

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

Guia Básico de Instrumentos Meteorológicos

Trabalho de Graduação Individual II

Vinícius Tornich Gandolfi

Número USP: 8658631

Orientador: Prof. Dr. Emerson

SÃO PAULO
2020

VINÍCIUS TORNICH GANDOLFI

Guia Básico de Instrumentos Meteorológicos

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

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

SÃO PAULO

2020

RESUMO

GANDOLFI, V. T. **Guia básico de instrumentos meteorológicos.** Trabalho de graduação individual. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2020.

Os instrumentos meteorológicos são instrumentos científicos utilizados no estudo do clima. Tal estudo se dá pela análise do tempo, que solicita o uso de equipamentos medidores de alguns elementos como direção e velocidade do vento, umidade, pressão atmosférica, radiação solar, precipitação, temperatura, taxa de evaporação e assim por diante. A elaboração deste guia, a partir de pesquisa bibliográfica, apresenta de forma introdutória alguns desses instrumentos com o objetivo didático de fácil acesso ao conhecimento básico de seus usos e história, fornecendo assim uma aproximação inicial no tema.

Palavras-chave: Instrumento meteorológico, Clima, Tempo, Guia, Medidor.

ABSTRACT

GANDOLFI, V. T. **Basic guide to weather instruments.** Trabalho de graduação individual. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2020.

Meteorological instruments are scientific instruments used in the study of climate. This study takes place through the analysis of time, which requires the use of equipment to measure some elements such as wind direction and speed, humidity, atmospheric pressure, solar radiation, precipitation, temperature, evaporation rate and so on. The preparation of this guide, based on bibliographical research, introduces, in an introductory way, some of these instruments with the didactic objective of easy access to the basic knowledge of their uses and history, thus providing an initial approach to the subject.

Keywords: Weather Instruments, Climate, Weather, Guide, measure.

GUIA BÁSICO DE INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS

Vinícius Tornich Gandolfi

Sumário

Apresentação.....	7
Introdução.....	8
Um pouco sobre a história da meteorologia e seus instrumentos	9
Instrumentos.....	12
Albedômetro.....	13
Anemoscópio.....	13
Anemômetro	14
Anemógrafo.....	16
Balão de teto meteorológico.....	17
Barômetro.....	19
Barógrafo.....	21
Ceilômetro.....	21
Data logger.....	22
Disdrômetro.....	24
Evaporímetro.....	24
Hail pad.....	26
Heliógrafo.....	26
Higrômetro.....	27
Indicador de acumulação de gelo.....	28
Perfilador de vento.....	29
Pluviômetro.....	30
Piranômetro.....	31
Pirgeômetro.....	32
Pireliômetro.....	33
Projetor luminoso.....	33
Psicrômetro.....	34
Radiômetro.....	36
Conjunto de equipamentos meteorológicos.....	37
Abrigo meteorológico	37
Aerossonda.....	38
Estação meteorológica automática.....	39
Estação meteorológica.....	40
Satélites meteorológicos.....	41
Algumas das aplicações dos instrumentos meteorológicos.....	43
Epílogo.....	46
Referências bibliográficas.....	48

Apresentação

De todas as ciências físicas, a meteorologia é uma das que mais depende de medições obtidas através de instrumentação. Instrumentos meteorológicos são dispositivos utilizados para amostrar o estado da atmosfera em um determinado momento. Ao contrário de químicos, biólogos e físicos, os meteorologistas não usam esses instrumentos em um laboratório. Eles são usados em campo, colocados ao ar livre como um conjunto de sensores que, juntos, fornecem uma imagem completa das condições meteorológicas. Todos os dias, milhões de medições meteorológicas são feitas em todo o mundo, em terra, sobre os oceanos, na alta atmosfera e até do espaço, fornecendo os dados brutos essenciais para modelos de previsão do tempo baseados em supercomputadores que são vitais para as economias modernas. Além disso, a meteorologia é também uma ciência onde tanto amadores como profissionais podem fazer contribuições significativas. Os registros do tempo são feitos em todos os países e regiões do mundo, dos desertos quentes aos mais frios, desde centros de cidades densamente povoados até os topos das montanhas mais remotas. Dois exemplos que podemos citar são a estação meteorológica automática permanente a oito mil metros acima do nível do mar, logo abaixo do cume do Monte Everest, cujas observações são atualizadas e disponibilizadas via internet de hora em hora, além de uma estação brasileira no continente antártico, a EACF (Estação Antártica Comandante Ferraz) localizada na península Keller. Registros bem mantidos por indivíduos e organizações auxiliam na análise científica de todos os tipos de fenômenos meteorológicos, auxiliando inclusive no remanejamento, quando necessário, de parte da população que pode ser afetada por fenômenos catastróficos. A elaboração deste guia se deu a partir de pesquisa bibliográfica e tem como justificativa apresentar de maneira introdutória ao interessado parte desta instrumentação meteorológica, não só pra marcar a existência de tais ferramentas, como também para suscitar suas possíveis utilizações e interações em pesquisas ou averiguações.

Introdução

Os primeiros instrumentos usados para monitorar o tempo envolviam os sentidos do corpo humano, especialmente visão, toque (tato), olfato e audição. Até certo ponto, ainda hoje esses são os instrumentos importantes, afinal, estudamos o clima porque queremos saber como isso afetará nossas vidas diárias e é através dos nossos sentidos que interagimos com o mundo ao nosso redor. Os principais elementos que estudamos em relação ao tempo e clima são a radiação solar, pressão atmosférica, umidade, temperatura. Uma vez conhecidos esses elementos primários, outros como ponto de orvalho, umidade relativa, formação de geada e outros podem ser determinados como cálculos derivados ou secundários.

Apesar do fato de que esses fenômenos diferentes afetam nossas vidas de várias maneiras, o corpo humano não é particularmente bom em quantificar essas características. A água que parece fria para uma pessoa pode ficar quente para outra, dependendo do que essa pessoa estiver fazendo. Por exemplo, depois de nadar em um lago gelado, até a água à temperatura do ar pode parecer quente, enquanto uma pessoa que não foi imersa em tais condições recentemente pode considerar a mesma água como fria.

Além disso, às vezes simplesmente não somos muito bons em quantificar as coisas. Um exemplo é a velocidade do vento. Podemos ter uma impressão da velocidade do vento pela intensidade com que sopra as folhas nas árvores, mas isso não é muito eficaz no inverno se não houver folhas nas árvores. Pode-se obter um senso de direção grosseiro observando onde os objetos são explodidos ou mantendo um dedo molhado na brisa e encontrando a orientação que produz o resfriamento mais rápido. Mas esses métodos são apenas aproximados e tornou-se evidente para os primeiros observadores que eram necessários mais instrumentos de medição quantitativa.

Um pouco sobre a história da meteorologia e seus instrumentos

Podemos dizer certa forma que o estudo sobre a meteorologia se desenvolveu a partir dos gregos antigos, que forneceram algumas das primeiras observações e teorias conhecidas sobre processos atmosféricos. Anaxímenes de Mileto (525 a.C) propôs que mudanças nas condições atmosféricas, como nuvens e ventos, eram o resultado de um espessamento da atmosfera. Parmênides (500 a.C) fez um dos primeiros esquemas globais de classificação climática usando nível de conforto humano relativo por zonas de latitude. Aristóteles (340 a.C) produziu meteorológica, o primeiro compêndio sobre conhecimento em ciências atmosféricas e o uso da palavra meteorologia. Proveniente do termo grego “metéōros”¹ o termo meteorologia e originalmente se referia ao estudo de objetos que se originam acima da superfície, incluindo a atmosfera e objetos extraterrestres. As teorias filosóficas (e errôneas) de Aristóteles não foram amplamente contestadas até mais de um milênio depois, com o advento de instrumentos meteorológicos e novas teorias decorrentes de dados quantitativos mais objetivos.

Embora o primeiro pluviômetro conhecido tenha sido desenvolvido na Índia (400 a.C)², a instrumentação climática mais significativa não foi desenvolvida até os séculos XVI e XVII. Um dos primeiros instrumentos climáticos modernos foi o anemômetro mecânico, um dispositivo para medir a força relativa do vento, inventado por Leon Battista Alberti em 1450.³ Galileu Galilei inventou o termoscópio por volta de 1592, um predecessor do termômetro moderno, e determinou que o a atmosfera não era leve. No entanto, as primeiras escalas uniformes de temperatura foram desenvolvidas nos anos de 1714 e 1742 por Gabriel Fahrenheit e Anders Celsius,

¹ Relativo a elevado; alto (no céu).

² Ian Strangeways, A History of pluviômetros, TerraData, 2010

³ Jacobson, Mark Z. (junho de 2005). Fundamentals of Atmospheric Modeling (brochura) (2ª ed.). Nova York: Cambridge University Press. p. 828.

respectivamente.⁴ Em 1643, Evangelista Torricelli, que estudou sob Galileu, inventou o barômetro de mercúrio, um instrumento para medir a pressão atmosférica.⁵

O higrômetro, um dispositivo para medir a umidade, foi inventado por Guillaume Amontons (1687), um avanço em relação a uma versão anterior desenvolvida pelo cardeal Nicholas de Cusa em 1450. Coletivamente, esses instrumentos e suas melhorias subsequentes estabeleceram os primeiros métodos a partir dos quais a meteorologia passou de um ramo simplista do conhecimento para um campo de investigação científica.⁶

Os séculos XVIII e XIX foram períodos em que os cientistas fizeram observações e desenvolveram teorias sobre movimento atmosférico global e fenômenos meteorológicos em escala regional. Em 1735, George Hadley propôs a circulação Hadley em escala planetária com uma área de baixa pressão ao redor do equador e uma alta pressão ao redor dos polos, resultando em um sistema de circulação celular único em cada hemisfério. No entanto, Hadley não considerou os efeitos da rotação da Terra na estrutura eólica planetária, como mostrado por Gaspard Gustave de Coriolis em 1835.⁷ Com base no efeito Coriolis, a circulação global possui três células principais de circulação em cada hemisfério (Polar, Ferrell e Hadley), com a célula Hadley agora confinada às baixas latitudes.

Os principais avanços teóricos e tecnológicos ocorreram no século XX. Em 1904, Vilhelm Bjerknes fundou a chamada Escola de Meteorologia de Bergen

⁴ Grigull, U., Fahrenheit, um Pioneiro da Termometria Exata. Transferência de Calor, 1966, The Proceedings of the 8th International Heat Transfer Conference, San Francisco, 1966, Vol. 1

⁵ Jacobson, Mark Z. (junho de 2005). Fundamentals of Atmospheric Modeling (brochura) (2ª ed.). Nova York: Cambridge University Press. p. 828.

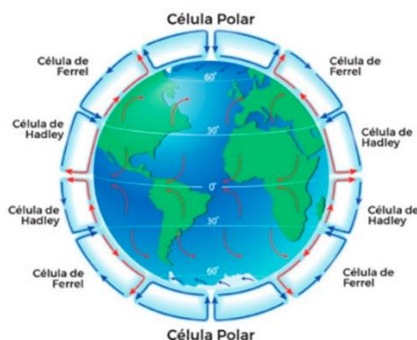
⁶ Moran, Joseph. Weather Studies: Introduction to Atmospheric Science (3ª edição, Copyright 2006)

⁷ Ahrens, C Donald. Meteorology Today. Loose Leaf - 1 de janeiro de 1794

(Noruega), que estabeleceu a meteorologia sinóptica moderna⁸. A Escola Bergen (incluindo Bjerknes, seu filho Jacob, Halvor Solberg e mais tarde Tor Bergeron) acabaria por formular a teoria da frente polar sobre o ciclone de latitude média e o desenvolvimento da frente e processos de precipitação extratropical em uma série de artigos científicos de 1917 a princípios da década de 1930.⁹

Já no início da Segunda Guerra Mundial, os avanços tecnológicos chegaram à vanguarda. O desenvolvimento do radar em 1935, combinado com o aumento das observações aéreas dos balões meteorológicos e da aviação, levou Carl-Gustav Rossby, dois anos depois, a introduzir métodos para analisar as estruturas de ondas atmosféricas de nível superior que hoje levam seu nome. Com base nos esforços anteriores de modelagem atmosférica matemática, John von Neumann e seus colegas, em 1950, produziram as primeiras previsões meteorológicas geradas por computador.¹⁰ Satélites meteorológicos em 1960, radares Doppler em 1990 e outras inovações tecnológicas continuaram a moldar nossa compreensão e previsão de processos atmosféricos até os dias atuais.

Figura 1 - Modelo tricelular da circulação atmosférica global



Fonte: <https://www.indagacao.com.br/2018/06/puc-sp-2018-2-cinturoes-de-vento-surgem-porque-o-sol-aquece-a-superficie-mais-intensamente.html>

⁸ Análise climática em larga escala feita em períodos de tempo simultâneos.

⁹ Friedman, Robert Marc. *Appropriating the Weather: Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology* (Cornell History of Science Series) Hardcover – 1 Jan. 1862

¹⁰ Moran, Joseph. *Weather Studies: Introduction to Atmospheric Science* (3ª edição, Copyright 2006)

Instrumentos

Albedômetro

É um instrumento usado para medir o albedo¹¹ de uma superfície. Frequentemente, ele consiste em dois piranômetros¹²: um voltado para cima em direção ao céu e outro voltado para baixo em direção à superfície. A partir da razão da radiação recebida e refletida, o albedo pode ser calculado. O piranômetro de superfície mede a radiação solar global recebida. Já o piranômetro voltado para baixo mede a radiação solar global refletida. A proporção da radiação refletida para a radiação global é o albedo solar e depende das propriedades da superfície e da distribuição direcional da radiação solar recebida. Os valores típicos variam de 4% para asfalto a 90% para neve fresca.

Figura 3 - Albedômetro



Fonte: <https://huksefluxbrasil.com.br/produtos/albedometro-segunda-classe-sra01>

¹¹ Albedo: também chamado de refletância solar, é definido como a razão entre a radiação refletida e a radiação global. O albedo solar depende da distribuição direcional da radiação recebida e das propriedades da superfície ao nível do solo.

¹² Consultar página 51.

Anemoscópio

Também conhecido como Cata-vento ou biruta - varia geralmente de acordo com sua aparência - é uma ferramenta para medir a direção do vento e um dos primeiros instrumentos meteorológicos já utilizados. Para determinar a direção do vento, um anemoscópio¹³ gira e aponta na direção da qual o vento está vindo e geralmente possui duas partes ou extremidades: uma que geralmente tem o formato de uma flecha e se transforma no vento e uma extremidade que é mais larga¹⁴, de modo que pega a brisa. A seta apontará para a direção em que o vento está soprando; portanto, se estiver apontando para o leste, significa que o vento está vindo do leste. Além disso, a direção do vento é de onde o vento está soprando. Portanto, um vento oeste sopra do oeste. O instrumento no geral é posto sobre uma rosa-dos-ventos para que a leitura seja facilitada.

Figura 4 - Anemoscópio



Fonte: <https://www.indiamart.com/proddetail/wind-vane-10241975648.html>

¹³ Um cata-vento com formato de flecha.

¹⁴ Agindo como se fosse um leme de avião.

Anemômetro

É um dispositivo utilizado para medir a velocidade do fluxo de ar na atmosfera, em túneis de vento e em outras aplicações de fluxo de gás. O mais amplamente utilizado para medições da velocidade do vento é o anemômetro elétrico de copo giratório, no qual os copos giratórios acionam um gerador elétrico. A saída do gerador opera um medidor elétrico que é calibrado na velocidade do vento. O alcance útil deste dispositivo é de aproximadamente 5 a 100 nós¹⁵. Uma hélice também pode ser usada para acionar o gerador elétrico, como no anemômetro de hélice. Em outro tipo de unidade acionada pelo vento, as palhetas giratórias operam um contador, as revoluções sendo cronometradas por um cronômetro e convertidas em velocidade do ar. Este dispositivo é especialmente adequado para a medição de baixas velocidades do ar.

O fato de uma corrente de ar resfriar um objeto aquecido (a taxa de resfriamento sendo determinada pela velocidade do fluxo de ar) é o princípio subjacente a um anemômetro de fio quente. Um fio fino aquecido eletricamente é colocado no fluxo de ar. À medida que o fluxo de ar aumenta, o fio esfria. No tipo mais comum de anemômetro de fio quente, o tipo de temperatura constante, a energia é aumentada para manter uma temperatura constante do fio. A energia de entrada para o fio quente é então uma medida da velocidade do ar, e um medidor no circuito elétrico do fio quente pode ser calibrado para indicar a velocidade do ar. Este dispositivo é útil para velocidades no ar muito baixas, abaixo de cerca de 8 km/h.

O termômetro kata é um termômetro de álcool aquecido; o tempo que leva para esfriar é medido e usado para determinar a corrente de ar. Também é útil para medir baixas velocidades em estudos de circulação de ar.

¹⁵ uma unidade de medida de velocidade equivalente a uma milha náutica por hora, ou seja 1852 m/h.

Outro tipo de anemômetro é chamado de tubo de pitot. Sua medição se dá através da pressão causada por uma corrente de ar que passa por um tubo que contém uma de suas extremidades fechadas. A diferença de pressão entre o interior deste tubo e o ar circundante pode ser medido e convertido em velocidade no ar. Os tubos de Pitot também são usados para medir o fluxo de líquidos, particularmente no curso de estudos de calha na mecânica de fluidos . Esse anemômetro é mais útil, no entanto, em fluxos de ar fortes e constantes, como em túneis de vento e a bordo de aeronaves em voo. Com modificações, ele pode ser usado para medir o fluxo de ar supersônico. Outro tipo de anemômetro de pressão é o Tubo de Venturi , aberto nas duas extremidades e de maior diâmetro nas extremidades do que no meio. A velocidade do ar é determinada medindo a pressão na constrição do tubo. A título de exemplo, os aerógrafos, que são equipamentos utilizados para pintura, lançam uma mistura de tinta e ar através de um sistema com tubo de venturi.

Figura 8 - Anemômetro de fio quente



Fonte: Adaptado - <https://reinalab.com.br/produto/termo-anemometro-digital-fio-quente-instrutemp-itan740/>

Figura 11 - Tubo de Venturi

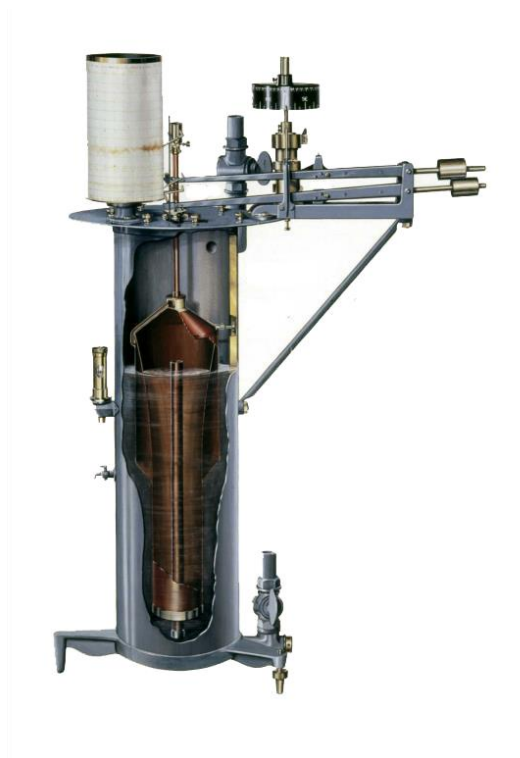


Fonte: Adaptado - <https://www.indiamart.com/proddetail/venturi-tube-flow-meter-11334251348.html>

Anemógrafo

É um anemômetro que faz registros gráficos numa superfície de papel, fornecendo assim um rastreamento contínuo da direção e velocidade do vento da superfície. No anemógrafo do tubo Dines, a pressão do vento atua na abertura de um tubo disposto como uma palheta voltada para a direção do vento. A pressão é transmitida através do tubo para um flutuador carregando uma caneta, cuja altura indica a velocidade do vento.

Figura 12 - Ilustração de um anemógrafo



Fonte: Adaptado - <https://www.slideserve.com/esma/extreme-gust-measurements-are-dines-or-cup-anemometers-the-answer>

Balão de teto

É um material inflável com cor de destaque (geralmente vermelha) usado pelos meteorologistas para determinar a altura da base de nuvens acima do nível do solo durante o dia. Um teodolito¹⁶ é utilizado para rastrear o balão, a fim de determinar a velocidade e a direção dos ventos no ar. O princípio por trás do balão de teto é que o tempo de um balão com uma taxa de subida conhecida (a que velocidade ele sobe) desde sua liberação até desaparecer nas nuvens pode ser usado para calcular a altura do fundo das nuvens.

Figura 13 - Balão Inflável



Fonte: Adaptado - <https://www.stratoflights.com/en/shop/pilot-balloon/>

Figura 14 - Teodolito



Fonte: Adaptado - <https://geomarket.in.ua/teodolity/>

¹⁶ O teodolito é um instrumento de precisão óptico que mede ângulos verticais e horizontais.

Balão Meteorológico

Duas vezes por dia, todos os dias do ano, balões meteorológicos são lançados simultaneamente em cerca de 900 locais em todo o mundo. Os voos de balão duram cerca de 2 horas, podem se distanciar até 200 quilômetros do ponto de lançamento e subir até mais de 100.000 pés (32 mil metros) na atmosfera.

Os balões geralmente são feitos de látex ou borracha sintética (neoprene), são preenchidos com hidrogênio ou hélio. Geralmente, começam medindo cerca de 2 metros de diâmetro antes do lançamento, expandem à medida que sobem até cerca de 6 metros de diâmetro. Um instrumento chamado radiossonda é acoplado ao balão para medir pressão, temperatura e umidade relativa à medida que sobe na atmosfera. Esses instrumentos costumam suportar temperaturas tão baixas quanto -95°C , umidade relativa de 0% a 100%, pressão do ar apenas alguns milésimos do que é encontrado na superfície da Terra, gelo, chuva, tempestades, e velocidades de vento de mais de 300 km/h. Um transmissor na radiossonda envia os dados de volta ao equipamento de rastreamento no solo a cada um ou dois segundos. Ao rastrear a posição da radiossonda¹⁷, também podemos calcular a velocidade e a direção do vento. A radiossonda é alimentada por uma pequena bateria.

Um paraquedas, acoplado ao final do balão, permite que a radiossonda caia lentamente no chão a velocidades inferiores a 36 km / h após o estouro do balão. A radiossonda contém um transmissor de localização para que seja feita sua captura.

Os dados fornecidos pelos balões meteorológicos são valiosos tanto para modelos feitos por computador, como também para meteorologistas fazerem previsões e prever tempestades.

¹⁷ transmissor de rádio automático que serve de auxílio à Meteorologia, usualmente afixado em aeronaves ou balões.

Figura 15 - Balão meteorológico



Fonte: Adaptado - <https://www.stratoflights.com/en/shop/datalogger-stratomini/>

Barômetro

É um dispositivo usado para medir a pressão atmosférica. Como a pressão atmosférica muda com a distância acima ou abaixo do nível do mar, um barômetro também pode ser usado para medir a altitude, dado que pressão e altitude são inversamente proporcionais. Existem dois tipos principais de barômetros: mercúrio e aneroide.

No barômetro de mercúrio, a pressão atmosférica equilibra uma coluna de mercúrio, cuja altura pode ser medida com precisão. Para aumentar sua precisão, os barômetros de mercúrio geralmente são corrigidos de acordo com a temperatura ambiente e o valor local da gravidade. As unidades de pressão comuns incluem libras por polegada quadrada; dines por centímetro quadrado; newtons por metro quadrado¹⁸; polegadas, centímetros ou milímetros de mercúrio; e milibares¹⁹. A

¹⁸ unidade do sistema internacional denominada pascal

¹⁹ 1 milibar equivale a 1.000 dines por centímetro quadrado, 100 pascal ou 0,75 milímetro de mercúrio.

pressão atmosférica ao nível do mar é de cerca de 14,7 libras por polegada quadrada, equivalente surgem de diferentes técnicas para medir a altura da coluna de mercúrio. Embora outros líquidos possam ser usados em um barômetro, o mercúrio é o mais comum. Sua densidade permite que a coluna vertical do barômetro seja de tamanho gerenciável. Se água fosse usada, por exemplo, a coluna teria de ter metros de altura.

O barômetro aneroide é amplamente utilizado em instrumentos portáteis e em altímetros de aeronaves devido ao seu tamanho menor e eficiência. Ele contém uma cápsula de parede flexível, cuja parede é desviada com alterações na pressão atmosférica. Esta deflexão é acoplada mecanicamente a uma agulha indicadora. Um barômetro de mercúrio é usado para calibrar e verificar os barômetros aneroides. A calibração pode ser, por exemplo, em termos de pressão atmosférica ou altitude acima do nível do mar. O conceito de altitude acima do nível do mar²⁰, com base na pressão barométrica, é usado para criar um tipo de altímetro de aeronave.

Figura 17 - Barômetro



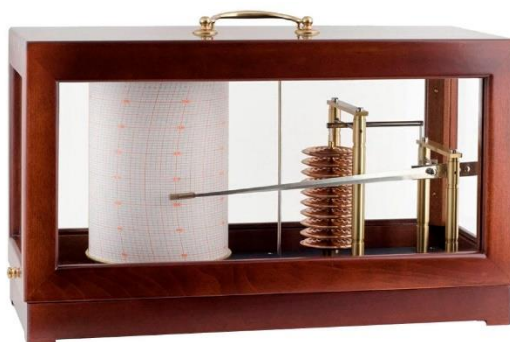
Fonte: Adaptado - <http://stoa.usp.br/narumi/weblog/85828.html>

²⁰ O nível do mar, por vezes denominado nível médio do mar (NMM) é a altitude média da superfície do mar.

Barógrafo

É um barômetro que registra mecanicamente mudanças na pressão barométrica ao longo do tempo. Embora os barógrafos de mercúrio tenham sido feitos, os barógrafos aneroides são muito mais comuns. O movimento da cápsula aneroide é ampliado através de alavancas para conduzir uma caneta de gravação. A caneta traça uma linha em um gráfico que geralmente é enrolado em um cilindro acionado por um mecanismo de relógio.

Figura 18 - Barógrafo analógico



Fonte: Adaptado - <https://www.nauticexpo.com/pt/prod/naudet-dourde/product-25383-446942.html>

Ceilômetro

É um instrumento utilizado para medir a altura das bases de nuvens e a espessura geral das nuvens. Um uso importante do ceilômetro é determinar os tetos das nuvens nos aeroportos. O dispositivo funciona nos períodos diurnos e noturnos, brilhando um intenso feixe de luz (geralmente produzido por um transmissor infravermelho ou ultravioleta ou um laser), modulado em uma frequência de áudio, em nuvens aéreas. Reflexos dessa luz da base das nuvens são detectados por uma fotocélula no receptor do ceilômetro. Existem dois tipos básicos de ceilômetros: o receptor de digitalização e o transmissor rotativo.

O ceilômetro receptor de digitalização possui seu transmissor de luz separado, fixo para direcionar seu feixe verticalmente. O receptor está estacionado a uma distância conhecida. O coletor parabólico do receptor varre continuamente para cima e para baixo o feixe vertical, procurando o ponto em que a luz cruza uma base de nuvens. Quando uma reflexão é detectada, o ceilômetro mede o ângulo vertical em relação ao ponto; um cálculo trigonométrico simples gera a altura do teto da nuvem. Muitos ceilômetros modernos de receptores de digitalização usam um pulso de laser para identificar a altura da base e do topo de uma nuvem e vários pontos intermediários para criar um perfil vertical da nuvem. O ceilômetro transmissor rotativo tem seu receptor separado fixo a reflexões diretas apenas diretamente acima da cabeça, enquanto o transmissor varre o céu. Quando o feixe modulado cruza uma base de nuvens diretamente sobre o receptor, a luz é refletida para baixo e detectada.

Figura 19 - Ceilômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measu>

Data Logger (Registrador de dados)

É um dispositivo eletrônico que registra dados ao longo do tempo ou em relação à localização, com um instrumento ou sensor embutido ou através de instrumentos e sensores externos. Cada vez mais eles são baseados em um processador digital. Eles geralmente são pequenos, alimentados por bateria, portáteis e equipados com

um microprocessador, memória interna para armazenamento de dados e sensores. Alguns registradores de dados fazem interface com um computador pessoal e usam software para ativar o registrador de dados e visualizar e analisar os dados coletados, enquanto outros possuem um dispositivo de interface local (teclado, LCD) e podem ser usados como um dispositivo independente.

Os registradores de dados variam entre os tipos de uso geral para uma variedade de aplicativos de medição e dispositivos muito específicos para medição em um único ambiente ou tipo de aplicativo. É comum que tipos de uso geral sejam programáveis, no entanto, muitos permanecem com apenas um número limitado ou sem parâmetros alteráveis. Os registradores eletrônicos de dados substituíram os gravadores de gráficos em muitas aplicações.

Um dos principais benefícios do uso de registradores de dados é a capacidade de coletar dados automaticamente 24 horas por dia. Após a ativação, os registradores de dados geralmente são implantados e deixados sem supervisão para medir e registrar informações durante o período de monitoramento. Isso permite uma imagem abrangente e precisa das condições ambientais monitoradas, como temperatura do ar e umidade relativa.

Figura 21 - Data Logger – USB



Fonte: Adaptado - <https://hallroad.org/uni-t-ut330c-usb-data-logger-in-pakistan.html>

Disdrômetro

Um disdrômetro é um instrumento usado para medir a distribuição do tamanho da gota e a velocidade dos hidrometeoros (gota d'água, floco de neve, etc.) em queda. Os disdrômetros mais recentes empregam tecnologias de micro-ondas ou laser. Os disdrômetros de vídeo 2D podem ser usados para analisar gotas de chuva e flocos de neve individuais. O disdrômetro é portanto um equipamento mais sofisticado que o pluviômetro e faz medições de parâmetros que não são medidos pelo pluviômetro (este que mede apenas o total da chuva em um intervalo de tempo, previamente anotado e registrado pelo observador ou computador, no caso de um pluviômetro digital).

Figura 22 - Disdrômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.hexis.com.br/land/med-ma-bkp>

Evaporímetro

É um instrumento que mede a taxa de evaporação da água na atmosfera, às vezes chamado de atmômetro. Os evaporadores mais conhecidos são de três tipos, aqueles que medem a taxa de evaporação de uma superfície de água livre, aqueles que medem a partir de uma superfície porosa continuamente úmida e os que medem

com a água dentro de um cilindro. No primeiro tipo, o nível de água em um tanque ou panela, geralmente afundado no solo para que a superfície da água esteja no nível do solo, é medido por um medidor de micrômetro. Depois de contabilizar os aumentos devido à chuva e as diminuições devido à drenagem deliberada, a diminuição diária do nível da água pode ser atribuída à evaporação. Num evaporímetro do segundo tipo, a taxa de evaporação é calculada de acordo com a taxa de perda de peso de um pacote úmido de material absorvente. Já o evaporímetro de Piché utiliza um cilindro de água graduado invertido com uma vedação de papel de filtro na boca. A evaporação ocorre no papel de filtro úmido e, assim, esgota a água no cilindro, para que a taxa de evaporação possa ser lida diretamente nas graduações que marcam o nível da água. Há ainda o evaporímetro digital, que contém um sensor de alta precisão pra determinar a quantidade de água evaporada em um intervalo de tempo. Para determinar a taxa de evaporação, o sensor mede as mudanças no nível da água dentro de um reservatório (recipiente, represa, rio, lago, etc.). Possui um mecanismo interno para compensar os efeitos da pressão atmosférica nas medições. Ele pode ser conectado a qualquer registrador de dados convencional para executar o armazenamento de dados e seu subsequente monitoramento em um computador.

Figura 26 - Tanque Classe A



Fonte: Adaptado - http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula8_2012.pdf

Hailpad (detector de granizo)

É um dispositivo usado para obter dados sobre a distribuição de tamanhos e a massa de pedras de granizo. Um hailpad geralmente consiste em um painel de espuma de plástico coberto por papel alumínio ou tinta branca de látex e colocado em uma estrutura que é martelada no chão. O granizo que colide com o chumaço deixa marcas amassadas. As dimensões dos amassados são analisadas para obter os dados de tamanho e massa de granizo como se pode observar nas imagens abaixo.

Figura 30 - Sequência de imagens com diferentes hailpads



Fonte: Adaptado - <https://www.cocorahs.org/Content.aspx?page=hailpadexamples>

Heliógrafo

É um dispositivo usado para medir a insolação que atinge uma superfície em um determinado dia. A insolação também é conhecida por a quantidade de "sol efetivo" que atinge a superfície. Este dispositivo é composto de um registrador de luz solar que consiste em uma bola de vidro sólida de cerca de dez centímetros de diâmetro. Essa bola de vidro é usada como se fosse uma lente para poder concentrar todos os raios do sol em um foco próximo a ela. Conforme o sol se move no céu, esse holofote passa por uma tira de papel que é fixada em uma moldura de metal paralela ao vidro. Esta tira de papel tem o formato de um semicírculo e está localizada atrás da bola de vidro sólida. A concentração do foco luminoso e calorífico traça uma linha através da carbonização mais ou menos acentuada dependendo da intensidade dos

raios solares. É assim que a insolação é medida. Nas bandas você pode ver como são marcadas as horas de cada dia. Ao longo do dia o papel é carbonizado criando uma linha mais ou menos intensa dependendo da quantidade de luz que chega. Se ele está piscando constantemente devido à presença de nuvens, a lâmpada não atua e, portanto, a linha de queima é interrompida. Se a nebulosidade voltar a desaparecer, a carbonização do papel volta a ser retomada. Ao somar os comprimentos das linhas que são queimadas ao longo do dia, você pode ver o tempo total de luminosidade do sol e a insolação do dia correspondente. É conhecido pelo nome de fração de insolação à relação que existe entre a insolação real de um dia e o que teria ocorrido se o sol estivesse continuamente brilhando na bola do Heliógrafo.

Figura 34 - Heliógrafo



Fonte: Adaptado - <https://novalynx.com/store/pc/240-1070-L-Campbell-Stokes-Pattern-Sunshine-Recorder-p501.htm>

Higrômetro

É um instrumento usado para medir a umidade ou a quantidade de vapor de água no ar. Vários tipos principais de higrômetros são usados para medir a umidade. Os higrômetros mecânicos fazem uso do princípio de que substâncias orgânicas, particularmente substâncias mais finas como a tripa de boi e cabelo humano que se contraem e se expandem em resposta à umidade. A contração e expansão do elemento capilar em um higrômetro mecânico faz com que a mola mova a agulha

no mostrador. A umidade absoluta, é a quantidade total de vapor de água presente na atmosfera. Já a umidade relativa do ar é a quantidade de vapor de água existente até o seu ponto de saturação, ou seja, até a quantidade máxima possível de presença de água no ar antes que ela se precipite. Os higrômetros digitais medem a mudança na resistência elétrica de uma fina camada de cloreto de lítio ou de um dispositivo semicondutor, conforme a umidade muda. Outros higrômetros detectam alterações no peso, volume ou transparência de várias substâncias que reagem à umidade. Os higrômetros de ponto de orvalho geralmente consistem em um espelho de metal polido que é resfriado a uma pressão constante e com um conteúdo constante de vapor até que a umidade comece a condensar. A temperatura do metal em que começa a condensação é o ponto de orvalho.

Figura 31 - Higrômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.mokslotechnologijos.lt/gamtos-mokslai/fizika-2/energija-ir-aplinkosauga>

Indicador de acumulação de gelo

O indicador de acúmulo de gelo é uma peça de alumínio em forma de L, com 38 cm de comprimento por 4 a 5 cm de largura. É usado para indicar a formação de gelo, geada ou presença de chuva gelada ou garoa congelante. Normalmente, ele é anexado a uma tela de Stevenson, a cerca de 1 metro acima do solo, mas pode ser montado em outras áreas, longe de fontes de calor artificiais. A estação meteorológica

teria dois desses indicadores no local e eles seriam trocados após cada observação meteorológica. O indicador de reposição deve sempre estar na temperatura externa do ar para garantir que esteja pronto para uso e que normalmente seja armazenado dentro da tela. Se o observador notar a presença de gelo ou geada no indicador, uma observação nesse sentido deve ser enviada na próxima observação climática. Como o indicador está na temperatura do ar e é mantido na horizontal, fornece uma excelente superfície sobre a qual se observa a precipitação congelante.

Figura 35 - Indicador de acumulação de gelo



Fonte: Vinícius Gandolfi, 2020

Perfilador de vento

É um equipamento de observação da condição de tempo que usa ondas de rádio (RADAR²¹) ou som (SODAR²²) para detectar a velocidade e a direção do vento em várias elevações acima da superfície terrestre. São feitas leituras a cada

²¹ Do inglês Radio Detection And Ranging (Detecção e Telemetria por Rádio)

²² Do inglês Sound Detection And Ranging (Detecção e Telemetria por Som)

quilômetro acima do nível do mar, até a extensão da troposfera²³. Acima desse nível, há vapor d'água insuficiente para a leitura do radar. Os dados sintetizados a partir da direção e velocidade do vento são muito úteis para previsão meteorológica e relatórios oportunos para o planejamento de voo.

Figura 36 - Radar perfilador de vento



Fonte: Adaptado - <https://www.environmental-expert.com/products/birm-model-cfl-08-low-troposphere-wind-profiler-radar-594900>

Pluviômetro

É um instrumento usado para medir a precipitação (chuva, neve, granizo) em um determinado período de tempo. O pluviômetro é um instrumento meteorológico para determinar a profundidade da precipitação (geralmente em milímetros) que ocorre em uma área unitária (geralmente um metro quadrado) e, assim, medir a quantidade de chuva. Um milímetro de precipitação medida é o equivalente a um litro de chuva por metro quadrado. Normalmente, um funil cônico de cobre ou poliéster de dimensão padrão permite que a água da chuva seja coletada em uma garrafa ou cilindro fechado para medição subsequente. O medidor é fixado em terreno aberto com o aro do funil até 30 cm acima da superfície do solo. Alguns medidores são calibrados para permitir que a quantidade de chuva seja lida diretamente; com outros, deve ser calculado a partir da profundidade da água no recipiente e das dimensões do funil. O Pluviômetro de Báscula, possui uma abertura na parte superior do sensor,

²³ A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera terrestre.

onde a chuva é coletada e, em seguida, canalizada por um funil para um dispositivo mecânico, chamado de balde de inclinação ou báscula. À medida que a água é coletada, a báscula de inclinação se preenche ao ponto em que ela perde o seu ponto de equilíbrio, e assim joga a água para fora do pluviômetro, por baixo do instrumento esvaziando a báscula e dando início ao preenchimento da outra parte da báscula, causando um fechamento momentâneo de um interruptor magnético, ocasionado por um ímã. Essa chave de contato seco é que gera o nome de pluviômetro de contato seco. O Pluviômetro digital é um coletor de dados de precipitação o qual armazena o histórico de chuvas em sua memória digital, o qual é alimentado por uma bateria de pequeno porte que suporta de 1 ano de operação. Este pluviômetro medidor de chuva possui um datalogger interno e possibilita descarregar os dados no computador via USB.

Figura 41 - Pluviômetro de báscula



Fonte: Adaptado - <https://sigmasensors.com.br/produtos/pluviometro-de-bascula-tr-525m>

Piranômetro

Um piranômetro é um instrumento com sensor que converte a radiação solar global que recebe em um sinal elétrico que pode ser medido. Os piranômetros medem uma determinada parte do espectro solar. Um piranômetro não responde à radiação de ondas longas. Em vez disso, um pirgeômetro é usado para medir a radiação de ondas longas. O termo radiação solar global refere-se à quantidade total de energia

solar recebida pela superfície terrestre (em Watts/m²). Isso inclui tanto a radiação direta que passa diretamente pela atmosfera para a superfície da Terra, quanto a radiação difusa do céu, dispersa na atmosfera.

Figura 37 - Piranômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.hukseflux.com/products/solar-radiation-sensors/pyranometers>

Pirgeômetro

Um pirgeômetro mede as mudanças de resistência em um material sensível à transferência de energia líquida por radiação que ocorre entre ele e seus arredores (que pode ser dentro ou fora). Medindo também sua própria temperatura e fazendo algumas suposições sobre a natureza de seu entorno, pode inferir uma temperatura da atmosfera local com a qual está trocando radiação.

Figura 37 - Pirgeômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.hukseflux.com/products/solar-radiation-sensors/pyrgeometers>

Pireliômetro

É um instrumento utilizado para medir a irradiância solar por feixe direto. A luz solar entra no instrumento através de uma janela e é direcionada para uma termopilha que converte calor em um sinal elétrico que pode ser gravado. A tensão do sinal é convertida através de uma fórmula para medir watts por metro quadrado. O sol é a principal fonte de energia da Terra. Isso tem implicações importantes em duas áreas: tempo e clima, por um lado, e produção de energia pela captação de energia solar, por outro. A radiação solar é uma das forças motrizes por trás dos padrões climáticos da Terra e, portanto, um fator importante nos estudos climáticos e meteorológicos. Nesses estudos, os pireliômetros são frequentemente combinados com piranômetros para medir todos os componentes da radiação solar; direta, global e difusa.

Figura 39 - Pireliômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.hukseflux.com/applications/solar-energy-pv-system-performance-monitoring/what-is-a-pyrheliometer>

Projeto luminoso

É um instrumento meteorológico para medir a altura das nuvens à noite. Ele mede a altura da base da nuvem. O foco da nuvem consiste em dois componentes: a visão do foco e a alidade ou clinômetro - instalados a uma certa distância do projetor. O Holofote consiste em lâmpadas instaladas em carcaça protegida. Dentro do

gabinete existem dois espelhos. O primeiro - a lâmpada acima - reflete a luz baixa e o segundo - reflete a luz até as nuvens. Ambos os espelhos estão configurados para produzir um feixe de luz de alta intensidade que cria um ponto de luz visível na base das nuvens para que a medição possa ser aferida.

Figura 43 - Projetor de luz



Fonte: Adaptado - <http://www.nwclimate.org/guides/meteorological-instrumentation/>

Psicrômetro

É um higrômetro composto por dois termômetros semelhantes. O bulbo de um termômetro é mantido úmido (por meio de uma trama fina e úmida), de modo que o resfriamento resultante da evaporação registre uma temperatura mais baixa que o termômetro de bulbo seco. Quando as leituras são feitas simultaneamente, é possível (com o uso de tabelas ou diagramas psicrométricos) determinar a umidade relativa e a temperatura do ponto de orvalho do ar. Uma diminuição na umidade do ar traz um aumento na diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido, denominada de pressão por bulbo úmido. Um gráfico psicrométrico facilita a localização da umidade relativa após a realização da leitura. Isso reduz a necessidade de cálculos que podem ser difíceis de executar quando em campo. Há, porém, uma variação do gráfico de acordo com a pressão atmosférica do local em que se está utilizando o psicrômetro. Para quem realmente quer saber o que compõe um psicrômetro, é bastante fácil fabricá-lo em casa para ver como ele funciona. Tudo o que você precisa é de um par de termômetros e um envoltório de tecido para que um dos bulbos absorva água até

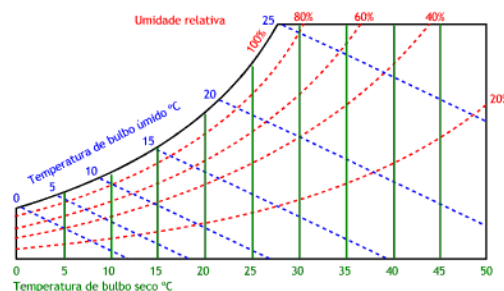
a massa para evaporação. É um projeto científico simples que pode ser concluído com apenas alguns itens. Existem outros dispositivos, incluindo psicômetros ventilados e aspirados, projetados para trabalhar com ventiladores que ventitam o termômetro de bulbo úmido. O processo propicia taxas de evaporação mais uniformes, o que produz uma leitura mais precisa. Ao usar um psicômetro, deve-se tomar cuidado para evitar aquecer o termômetro ou colocá-lo em um local muito quente ou muito frio, o que pode levar a uma leitura imprecisa. O uso de um psicômetro para calibrar um higrômetro garante as leituras mais precisas quando se trata de determinar a umidade relativa. Aqueles que dependem de leituras atmosféricas precisas para seus trabalhos, incluindo aqueles que trabalham ou treinam ao ar livre, geralmente utilizam a tecnologia psicômetro como parte de um dispositivo portátil de medidor climático projetado para uso em campo. Os dispositivos úteis podem ser usados para rastrear várias condições atmosféricas diferentes, fornecendo dados altamente precisos quando necessário.

Figura 45 – Psicômetro



Fonte: Adaptado - <https://www.optikascience.com/optikascience/product/2033-psicrometro/>

Figura 46 - Exemplo de diagrama psicrométrico



Fonte: Adaptado - https://www.msps.eng.br/dirA0/ar_vap_ag1.

Radiômetro

Um radiômetro é um instrumento para se detectar ou medir energia radiante. O termo é aplicado em particular a dispositivos usados para medir radiação infravermelha. Os radiômetros são de vários tipos que diferem em seu método de medição ou detecção. Aqueles que funcionam por meio de um aumento na temperatura do dispositivo, são chamados detectores térmicos. Os detectores térmicos comumente usados incluem um termopar²⁴, que produz uma voltagem quando aquecido, e um bolômetro²⁵, que sofre uma alteração na resistência elétrica quando aquecido. O termo radiômetro é frequentemente usado para se referir especificamente a um tipo de detector inventado por Sir William Crookes no final do século XIX. Raramente é usado como um instrumento científico, porque foi considerado insensível e não é facilmente calibrado, mas abriu o caminho para os instrumentos mais exatos em uso atualmente. O Radiômetro de Crookes consiste em uma lâmpada de vidro da qual a maior parte do ar foi removida, criando assim um vácuo parcial e um rotor montado em um suporte vertical dentro da lâmpada. O rotor suporta quatro braços horizontais leves montados perpendicularmente um ao outro em um pivô central; o rotor pode girar livremente no plano horizontal. Na extremidade externa de cada braço está montada uma palheta de metal vertical. Cada palheta tem um lado polido e o outro lado enegrecido. As palhetas estão dispostas de modo que o lado polido de uma fique voltado para o lado enegrecido da próxima. Quando a energia radiante atinge as superfícies polidas, a maior parte é refletida, mas quando atinge a superfície escura, a maior parte é absorvida, aumentando a temperatura dessas superfícies. O ar próximo a uma superfície escura é, assim, aquecido e exerce uma pressão sobre a superfície, fazendo com que o rotor gire.

²⁴ sensor de temperatura simples.

²⁵ é um instrumento utilizado na medição de radiação eletromagnética incidente através do aquecimento de um material que tem sua resistência elétrica dependente da temperatura

Figura 49 - Radiômetro de *Crookes*



Fonte: Adaptado - <https://azeheb.com.br/radiometro-de-crookes.htmllog/85828.html>

Conjunto de equipamentos meteorológicos

Abrigo de instrumento

Também conhecido como tela de Stevenson²⁶, o abrigo é um compartimento para instrumentos meteorológicos contra precipitação e radiação direta de calor de fontes externas, enquanto ainda permite que o ar circule livremente ao seu redor. Seu objetivo é fornecer um ambiente padronizado para medir temperatura, umidade, ponto de orvalho e pressão atmosférica. É de cor branca para refletir a radiação solar direta e pode ter configuração desde a mais simples, contendo um termômetro máximo e mínimo para leituras diárias até a mais completa, contendo muitos instrumentos. Há ainda outras nomenclaturas para as telas de Stevenson: Abrigo de região de algodão, abrigo de termômetro, tela térmica ou tela de termômetro.

²⁶ Por ter sido projetado por Thomas Stevenson (1818-1887).

Figura 1 - Tela de Stevenson



Fonte: Adaptado - <https://www.indiamart.com/proddetail/stevenson-screen-4827179862.html>

Aerosonda (VANT)

Embora tecnicamente os VANTs sejam a mesma coisa que os drones, ou seja, possuem hélices e são veículos não tripulados, eles se diferenciam pelo seu propósito de uso. VANT é a sigla para Veículo Aéreo Não Tripulado. O seu objetivo se dá geralmente para fins de pesquisa científica e experimentos. Quando equipado com uma aerossonda, serve para recolher dados de tempo, incluindo a temperatura, a pressão atmosférica, a umidade e medições de vento sobre os oceanos e áreas remotas. Sua utilidade é coletar dados sobre o oceano, onde as estações meteorológicas são escassas e distantes entre si. Suas medições de temperatura, pressão, umidade e vento na atmosfera complementam os dados “gerais” fornecidos pelos satélites, permitindo um estudo meteorológico mais completo nas costas marítimas.

Figura 2 - Ilustração de uma Aerossonda



Fonte: Adaptado - https://barnardmicrosystems.com/UAV/milestones/atlantic_crossing_1.html

Estação meteorológica automática

É uma versão automatizada da estação meteorológica tradicional, muito utilizada pra coleta de dados em áreas remotas. Em termos gerais, um sistema de estação meteorológica automática geralmente consiste em:

- Um conjunto de sensores montados ao ar livre para medir variados parâmetros climáticos;
- Uma unidade de console, geralmente localizada em ambiente interno, para agrupar e exibir as leituras meteorológicas;
- Opcionalmente, um registrador de dados para vincular o sistema a um computador;
- O número e o tipo de sensores externos obviamente variarão com o objetivo e a sofisticação do sistema AWS²⁷, mas podem ser instalados sensores para algumas ou todas as seguintes leituras meteorológicas:

- Anemômetro para velocidade e direção do vento;

Temperatura do ar;

- Medidor de chuva;
- Umidade;
- Pressão barométrica (geralmente medida por um sensor em ambiente interno);

Os sensores de temperatura e umidade são tipicamente alojados dentro de uma “proteção contra radiação” com persianas brancas (para evitar que a radiação solar direta aqueça os elementos do sensor).

Uma estação mais avançada também pode ser capaz de medir:

- Níveis de luz solar e intensidade de UV;

²⁷ Sigla para Estação meteorológica automática em inglês.

- Níveis adicionais de temperatura e umidade;
- Parâmetros de interesse na agricultura, como umidade do solo e umidade das folhas;
- Os sensores externos serão conectados de volta ao console (normalmente localizados em ambientes fechados) de duas maneiras: via cabos ou via link sem fio de curto alcance.

Figura 25 - Estação meteorológica automática



Fonte: Adaptado - <http://7wdx.cn/product/0125868267.html>

Estação meteorológica

É uma instalação, terrestre ou marítima, com instrumentos e equipamentos para medir as condições atmosféricas para fornecer informações sobre previsões meteorológicas e estudar o tempo e o clima. As medidas tomadas incluem temperatura, pressão atmosférica, umidade, velocidade do vento, direção do vento e quantidade de precipitação entre outras mais. As medições de vento são realizadas com o menor número possível de obstruções, enquanto as medições de temperatura e umidade são mantidas livres de radiação solar direta ou insolação. As observações manuais são realizadas pelo menos uma vez ao dia, enquanto as medições automatizadas são realizadas pelo menos uma vez por hora. As condições climáticas no mar são tomadas por navios e boias, que medem quantidades meteorológicas ligeiramente diferentes, como temperatura da superfície do mar, altura e período das ondas. As bóias meteorológicas são instrumentos que coletam dados climáticos e

oceanográficos nos oceanos e lagos do mundo. Bóias ancoradas estão em uso desde 1951, enquanto bóias flutuantes são usadas desde o final da década de 1970. As bóias ancoradas são conectadas ao fundo do mar usando correntes, nylon ou polipropileno flutuante. As bóias meteorológicas à deriva superam as versões ancoradas em uma quantidade significativa.

Figura 23 - Estação meteorológica



Fonte: Adaptado - <https://www.iag.usp.br/esta%C3%A7%C3%A3o-meteorol%C3%B3gica>

Satélites meteorológicos

São uma importante ferramenta de observação para todas as escalas das operações de previsão do tempo. Os dados de satélite, com uma visão global, complementam sistemas terrestres como radiossondas, radares meteorológicos e sistemas de observação de superfície. Existem dois tipos de satélites meteorológicos: os de órbita polar e geoestacionária. Ambos os sistemas de satélites têm características únicas e produzem produtos muito diferentes. Os satélites polares, em suas órbitas norte-sul, observam o mesmo local na Terra duas vezes por dia, uma vez durante o dia e outra à noite. Os satélites orbitais polares fornecem imagens e sons atmosféricos de dados de temperatura e umidade em toda a Terra. Os satélites geoestacionários estão numa órbita em torno de 35 mil quilômetros acima do equador, giram na mesma taxa da Terra e se concentram constantemente na mesma área. Isso permite que o satélite tire uma foto da Terra, no mesmo local, a cada 30 minutos. O

processamento desses dados por computador cria “loop de filmes” dos dados que os meteorologistas usam como “visão aérea” em tempo real do espaço.

Durante surtos climáticos severos, os satélites geoestacionários podem ser comandados a capturar imagens a cada 5 a 15 minutos, e se concentrarão em áreas impactadas menores. Em ocasiões muito especiais, pode-se ordenar aos satélites geoestacionários que tirem uma foto a cada minuto, mas de uma área muito pequena como uma forte tempestade. Os satélites geoestacionários também podem obter perfis atmosféricos de temperatura e umidade, mas com uma resolução reduzida em comparação com satélites polares e sondas de radiossonda.

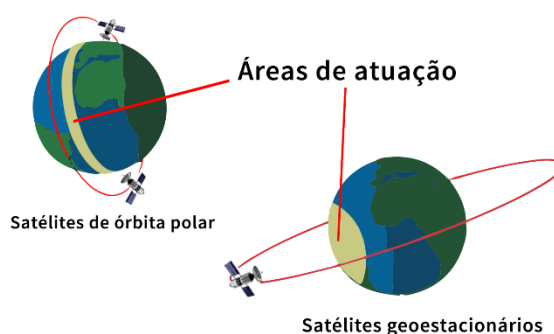
A ideia de observar o tempo na Terra a partir do espaço foi introduzida pela primeira vez na década de 1940. O primeiro satélite climático, chamado Vanguard 2, foi lançado em 1959. Por conta da falta de um eixo de rotação e por sua órbita ser imprecisa, o Vanguard 2 não colaborou com dados úteis. O primeiro satélite climático considerado bem-sucedido foi o TIROS-1, lançado em 1960 pela NASA, que ficou ativo por 78 dias. A partir daí, a tecnologia de satélite foi aprimorada, resultando nos dois tipos de satélites mencionados anteriormente.

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se denominar Landsat. A missão, em sua maioria, foi gerenciada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela U.S. Geological Survey (USGS) e envolveu o lançamento de sete satélites. A série Landsat continua em atividade até hoje, o que significa mais de 30 anos contribuindo para a evolução das técnicas de sensoriamento remoto em instituições do mundo todo.

Exemplos de usos dos satélites:

- As medições de radiação da superfície e da atmosfera da Terra fornecem informações sobre quantidades de calor e energia liberadas da Terra e da atmosfera da Terra.
- A atividade pesqueira obtém informações valiosas sobre a temperatura do mar a partir de medições feitas por satélites.
- Os satélites monitoram a quantidade de neve no inverno, o movimento dos campos de gelo no Ártico e Antártico e a profundidade do oceano.

Figura 50 - Esquema ilustrativo de tipos de órbitas de satélites



Fonte: Vinícius Gandolfi, 2020

Algumas das aplicações dos instrumentos meteorológicos

Não importa onde vivemos no mundo, ser capaz de realizar um prognóstico sobre tempo pode ser vantajoso. A maioria das atividades está intimamente ligada ao clima, e as comunidades que têm alguma ideia sobre, podem, de certa forma planejar suas atividades. A estabilidade e as médias do clima são importantes porque as civilizações contam com condições previsíveis consistentes para o fornecimento de recursos, além do regular funcionamento das atividades cotidianas. Todo esse estudo se faz com vasta instrumentação – boa parte dela apresentada neste guia – afim de incrementar e dar mais qualidade aos resultados que podem ser utilizados

como base técnica para os avisos meteorológicos que são frequentemente emitidos por razões econômicas ou de segurança.

- Pecuária - Avisos meteorológicos para pecuaristas, alertando-os sobre clima frio, úmido e ventoso que, de certa forma, pode ter impacto desastroso aos animais.

- Agricultura - O clima não afeta apenas os níveis de conforto para os humanos, mas também pode ter um sério impacto nas safras agrícolas. Quando o clima está quente e úmido, as pessoas podem se sentir letárgicas, mas essas condições também significam que doenças fúngicas podem se espalhar pelas plantações, reduzindo a produção e estragando as frutas. Avisos onde condições úmidas são previstas permitem que os agricultores tenham tempo para tratar as frutas, a fim de evitar surtos de doenças fúngicas.

- Avisos marítimos e náuticos - Além de emitir previsões para o prazer e a segurança da navegação recreativa, os avisos sobre o transporte marítimo são importantes, visto que o transporte aquático é geralmente o meio mais econômico e eficiente de transportar mercadorias entre países. Avisos e previsões ajudam o tráfego marítimo a evitar condições climáticas perigosas, o que mantém os custos de transporte baixos e, assim, torna os produtos mais acessíveis.

- Tráfego aéreo - A indústria da aviação é especialmente sensível ao clima. Nevoeiro e/ou tetos de nuvens excepcionalmente baixos podem impedir a aterrissagem ou decolagem de aeronaves. Da mesma forma, turbulência e gelo podem ser perigos durante o voo.

- Ciclones, furacões, tornados e tempestades - Um dos principais usuários finais de uma previsão é o público em geral. Tempestades podem causar ventos fortes, quedas

de raios perigosos que podem causar mortes e quedas de energia e danos generalizados com granizo. A neve forte ou a chuva podem paralisar o transporte e o comércio, bem como causar inundações em áreas baixas. Ondas excessivas de calor ou frio podem matar ou adoecer aqueles que não têm os serviços adequados para se aquecer ou resfriar.

Epílogo

Desde que os humanos existem, eles se atentam ao tempo e ao clima. Eles observaram os ventos para entender de quais direções específicas vinham cada tipo de clima e observaram os diferentes tipos de nuvens na tentativa de prever o tempo que se aproximava. O comportamento de insetos, pássaros e animais podem ser reconhecidos por especialistas como sinais de mudanças climáticas. Em todo o mundo, o clima local influencia a forma como as pessoas vivem: determinam os tipos de casas que construímos para o conforto e a segurança; a periodização de produção de alimentos; que tipo de roupas usamos e produzimos; e as oportunidades de lazer que desfrutamos. Todos esses elementos correspondem a nossos padrões climáticos de longo prazo. Nós nos esforçamos para entender e prever o tempo para melhorar nossas vidas. À medida que os cientistas inventaram instrumentos meteorológicos confiáveis e acessíveis, e os métodos de comunicação e registro de dados melhoravam, as pessoas começaram a juntar esforços para coletar e compartilhar seus registros meteorológicos. Com o tempo, as organizações científicas começam a estabelecer redes de estações de observação do tempo em vários países pelo mundo. Há hoje na Terra milhares de estações meteorológicas oficiais e muitos mais observadores voluntários que registram dados meteorológicos todos os dias. Em muitas estações, os observadores obtiveram um registro contínuo que abrange várias décadas.

Assim como os instrumentos meteorológicos baseados no solo melhoraram ao longo dos anos, nossa capacidade de medir o tempo em alturas acima da superfície também se aperfeiçoou. Os primeiros métodos de monitoramento do clima nas camadas acima de onde habitam os humanos incluíam o uso de pipas, balões e aviões. Hoje, temos um grande número de satélites com sensores especializados orbitando o planeta, monitorando nosso clima a quilômetros de altura. Não há dúvida de que o clima desempenha um papel importante na sociedade. Conforme compreendemos mais sobre seu complexo funcionamento, melhor elaboramos soluções, seja para assuntos

sofisticados de interesse geral ou mero conforto pessoal no nosso dia a dia. Fato é que nossa evolução para a construção de parte desse entendimento se deu e ainda se dá com auxílio dos instrumentos meteorológicos apresentados nesse trabalho.

Referências bibliográficas

AZEVEDO, Tarik Rezende de; GALVANI, E. Técnicas de Climatologia. In: Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula. ed.São Paulo: Sarandi, 2011, p. 107-134.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. Meteorologia e Climatologia. Recife, Pernambuco, 2006. Versão digital 2.

JACOBSON, Mark Z. (June 2005). Fundamentals of Atmospheric Modeling (paperback) (2nd ed.). New York: Cambridge University Press. p. 828. ISBN 978-0-521-54865-6.

GRIGULL, U., Fahrenheit, a Pioneer of Exact Thermometry. Heat Transfer, 1966, The Proceedings of the 8th International Heat Transfer Conference, San Francisco, 1966, Vol. 1.

BECKMAN, Olof, History of the Celsius temperature scale., translated, Anders Celsius (Elementa,84:4,2001); English

RJ Doviak e DS Zrnic, Doppler Radar and Weather Observations , Academic Press. Seconde Edition, San Diego Cal., 1993 p. 562.

BURT, Stephen, The weather observer's handbook, Cambridge University Press. Third Edition, 2012.

HANSON, Anders, Meteorologist's tools, Abdo publishing, Minneapolis, 2011.

BURCH, David F. The Barometer Handbook; a modern look at barometers and applications of barometric pressure. Seattle: Starpath Publications (2009), ISBN 978-0-914025-12-2.

Middleton, W. E. Knowles. (1964). The history of the barometer.

Baltimore: Johns Hopkins Press. New edition (2002), ISBN 0-8018-7154-9.

KAMPFF, Joseph. What are weather instruments? Rosen education service, Britannica, 2015.

DEFELICE, Thomas P. An introduction to meteorological instrumentation and measurement. Prentice Hall, 1997.

MORAN, Joseph. Weather Studies: Introduction to Atmospheric Science (3ª edição, Copyright 2006)

STRENGEWAYS, Ian A History of pluviômetros, TerraData, 2010

AHRENS, C Donald. Meteorology Today. Loose Leaf - 1 de janeiro de 1794

FRIEDMAN, Robert Marc. Appropriating the Weather: Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology (Cornell History of Science Series) Hardcover – 1 Jan. 1862

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosphere, Weather and Climate. 8ª ed. London: Routledge, 2003, 421 p.

BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso. BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA (the conceptual bases in geographical climatology). Mercator, Fortaleza, v.8, n.16, p. 255 a 261, oct. 2009. ISSN 1984-2201