (Tabela 5), permite que o operador do sistema cadastre e gerencie perfis de usuários distintos, como “Grupo de Administradores” com permissões elevadas ou “Grupo de Analistas” com acessos a todos os dados exceto criação e exclusão entre outras infinitas possibilidades, visto que o sistema é modular, sendo possível cadastrar quantos perfis forem necessários. Cada perfil criado no sistema pode ter suas próprias configurações/permissões, tornando assim único. As permissões do sistema são fixas, entretanto com a interação/vinculação dos perfis se tornam totalmente modulares.

Tabela 5: Detalhe das informações do cadastro de perfis do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o perfil
Nome	Nome do perfil
Empresas	Empresa vinculada ao perfil

O cadastro de empresa (Tabela 6), permite que o operador do sistema cadastre e gerencie as empresas, sendo possível cadastrar quantas empresas forem necessárias.

Tabela 6: Detalhe das informações do cadastro de empresas do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia a empresa
Nome	Nome da empresa

O cadastro de estações meteorológicas (Tabela 7), permite que o operador do sistema cadastre e gerencie as estações meteorológicas, sendo possível cadastrar quantas estações forem necessários. Cada estação criada no sistema terá suas próprias configurações, sendo necessário sempre no caso de novas estações meteorológicas, seu cadastramento no sistema antes de realizar a ativação das sincronizações das variáveis meteorológicas.

Tabela 7: Detalhe das informações do cadastro de estações meteorológicas do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia a estação meteorológica
Nome	Nome da estação
Local	Local/Endereço de instalação
Serial	Serial da estação
Latitude	Coordenadas de latitude da estação
Longitude	Coordenadas de longitude da estação
Empresa	Empresa vinculada a estação
Status	Situação da estação dentro do sistema

O cadastro de temperatura (Tabela 8) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de 10 minutos, tal registro retrata a média aritmética de 5 leituras realizadas dentro de 10 minutos pela estação meteorológica.

Tabela 8: Detalhe das informações do cadastro de temperaturas do ar no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Temperatura	Média aritmética da leitura dentro de 10min
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de umidade relativa do ar (Tabela 9) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de 10 minutos, tal registro retrata a média aritmética de 5 leituras realizadas dentro de 10 minutos pela estação meteorológica.

Tabela 9: Detalhe das informações do cadastro de umidades do ar no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Umidade	Média aritmética da leitura dentro de 10min
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de pressão atmosférica (Tabela 10) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de 10 minutos, tal registro retrata a média aritmética de 5 leituras realizadas dentro de 10 minutos pela estação meteorológica.

Tabela 10: Detalhe das informações do cadastro de pressão atmosférica do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Pressão	Média aritmética da leitura dentro de 10min
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de precipitação (Tabela 11) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em períodos que ocorre a mesma, sendo todas de forma integral.

Tabela 11: Detalhe das informações do cadastro de precipitação pluviométrica do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Precipitação	Leitura realizada
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de velocidade do vento (Tabela 12) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de

10 minutos, tal registro retrata a média aritmética da velocidade de 5 leituras realizadas dentro de 10 minutos pela estação meteorológica.

Tabela 12: Detalhe das informações do cadastro de velocidade do vento no SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Velocidade m/s	Leitura realizada em m/s
Velocidade cm/s	Leitura realizada em cm/s
Velocidade km/h	Leitura realizada em km/h
Distância percorrida	Distância percorrida pelo sensor em forma linear em cm
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de direção dos ventos (Tabela 13) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de 15 minutos, e todos os dados são sincronizadas fielmente ao coletado.

Tabela 13: Detalhe das informações do cadastro de direção do vento do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
Leitura do Sensor	Leitura original do sensor, pulso elétrico
Direção	Leitura realizada pelo sensor
Graus	Direção em Graus °
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

O cadastro de radiação UV (Tabela 14) é realizado de forma automática pelas estações meteorológicas vinculadas ao sistema, em intervalos de 10 minutos, tal leitura é sincronizada fielmente. A estação meteorológica foi parametrizada para gravar tais dados no período do dia que se estende das 06:00 até as 20:00.

Tabela 14: Detalhe das informações do cadastro de radiação UV do SysClimate vinculado ao painel de administração da web.

Coluna	Descrição
Código	Código que referencia o registro
Código Estação	Código que referencia de qual estação é a leitura
UV	Índice de UV
Leitura	Leitura realizada pelo sensor
Data Leitura	Data/hora realizada a leitura
Data Sincronização	Data/hora realizada a sincronização

6.5 Diagrama de Entidade Relacionamento (DER)

Para melhor entendimento e visualização de todas as classes que aqui já estão convertidas em tabelas presentes no sistema, tanto da parte *WEB* como na estação meteorológica, foram elaborados diagramas de DER, na qual é um modelo representativo de todos os dados e suas interdependências e relacionamentos.

Na Figura 41 está apresentado o relacionamento das tabelas do banco de dados do sistema online. Este é o “*frontend*” para os usuários do sistema. No banco de dados da estação meteorológica, as tabelas denominadas “entidades fortes” (tabelas que não precisam de outras para coexistirem), não possuem relação entre elas (Figura 42).

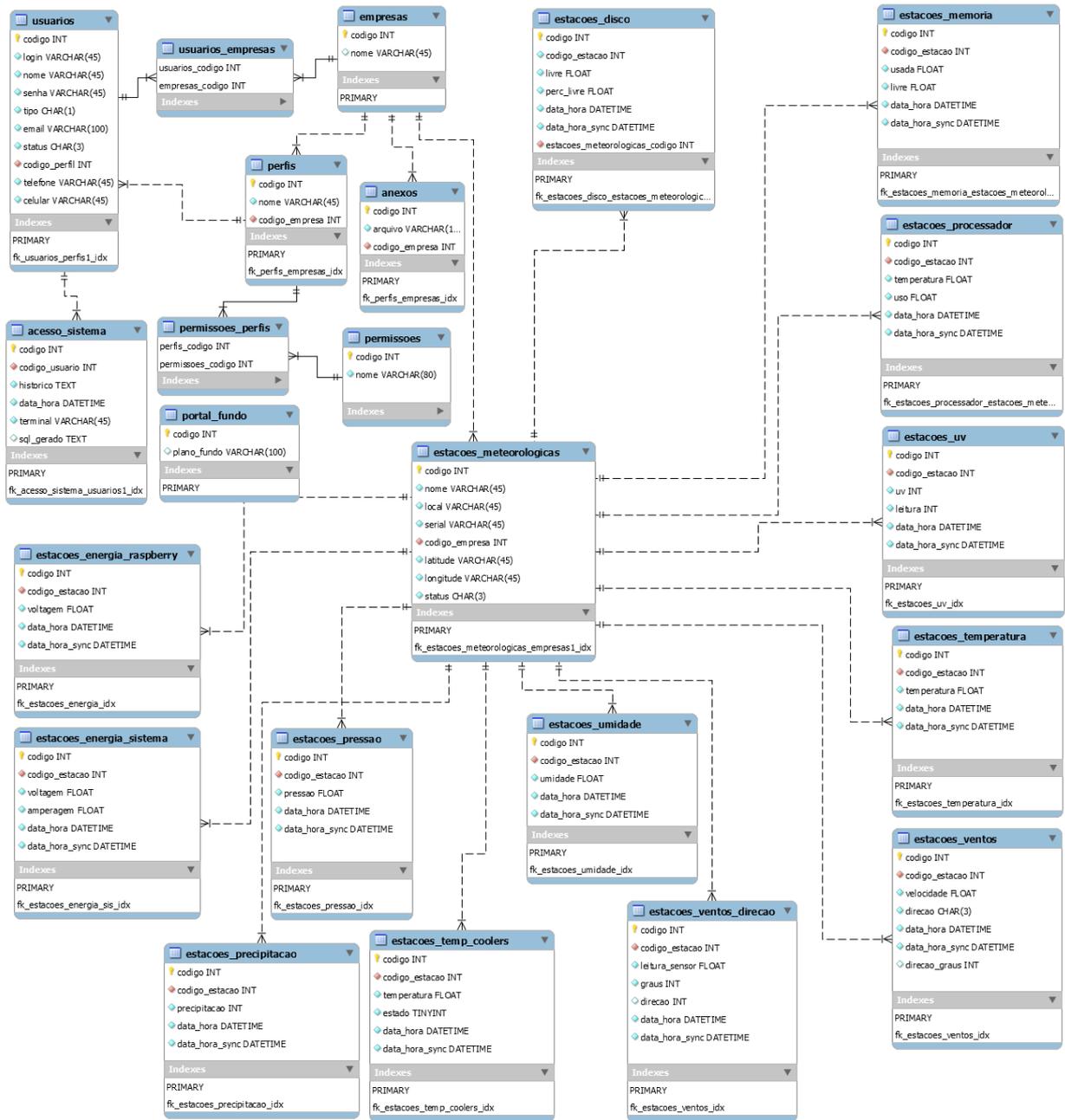


Figura 42: Diagrama de Entidade de Relacionamento do Sistema WEB SysClimate.

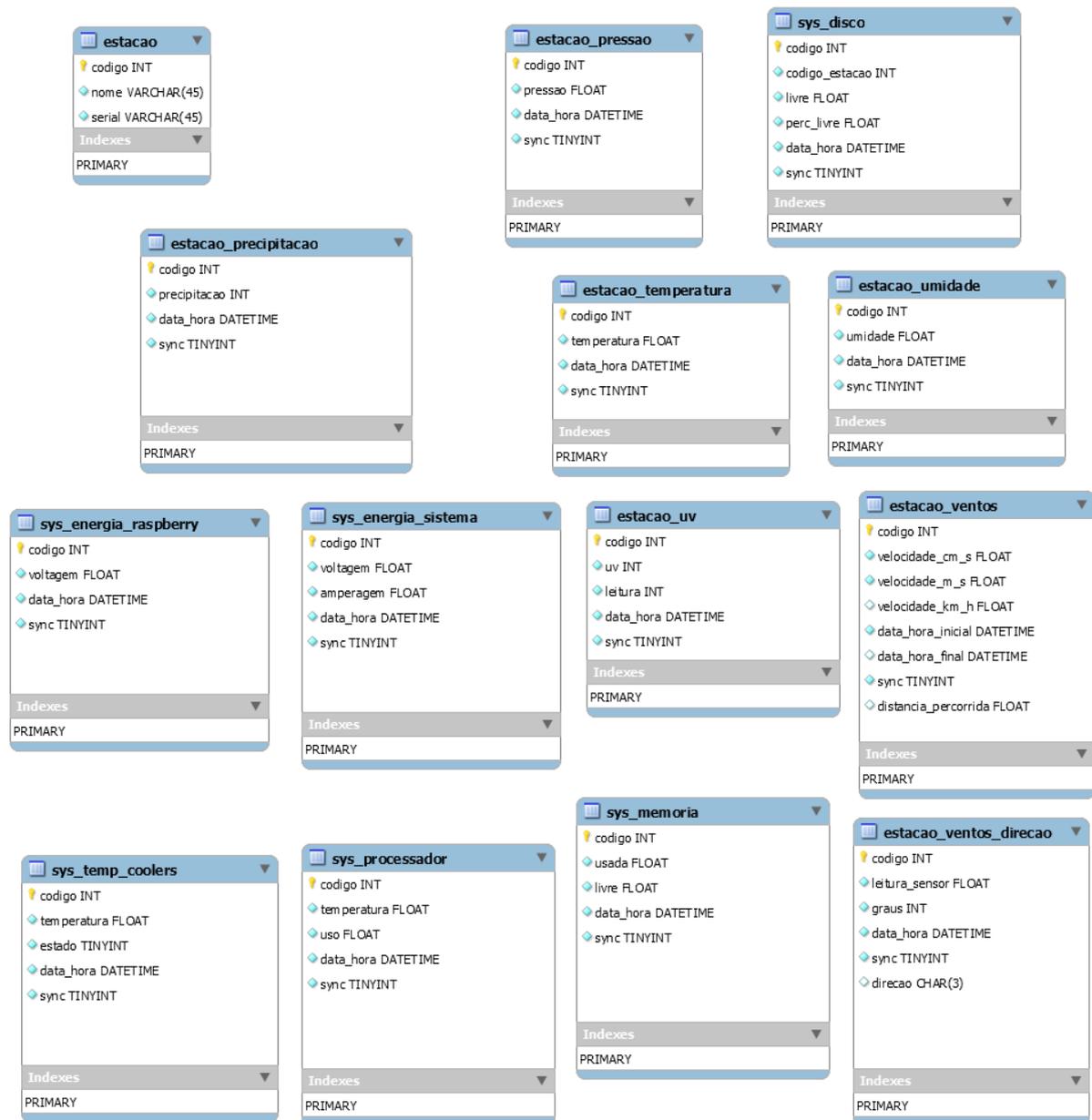


Figura 43: Diagrama de Entidade de Relacionamento da Estação Meteorológica de campo.

7. CONCLUSÕES

Conclui-se que foi possível desenvolver o sistema de monitoramento climático denominado SysClimate, que pode operar com uma ou mais estações meteorológicas automáticas, desenvolvidas a partir de softwares livres e hardware de baixo custo.

O resultado foi o desenvolvimento de um sistema com estações meteorológicas automáticas com custo 80% inferior que as comerciais disponíveis no mercado, proporcionando uma opção de sistema de monitoramento climático de acesso mais facilitado para empresas de pequeno a médio porte, prefeituras, universidades, entre outros segmentos.

Neste contexto a interface gráfica desenvolvida para o acompanhamento imediato dos dados que estão sendo transmitidos pela estação meteorológica, é de aparência simples e objetiva, apresentando um bom funcionamento, o que de fato funciona como ferramenta de auxílio a tomada de decisões ou estudos.

O SysClimate é uma plataforma muito promissora por realizar a integração de uma plataforma totalmente *open source* com estações meteorológicas automáticas de baixo custo e bom desempenho em monitoramentos climáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mendonça F, Danni-Oliveira IM. Climatologia Noções Básicas e Climas do Brasil. São Paulo, SP: Oficina de textos; 2009. 201p.
2. Frisinger H. Howard. History of Meteorology to 1800. Boston, Massachusetts: Neale Watson Academic Publications, Inc; 1983. 148p.
3. Vianello RL, Alves AR. Meteorologia Básica e Aplicações. 2º ed. Viçosa, MG: UFV; 2012. 460p.
4. Ynoue RY, Reboita MS, Ambrizzi T, Silva GAM. da. Meteorologia: noções básicas. São Paulo: Oficina de textos; 2017. 162p.
5. Torres FTP, Machado PJ. de O. Introdução à Climatologia. Ubá, MG: Geographica; 2008. 234p.
6. Steinke ET. Climatologia Fácil. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2012.
7. World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Seventh edition: Geneva 2, Switzerland; 2008, 681p.
8. Ayoade, JO. Introdução a climatologia para os trópicos. Trad: Maria Juraci Zani dos Santos, 4ed. Rio de Janeiro, RJ; Bertrand Brasil;1996. 332p.
9. Pires DPL, Afonso JC, Chaves FAB. Do Termoscópio ao Termômetro Digital: Quatro séculos de termometria. Quimica Nova [Internet]. 2006 Jun. 14 [citado em 2019 Ago. 19];29(6):1393-1400.
10. Barry GR, Chorley JR. Atmosfera, Tempo e Clima. Porto Alegre, RS: Bookman Editora Ltda; 2013. 495p.

11. Silva TGF, Zonier S., Moura MSB, Sedyama GC, Souza LSB. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia: Efeito das mudanças climáticas na agricultura: anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros; 2007 Jul. 2; Aracaju/SE: Embrapa; 2007.
12. Mazetto M. Gestão educacional. WebGo Content, 2019. Acessado em: 24 out 2019. Disponível em: <https://www.gestaoeducacional.com.br/barometro-para-que-serve/>.
13. Varejão-Silva MA, Meteorologia e Climatologia. Recife, Pernambuco: INMET; 2006. 463p
14. Macagnan HM. Introdução à radiação solar. São Leopoldo, 2010. 100p
15. Allen RG, Pereira LS, Raes D.; Smith M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO –Irrigation and Drainage Paper, 56).
16. Okumo E., Vilela MAC. Radiação Ultravioleta: características e efeitos. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005. Acesso em: 21 ago 2019. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=D5s-OqzlnikC&pg=PR1&dq=raios+ultra+violeta&lr=&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q=raios%20ultra%20violeta&f=false.
17. Correia M de P. Índice Ultravioleta: Avaliações e Aplicações. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. USP). São Paulo, 2003.
18. World Health Organization. UV index. Switzerland: WHO. Acesso em: 05 de mai 2019. Disponível em: https://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/en/.

19. Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guiabá: Agropecuária, 2002. 487p.
20. Siap+Micros. Wind speed transducer t031tvv. Italy: Siap+Micros. Acesso em: 04 mai 2019. Disponível em: <http://www.siapmicros.com/en/prodotti/meteorology-and-hydrology/anemometers/t031-tvv>
21. Rocha A E. Geografia em ação: pluviômetro. Salvador: Universidade Católica do Salvador, 2016. Acesso em: 24 out 2019. Disponível em: <http://noosfero.ucsal.br/institucional/noticias/geografia-em-acao-pluviometro>.
22. Tubelis A., Nascimento FJL. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. 1º ed. São Paulo/SP: Livraria Nobel S.A.; 1986. 374p.
23. Google Inc. Google Earth versão 7.3.2.5776. Mountain View: Google Inc., 2019.
24. Upton E, Halfacree G. Raspberry Pi: Guia do Usuário. 4. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro, RJ: Alta Books, 2017. 288 p.
25. D-Link Corporation. Talavera Road North Ryde NSW 2113. Austrália: D-Link Corporation, 2004. Acesso em: 23 abr 2019. Disponível em: <http://files.dlink.com.au/Products/DWR-922/> .