

REDE OMEGA CENTAURI
para o Aprimoramento da Educação Científica

Núcleo de Meteorologia

Central de Operações de Lomba Grande

Unidade Técnico-Logística do Morro dos Cabritos

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE

Manual Técnico

(versão 1.1)

L. A. L. da Silva

Junho de 2021

Ref.: ωκ-SP-2021.02

I. INTRODUÇÃO

A Estação Meteorológica de Superfície do Morro dos Cabritos, localizada em Lomba Grande, distrito rural da cidade de Novo Hamburgo, RS, Brasil, faz parte da Unidade Técnico-Logística da Central de Operações da Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica (www.redeomegacentauri.org), estando subordinada ao Núcleo de Meteorologia da Rede.

Seu principal objetivo é realizar o monitoramento meteorológico local, somando-se à rede geral de estações meteorológicas da região do Vale do Rio dos Sinos. Funcionando em regime experimental desde Junho de 2017, passou a fazer o monitoramento sistemático a partir de 2020, observando diversas variáveis meteorológicas, embora não esteja ainda com toda a sua configuração instrumental completa.

Neste trabalho nós descrevemos em detalhes as características gerais da estação, sua localização geográfica, instrumentos disponíveis, calibrações e aferições efetuadas, e tipos de variáveis meteorológicas atualmente monitoradas.

II. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A estação está localizada no Morro dos Cabritos, na região conhecida como Morro dos Bois, no distrito de Lomba Grande, perímetro rural da cidade de Novo Hamburgo, RS, Brasil. Suas coordenadas geográficas foram determinadas através de levantamento com GPS de alta precisão, resultando:

Latitude φ : $-29^{\circ} 47' 08.68''$

Longitude λ : $51^{\circ} 00' 02.90''$ W

Altitude h : 190.51 m

Este ponto fica situado no coração do Morro dos Cabritos, onde existe uma espécie de vale interno, com extensa cobertura vegetal de Mata Atlântica nativa e Mata Atlântica em recuperação, na encosta oeste do referido morro, aproximadamente a dois terços da sua cota máxima de cerca de 300 metros. Ver as figuras 1 e 2.

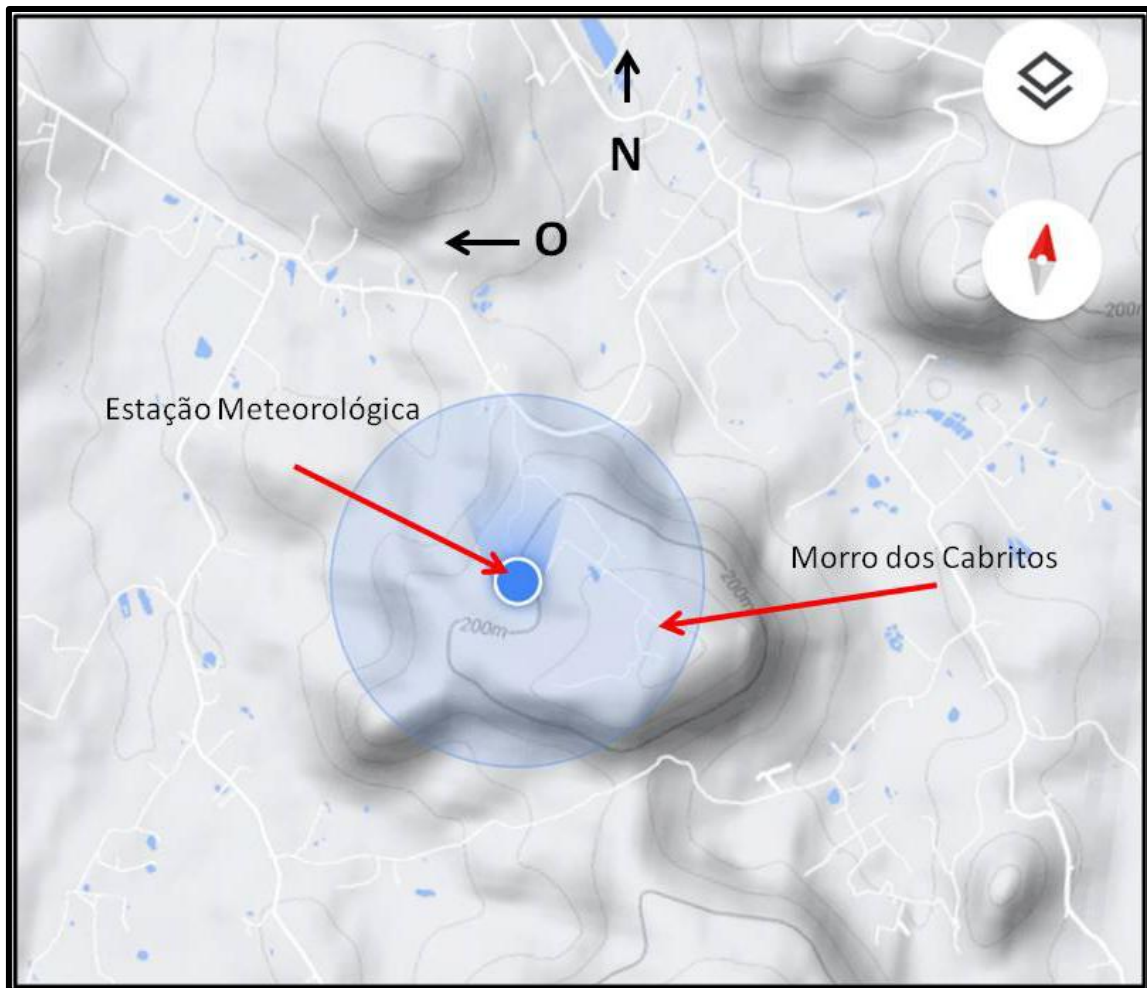


Fig. 1 - Planta geral do Morro dos Cabritos, em Lomba Grande, Novo Hamburgo, Brasil, com a localização da Estação Meteorológica homônima. (Crédito da Imagem: *Google Maps*).



Fig. 2 - Imagem de satélite mostrando a localização da Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos, em Lomba Grande, Novo Hamburgo, Brasil (Crédito da Imagem: *Google Earth*).

III. RESPONSABILIDADE TÉCNICA E OPERACIONAL

A responsabilidade técnica e operacional da Estação Meteorológica de Superfície do Morro dos Cabritos é do professor Luiz Augusto L. da Silva, físico e astrônomo, professor universitário, pesquisador, e atuante em divulgação científica desde 1979, que reside no local. O professor Luiz Augusto é astrofísico profissional e aficionado por meteorologia.

IV. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS OBSERVADAS

Em sua configuração atual (Junho de 2021), a Estação Meteorológica de Superfície do Morro dos Cabritos está apta a monitorar regularmente os seguintes parâmetros meteorológicos:

- Temperatura do ar;
- Temperatura de relva;
- Temperatura do solo (geotermômetros);
- Umidade do ar, relativa e absoluta;
- Pressão atmosférica;
- Direção e velocidade do vento;
- Pluviosidade acumulada e fluxo pluviométrico;
- Evaporação;
- Balanço Evaporação/Precipitação;
- Evapotranspiração potencial;
- Incidência de orvalho;
- Insolação;
- Horas de insolação;
- Iluminação ambiental;
- Incidência de radiação ultravioleta;
- Nebulosidade (fração de cobertura do céu, descrição e tipos de nuvens presentes);
- Ocorrência de fenômenos de óptica atmosférica (arco-íris, halos, parélios, etc);
- Nível de ruído ambiental.

V. INSTRUMENTAÇÃO

A seguir descrevemos detalhadamente a instrumentação utilizada para o registro periódico das variáveis meteorológicas arroladas na secção anterior.

V.1 - Termometria

V.1.1 - Temperatura do Ar

V.1.1.1- Instrumentação Termométrica

A temperatura do ar é medida por um *ensemble* de sensores digitais e termômetros analógicos de mercúrio e de álcool instalados a 1.5 metros de altura do solo em abrigo meteorológico padrão, construído em madeira com paredes de venezianas duplas, pintado na cor branca fosca, com porta virada para o lado sul. A iluminação interna deste abrigo, para viabilizar observações no período noturno, é proporcionada por luz "fria", mantida acesa apenas durante a operação de coleta dos dados.

Os valores coletados diariamente nos horários padronizados internacionalmente pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), isto é, 00h, 06h (raramente), 12h e 18h GMT, resultam da média aritmética de oito leituras proporcionadas pelos seguintes instrumentos:

a) Termômetro digital Minipa modelo MT-240: Possui dois sensores digitais, um para a medida da temperatura interna, e outro para a temperatura externa. No presente caso, ambos os sensores acham-se instalados dentro do abrigo meteorológico, portanto medindo a mesma condição (temperatura à sombra, em local ventilado, sem corrente de ar, e a 1.5 m de altura sobre o solo). De acordo com as especificações do fabricante, o sensor de temperatura interna opera no intervalo de temperaturas entre 0° C e $\approx + 60^{\circ}$ C (32° F a $\approx 140^{\circ}$ F), proporcionando leituras com precisão de $\pm 1.0^{\circ}$ C (na faixa de temperatura entre 0° C e $\approx + 40^{\circ}$ C), e $\pm 2.0^{\circ}$ C (no intervalo de temperaturas entre +40° C e $\approx +60^{\circ}$ C), com resolução de 0.1° C.

O sensor para temperatura externa foi projetado para operar na faixa de temperatura de -50° C a $\approx +70^{\circ}$ C (-58° F a $\approx +158^{\circ}$ F), possuindo

precisão de $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ (no intervalo de temperatura entre -14°C e $\approx +40^{\circ}\text{C}$) e $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ (entre -50°C e -14°C , ou entre $+40^{\circ}\text{C}$ e $\approx +70^{\circ}\text{C}$), também com resolução de 0.1°C .

b) Termômetro digital Oregon: Faz parte do conjunto de sensores de uma estação meteorológica digital Oregon modelo WMR928NX, cuja CPU encontra-se instalada no interior do abrigo meteorológico. A alimentação desta estação se faz por energia solar (sensores) e corrente elétrica (CPU), sendo os dados dos diferentes sensores transmitidos à CPU por sinais de rádio na frequência de 433 MHz. São dois sensores de temperatura, ambos instalados no interior do abrigo meteorológico. O sensor de temperatura externa foi projetado para operar na faixa de temperatura de -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$ com resolução de 0.1°C . O sensor de temperatura interna opera entre -5°C e $+50^{\circ}\text{C}$, também com resolução de 0.1°C .

c) Termômetro analógico de álcool marca Incoterm: É o termômetro de bulbo seco pertencente ao psicrômetro. Mede temperaturas na faixa que vai de -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$ com divisões da escala de 1°C . A leitura deste termômetro é feita visualmente pelo operador munido de uma lupa, e possui incerteza típica de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.



Fig. 3 - Vista parcial da Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos.

d) Termômetros analógicos de mercúrio marca Incoterm: Termômetros que integram o par para marcação da temperatura máxima e da temperatura mínima, apresentando escalas de -38°C a $+50^{\circ}\text{C}$ com divisões de 1 em 1 grau Celsius, lidos independentemente um do outro, visualmente pelo operador, munido de uma lupa, apresentando incertezas típicas de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

e) Termógrafo analógico: Este termômetro é parte integrante de um termohigrógrafo analógico Politerm modelo POL-23, instalado no interior do abrigo meteorológico. Registra continuamente em uma carta de papel a curva de variação da temperatura (e também da umidade relativa do ar) em função do tempo. O sensor responsável pela medida da temperatura é de liga bimetálica, operando na faixa que vai de -20°C a $+50^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ e resolução de 0.1°C a 0.2°C . A leitura do valor instantâneo da temperatura no momento da observação é feita opticamente pelo operador, munido de uma lupa. A esta leitura vem sendo aplicada uma correção instrumental de $+1.7^{\circ}\text{C}$, valor que resultou de cuidadosas e repetidas comparações das leituras proporcionadas por este instrumento e os termômetros de mercúrio descritos no item *d*.

V.1.1.2 - Temperaturas Máxima e Mínima:

Os valores diários das temperaturas máxima e mínima são determinados a partir da média aritmética dos respectivos valores extremos registrados pelos dois sensores Minipa, pelos dois sensores Oregon, pela curva do termógrafo, e pelos termômetros analógicos de máxima e mínima Incoterm, num total de 6 leituras para cada valor extremo.

V.1.1.3 - Temperatura Média Diária:

Diariamente calcula-se a temperatura média do período, empregando-se a equação:

$$T_{med} = (T_{min} + T_{max})/2 \quad (1)$$

onde T_{med} é a temperatura média diária, T_{min} é a média aritmética dos valores de temperatura mínima obtidos pelos sensores descritos no sub-

item V.1.1.2, e T_{max} é a média aritmética dos valores de temperatura máxima obtidos pelos mesmos sensores.



Fig. 4 - Vista frontal externa do abrigo meteorológico.

A temperatura média diária é, então, plotada manualmente em um gráfico construído sobre papel de formulário contínuo quadriculado, proporcionando desta forma uma opção de visualização mais confortável das tendências de variação sazonal daquele parâmetro.

V.1.1.4 - Temperatura Média Mensal:

É obtida pela média aritmética das temperaturas médias de todos os dias do mês.

V.1.1.5 - Temperatura Média Anual:

É obtida pela média aritmética das temperaturas médias de todos os meses do ano.

V.1.2 - Temperatura de Relva:

A temperatura do ar junto à superfície de relva é medida com um termômetro analógico de álcool instalado rente ao solo, fixado ao conjunto de geotermômetros (veja o próximo sub-item). A resolução

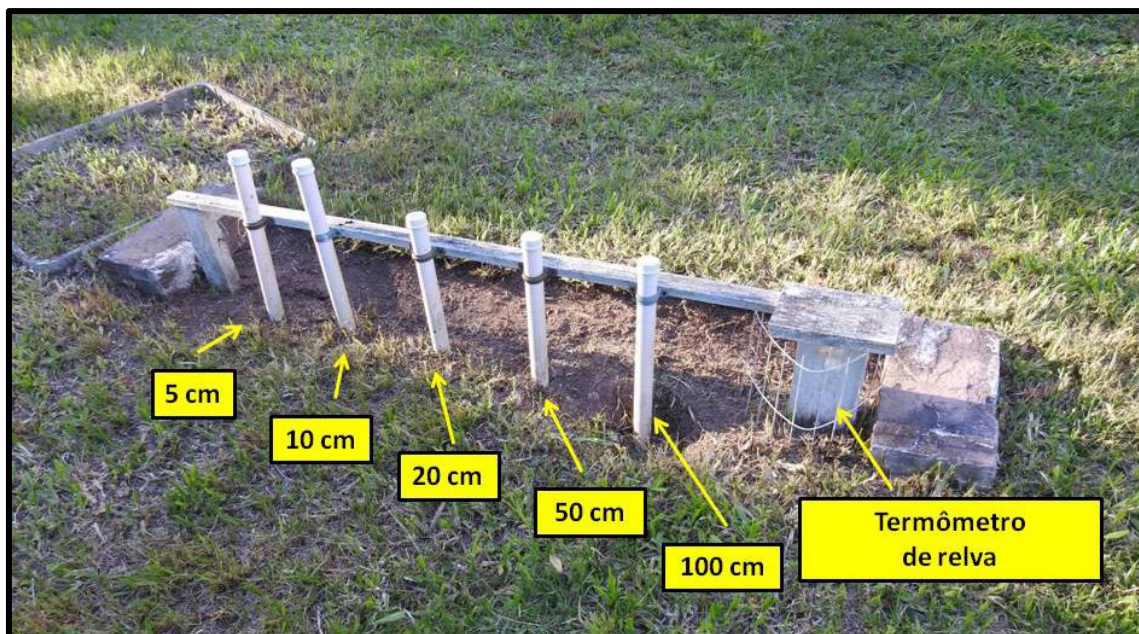


Fig. 5 - Geotermômetros e termômetro de relva.

típica das leituras realizadas visualmente pelo observador com auxílio de uma lupa é de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.

V.1.3 - Temperatura do Solo:

A temperatura do solo nú em diferentes profundidades é realizada por uma bateria de sensores geotermométricos, instalados em linha na orientação leste-oeste, e a profundidades de 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, e 100 cm. No lugar dos tradicionais termômetros analógicos com hastes curvadas em ângulos, empregamos termopares. A leitura da temperatura nas diferentes profundidades mencionadas acima é realizada conectando-se cada termopar a um multímetro Minipa modelo ET-1110 DMM.

Este equipamento suporta a leitura de temperaturas na faixa que vai de -20°C a $+750^{\circ}\text{C}$, com resolução de 1°C e precisão de $\pm 1\%$ entre -20°C e $\approx +400^{\circ}\text{C}$, e $\pm 2\%$ entre 401°C e $\approx 750^{\circ}\text{C}$. A faixa de medida dos termopares vai de -40°C a $\approx 204^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0.75\%$ ou $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$.

Ressalte-se que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda o uso de termopares ou outro tipo de sensor digital de temperatura no lugar dos termômetros tradicionais, a fim de minimizar a condução de calor para dentro do solo pelos tubos de vidro.

V.2 - Higrometria

V.2.1 - Umidade Relativa do Ar:

V.2.1.1 - Instrumentação Higrométrica:

Para a determinação da umidade relativa do ar são utilizados quatro instrumentos, a saber:

a) Higrômetro digital Minipa modelo MT-240: Funciona na faixa de 20% a $\approx 90\%$ com precisão de $\pm 5\%$ e resolução de 1%.

b) Higrômetro digital Oregon: Integrante da estação meteorológica modelo WMR928NX. Inclui dois sensores digitais para a medida da umidade relativa do ar, operacionais na faixa de valores entre 2% e 98% com resolução de 1%.

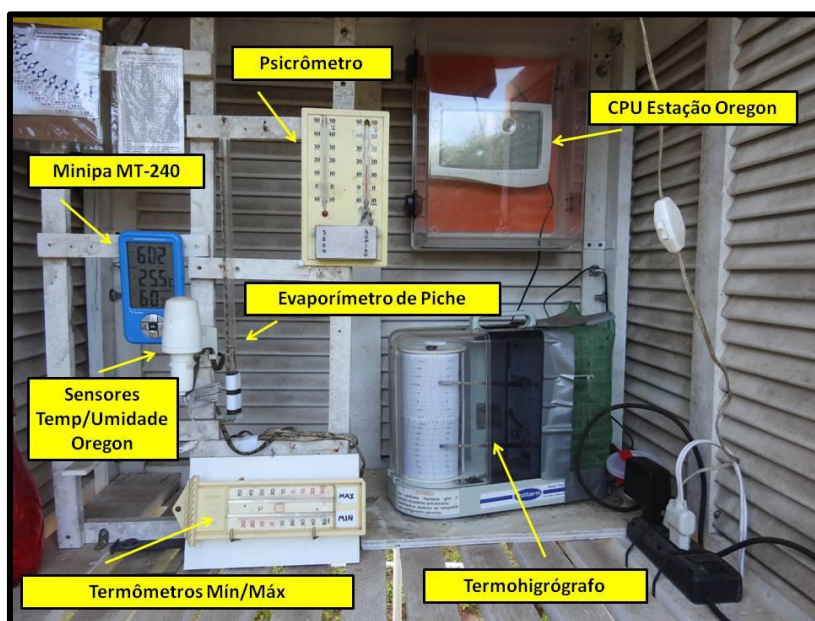


Fig. 6 - Interior do abrigo meteorológico.

c) Psicrômetro analógico Incoterm: Composto por dois termômetros de álcool, um de bulbo seco, e outro de bulbo úmido. A umidade relativa do ar é determinada observando-se a diferença entre as temperaturas marcadas pelos dois termômetros, e a temperatura de bulbo seco, mediante consulta a uma tabela, com resolução típica de 1%.

d) Higrógrafo analógico marca Politerm modelo POL-23: Este higrômetro é parte integrante do termohigrógrafo analógico referido anteriormente na seção V, letra e do sub-item V.1.1.1, e registra continuamente numa carta de papel a variação da umidade relativa do ar em função do tempo. O sensor responsável é um feixe de cabelo humano, operante no intervalo de 0% a 100% de umidade relativa, com precisão de $\pm 3\%$ a uma temperatura de 20° C. A leitura do valor instantâneo da umidade relativa do ar no momento da observação é feita opticamente pelo operador, munido de uma lupa. A resolução típica neste procedimento é de 0.5%.

O valor da umidade relativa do ar informado nas observações é resultado da média aritmética das leituras proporcionadas pelo conjunto de 5 higrômetros digitais e analógicos descritos nos sub-ítem *a*, *b*, *c* e *d* acima.

V.2.1.2 - Umidade Relativa do Ar Máxima e Mínima:

O sensor digital Minipa modelo MT-240, bem como a estação digital Oregon modelo WMR928NX registram em suas memórias os valores extremos (mínimo e máximo) da umidade relativa do ar a cada período de 24 horas. Além disso, a curva traçada pelo higrógrafo Politerm modelo POL-23 também permite a leitura (feita com lupa) daqueles mesmos valores.

As umidades relativas do ar mínima e máxima para cada período diário resultam das médias aritméticas dos cinco sensores mencionados acima, excluindo-se o psicrômetro analógico Incoterm.

V.2.1.3 - Umidade Relativa do Ar Média Diária:

Diariamente é calculada a umidade relativa do ar média do período, empregando-se a equação:

$$UR_{med} = (UR_{min} + UR_{max})/2 \quad (2)$$

onde UR_{med} é a umidade relativa do ar média diária, UR_{min} é a média aritmética dos valores mínimos de umidade relativa obtidos pelos sensores descritos no sub-item V.2.1.1, e UR_{max} é a média aritmética dos valores máximos de umidade relativa obtidos pelos mesmos sensores.

É conveniente mencionar que não utilizamos o critério para o cálculo da umidade relativa do ar média diária recomendado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET):

$$UR_{med} = (UR_{9h} + UR_{max} + UR_{min} + 2.UR_{21h})/5 \quad (3)$$

onde UR_{9h} é a umidade relativa do ar medida às 09h, e UR_{21h} é a umidade relativa do ar medida às 21h. Os horários correspondem ao GMT subtraído de 3 horas, ou seja, a hora legal de Brasília.

V.2.1.4 - Umidade Relativa do Ar Média Mensal:

É obtida pela média aritmética das umidades relativas do ar médias de todos os dias do mês.

V.2.1.5 - Umidade Relativa do Ar Média Anual:

É obtida pela média aritmética das umidades relativas do ar médias de todos os meses do ano.

V.2.2 - Umidade Absoluta do Ar:

A umidade absoluta do ar fornece a massa de vapor de água por unidade de volume de ar. Normalmente é expressa em g/m^3 . Seu valor é obtido pela equação:

$$UA_{AR} = FC . UR_{AR} \quad (4)$$

onde UA_{AR} é a umidade absoluta do ar em g/m^3 , FC é um fator de correção (tabelado, função da temperatura do ar), e UR_{AR} é a umidade relativa do ar (expressa em %).

Para o fator de correção FC utilizamos a tabela constante na publicação *Absolute Air Humidity - Fast Reference Chart*, disponibilizada pelo Núcleo de Meteorologia da Rede Omega Centauri para o

Aprimoramento da Educação Científica (ref. ωκ-SP-2020.06), que é baseada em Vaisala (2013). Para um resultado mais preciso pode-se usar a expressão:

$$FC = 13.25 \times 10^{[7.59 \times T / (T + 240.73)] / (T + 273.15)} \quad (5)$$

onde T é a temperatura do ar em graus Celsius.

V.3 - Pressão Atmosférica

As medidas da pressão atmosférica são feitas com um barômetro aneróide de fabricação alemã marca *Eiche Massiv*, instrumento analógico com escala variável de 970 a 1050 hPa.

Uma exaustiva aferição deste aparelho foi executada comparando-se as suas leituras com as leituras simultâneas do 8º DISME (INMET), situado na cidade de Porto Alegre, RS, no bairro Jardim Botânico, com a estação meteorológica do Aeroporto Internacional Salgado Filho (SBPA), também em Porto Alegre, e com a estação meteorológica da Base da Força Aérea Brasileira (FAB) localizada no município vizinho de Canoas, extraindo-se os dados *online* a partir do *site* suíço *Meteorologix.com*. Aquelas estações localizam-se a cerca de 30-40 km ao sul da Estação Morro dos Cabritos. O fator de correção instrumental assim determinado foi de (-30.3 ± 0.2) hPa, a fim de se obter o valor correto da pressão atmosférica na altitude da estação ($h = 190.51\text{m}$). Para a pressão referida ao nível do mar, aplica-se uma correção de +25 hPa (atmosfera-padrão). Portanto, a correção líquida da leitura barométrica a fim de obter diretamente a pressão atmosférica ao nível do mar é de (-5.3 ± 0.2) hPa.

A leitura óptica da escala do barômetro é feita pelo observador munido de uma lupa, o que lhe permite realizar uma medida com resolução de 0.1 hPa e precisão de ± 0.1 hPa.

V.4 - Direção e Velocidade do Vento

V.4.1 - Instrumentação:

Para as estimativas da direção e da velocidade do vento são utilizados os seguintes instrumentos:

a) **Catavento e anemômetro de cubas:** Este par de sensores eólicos integra a estação digital Oregon modelo WMR928NX. Estão instalados no alto de uma torre metálica com 5 m de altura em relação ao nível do solo. Para a orientação do catavento, a direção norte-sul geográfica foi cuidadosamente estabelecida pela observação da orientação da sombra solar projetada por uma vareta vertical fincada no solo (gnômon), conhecendo-se o azimute solar no local na data e hora da observação.

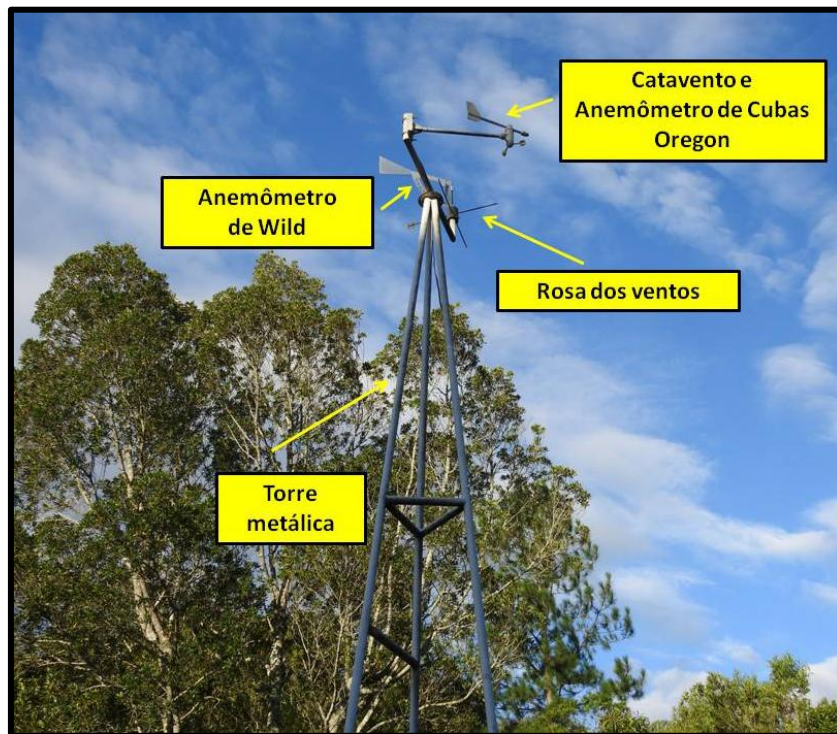


Fig. 7 - Torre de cataventos e anemômetros.

Para a determinação do azimute solar, empregou-se o *software TASCOSky Watch* alimentado com as coordenadas geográficas do local, determinadas por GPS de alta precisão (ver secção II).

A velocidade e a direção do vento são lidas diretamente no *display* da CPU da estação Oregon, instalada dentro do abrigo meteorológico. O dispositivo possui memórias para os valores máximos registrados no caso de rajadas de vento (direção e velocidade).

O anemômetro mede a velocidade do vento no intervalo de 0 a 56 m/s (0 a 201.6 km/h) com resolução típica de 0.2 m/s (0.72 km/h). O azimute da direção do vento é lido de 0° a 359° no sentido N-E-S-O, com resolução digital típica de 1°, e resolução gráfica de 10°.

b) Anemômetro de Wild: Este instrumento foi construído e teve sua escala calibrada pelo saudoso professor Renato Eugênio Becker, físico, integrante do Núcleo Técnico da Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica. Tem demonstrado possuir notável sensibilidade às rajadas de vento nele incidentes, e está instalado em paralelo com o catavento e anemômetro de cubas Oregon, na mesma torre metálica com 5 m de altura sobre o solo descrita no item *a*. A resolução típica proporcionada pela escala é de 3 km/h. A posição da plaqueta móvel é determinada visualmente pelo observador a partir do solo. Nas observações noturnas (00h GMT e 06h GMT) emprega-se uma lanterna, a fim de facilitar a visualização.

c) Anemômetro Digital Instrutherm modelo AD-250: É um instrumento digital portátil, auxiliar, que pode ser empregado manualmente pelo observador, normalmente a uma altura aproximada de 2.0 a 2.2 metros acima do solo. Sua faixa de medição vai de 0.4 m/s a 30 m/s (1.44 km/h a 108 km/h), possuindo memórias para valores de leitura máxima e mínima.

V.4.2 - Aspectos Observados:

A direção referida de procedência do vento é determinada pela direção média indicada pelo catavento Oregon, e pelo anemômetro de Wild. Por exemplo, se os cataventos mostram oscilações de Sul a Leste, a direção mencionada será Sudeste. Também é referido o quadrante de procedência do vento, de acordo com o valor do azimute geográfico *A* registrado, segundo a seguinte convenção:

$$1^{\circ} \leq A \leq 90^{\circ}: \text{LESTE}$$

$$91^{\circ} \leq A \leq 180^{\circ}: \text{SUL}$$

$$181^{\circ} \leq A \leq 270^{\circ}: \text{OESTE}$$

$$271^{\circ} \leq A \leq 360^{\circ}: \text{NORTE}$$

Para a velocidade do vento indica-se o intervalo de velocidade observado, se estiverem presentes variações da mesma. Também é informada a intensidade do vento, medida na escala de Beaufort, tanto

para os extremos dos valores observados da velocidade do vento, como para o valor máximo observado das rajadas de vento.

V.5 Pluviosidade Acumulada e Fluxo Pluviométrico

V.5.1 - Instrumentação:

A Estação Morro dos Cabritos conta com três instrumentos principais para o monitoramento da pluviosidade acumulada e do fluxo pluviométrico:

a) Pluviógrafo Digital IRRIPLUS modelo P-300: Com resolução de 0.3 mm, este instrumento pode funcionar nas modalidades de pluviômetro ou pluviógrafo.

b) Pluviômetro Digital Oregon: Sensor integrante da estação meteorológica Oregon modelo WMR928NX. Pode funcionar como pluviômetro para a medida dos acumulados de chuva, ou como pluviógrafo, medindo o fluxo pluviométrico. Na modalidade de pluviômetro possui resolução de 1 mm, e no modo de pluviógrafo, 1 mm/h. Atualmente encontra-se configurado para operar como pluviógrafo.

c) Pluviômetro Analógico: Este instrumento foi projetado e construído na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica pelo professor Luiz Augusto L. da Silva. Possui um tubo de vidro que emerge do recipiente armazenador para indicar o nível da água no interior do aparelho, funcionando de acordo com o princípio físico dos vasos comunicantes. Uma régua milimetrada anexa ao tubo de vidro permite a determinação da quantidade coletada de chuva.

A confiabilidade deste instrumento foi testada mediante a comparação das suas leituras com as leituras de acumulados de chuva do pluviógrafo IRRIPLUS modelo P-300 descrito acima. O ajuste por regressão linear obtido a partir de 32 medidas comparativas permitiu estabelecer a seguinte relação entre as leituras proporcionadas pelos dois aparelhos:

$$P_{CORR} = 0.99 \times P_{300} - 0.89 \quad (6)$$



Fig. 8 - Pluviógrafo digital IRRIPPLUS modelo P-300.

onde P_{CORR} é a leitura corrigida do pluviômetro analógico, em milímetros, e P_{300} a leitura do pluviômetro digital IRRIPPLUS modelo P-300, também em milímetros. O coeficiente de correlação resultou igual a 0.998, portanto excelente.

Para obter as leituras corrigidas, o pluviômetro analógico precisa ter suas leituras brutas multiplicadas por um fator de correção, que é igual à razão da área do recipiente armazenador pela área de captação. O fator de correção aplicado é igual a 0.444, isto é,

$$P_{CORR} = 0.444 \times P \quad (7)$$

onde P_{CORR} é a leitura corrigida do pluviômetro analógico, em milímetros, e P o valor da leitura bruta, também em milímetros.

V.5.2 - Outros Aspectos:

Também está disponível um pequeno pluviômetro analógico simples, com capacidade de medição de acumulados de chuva na faixa



Fig. 9 - Pluviógrafo digital Oregon com unidade transmissora de rádio alimentada por energia solar.

desde 0 até 100 mm, projetado e construído pelo professor Renato Eugênio Becker, do Núcleo Técnico da Rede Omega Centauri. Fica instalado ao lado do pluviômetro analógico descrito em c, servindo como medidor de reserva.

Todos os pluviômetros aqui descritos estão instalados em bases independentes, com as aberturas de captação a 1.5 m acima do nível do solo gramado, além de livres de obstáculos num raio de 3 m ao redor de cada instrumento.



Fig. 10 - Pluviômetro analógico.

Na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri está em fase final de construção um pluviógrafo analógico modelo Hellmann. Seu cilindro com carta registradora será acionado por um motor de passo com alimentação de 5V. Este instrumento, embora previsto, não se acha instalado e quando o for, passará por um criterioso processo de aferição.

V.6 - Evaporação

A evaporação à sombra resguardada do vento é medida por um evaporímetro de Piche, instalado no interior do abrigo meteorológico, sendo expressa em milímetros por dia.

Está prevista a instalação de um tanque de evaporação classe A, para a medida da evaporação ao ar livre, com exposição eólica e solar direta. Contudo, até o momento (Junho de 2021), tal equipamento ainda não foi adquirido.

V.7 - Balanço Precipitação/Evaporação

O balanço entre a precipitação pluviométrica e a evaporação ao ar livre é avaliado com a ajuda de um instrumento denominado potamômetro. Um potamômetro é simplesmente um pluviômetro que nunca é esvaziado. Se chover muito, ele pode até transbordar, livremente. Em épocas de estiagem extrema, pode secar por completo. A leitura do nível da água dentro do potamômetro é feita em uma escala arbitrária de 0 a 10, admitindo divisões decimais, onde 0 indica seco, e 10 transbordamento.

O Núcleo de Meteorologia da Rede Omega Centauri iniciou em 2019 um programa sistemático de monitoramento potamométrico que conta com uma malha crescente de observadores voluntários em diversas cidades do estado do Rio Grande do Sul, encarregados de efetuar ao menos uma leitura diária de seus respectivos potamômetros, com reportagem periódica à central de coordenação do programa. Conhecido como Programa de Observações Potamométricas (POP), ele permitirá eventualmente o traçado de curvas isopótamas, ou isopotamométricas, proporcionando um mapeamento do quadro geral da distribuição de chuvas e suas anomalias, como episódios de enchentes e estiagens. O POP



Fig. 11 - Potamômetro.

foi concebido pelo professor Roberto André dos Santos, coordenador do Núcleo de Meteorologia da Rede Omega Centauri, em Porto Alegre. Se você deseja somar-se à rede de observadores voluntários deste programa, contate o professor Roberto através do *e-mail*: robertocactus@cpovo.net.

Em novembro de 2020 foi instalado na Estação Morro dos Cabritos, em caráter experimental, um instrumento chamado potamógrafo, ou seja, um potamômetro registrador, com capacidade de plotar numa carta de papel a evolução temporal contínua do índice potamométrico. Este instrumento foi projetado e construído na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri, e vem tendo seu desempenho comparado ao do potamômetro tradicional. Por enquanto, as leituras potamométricas reportadas pela Estação Morro dos Cabritos não incluem as leituras proporcionadas pelo potamógrafo.

V.8 - Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial é definida pela equação:

$$ET = I + P - D \quad (8)$$

onde ET é a evapotranspiração potencial (em milímetros), I é a irrigação artificial (em L/m^2 , ou seja, milímetros), P é a precipitação pluviométrica acumulada (em milímetros), e D é a drenagem do solo (em L/m^2 , isto é, milímetros).

Para as medidas da evapotranspiração potencial na Estação Morro dos Cabritos emprega-se um evapotranspirômetro modificado de Thornthwaite (Mather, 1951, Campos *et al.*, 1972). Trata-se de um lisímetro de percolação. As medidas são coletadas de 10 em 10 dias, levando-se em consideração a irrigação artificial administrada, a precipitação pluviométrica ocorrida, e a quantidade de água percolada, isto é, drenada do solo durante o período. A área da caixa coletora, preenchida de baixo para cima com uma camada de brita, uma camada de areia grossa, solo e grama, é de 0.615 m^2 . Nela, cada 2 litros de água irrigada equivalem a uma precipitação de 3.25 mm.

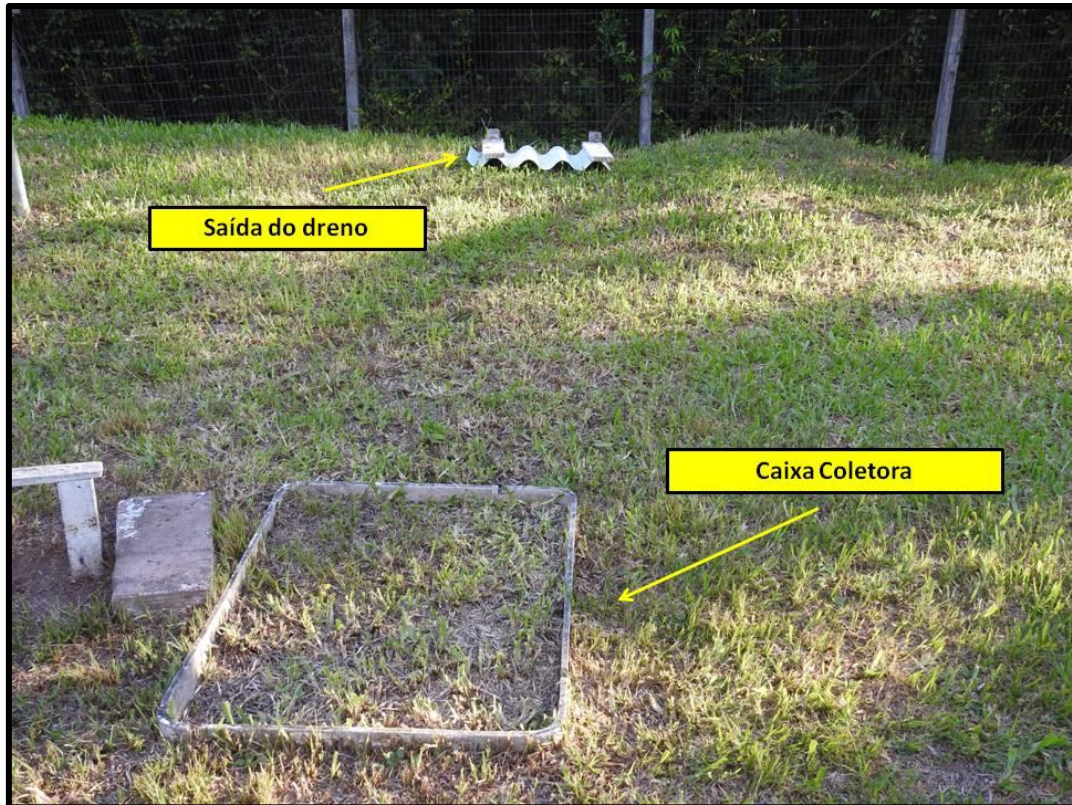


Fig. 12 - Vista geral do evapotranspirômetro modificado de Thornthwaite.

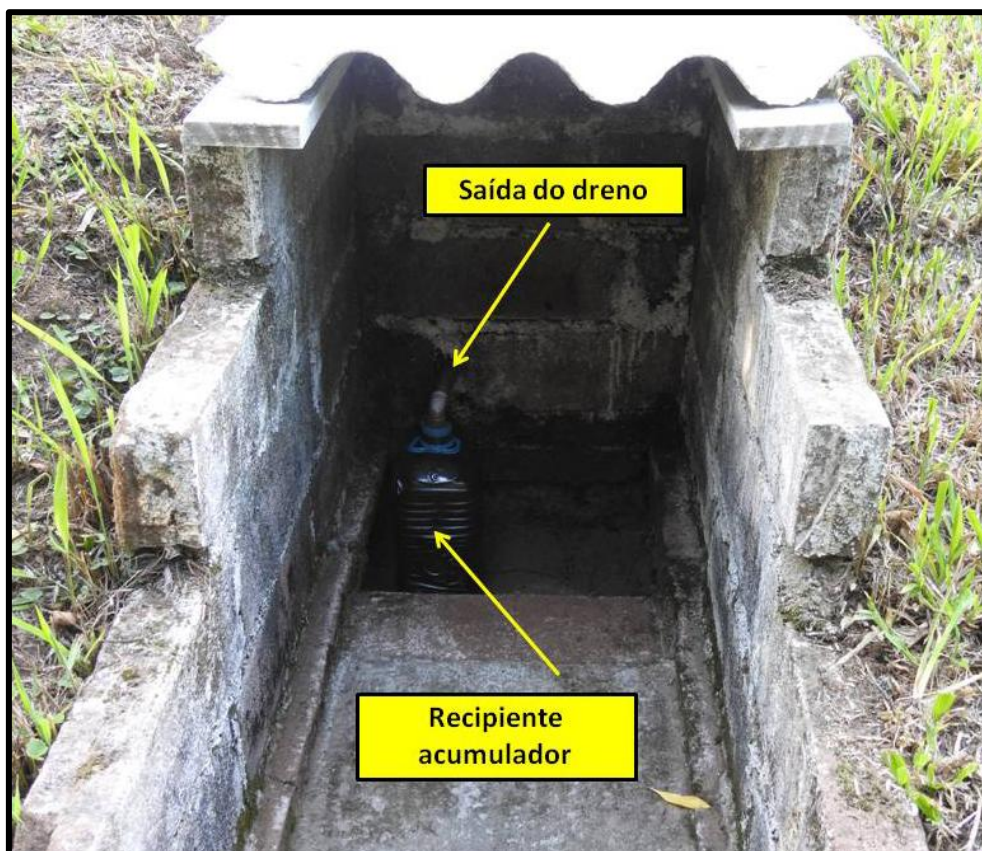


Fig. 13 - Coleta de água percolada.

V.9 Orvalho

A quantidade acumulada de orvalho (expressa em milímetros), bem como a taxa de formação de orvalho (expressa em milímetros por hora) estão entre as variáveis meteorológicas mais difíceis de medir, porque envolvem valores muito pequenos, requerendo instrumentação sensível, precisa e onerosa, além de apresentarem forte dependência do tipo de superfície considerada.

Medidas realizadas num mesmo local com diferentes sensores ou técnicas podem proporcionar números variáveis numa proporção de 1 a 4 (Masson, 1952). Além disso, a quantidade máxima de orvalho acumulado em uma noite extremamente úmida não ultrapassa 0.8 mm (*ibidem*).

Na Estação Morro dos Cabritos, para o monitoramento da incidência de orvalho empregamos o método óptico de Duvdevani (Duvdevani, 1947), que compreende uma escala numérica de 0 a 9 onde 0 é sem formação de orvalho, e 9 equivale a uma precipitação ≥ 0.3 mm (conforme Rowlandson *et al.*, 2015). A atribuição do valor numérico dentro da escala baseia-se no aspecto das gotículas de orvalho formadas. Além de um orvalhómetro de Duvdevani, construído na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri, usamos como referência diversas outras superfícies expostas, incluindo vidro, peças metálicas, de plástico, uma peneira, além da própria grama.

O erro típico numa avaliação do número de Duvdevani é de mais ou menos uma unidade, mesmo no caso de um observador experimentado. Isto inviabiliza a estimativa da quantidade de orvalho acumulada em uma única noite, bem como a determinação da sua taxa média de formação. Contudo, o total acumulado mensal de orvalho pode ser obtido com alguma precisão, uma vez que os erros individuais diários para mais ou para menos, em média tenderão a se cancelar na soma das estimativas ao cabo de um período de trinta dias.

Usando a calibração de Rowlandson *et al.* (2015), a correlação entre o número de Duvdevani e a quantidade de orvalho acumulado (em milímetros), obtida por regressão quadrática, resulta igual a

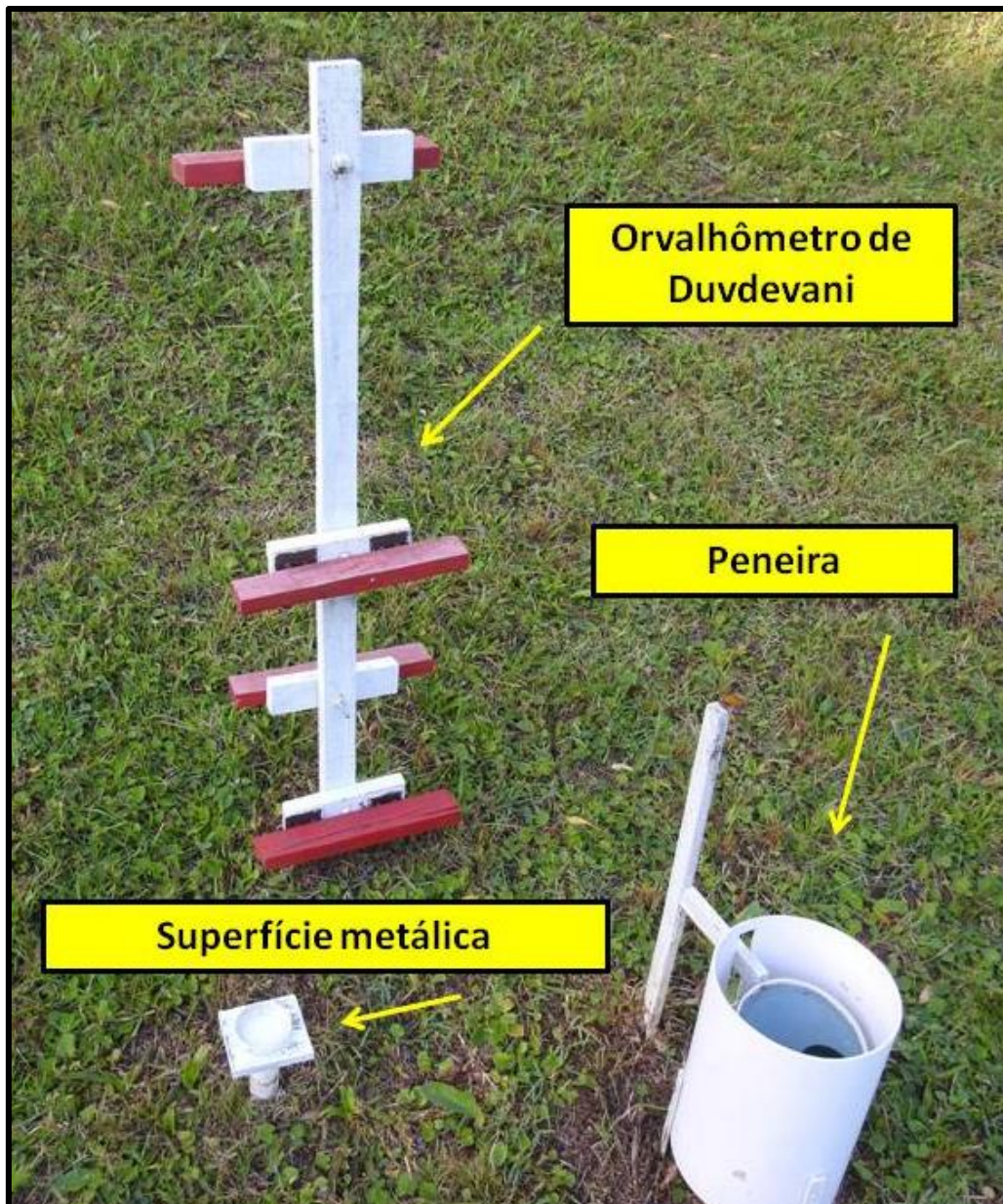


Fig. 14 - Orvalhometro de Duvdevani.

$$Q \text{ (mm)} = 0.02 \times D + 0.002 \times D^2 \quad (9)$$

onde Q (mm) é a quantidade de orvalho em milímetros, e D o número atribuído na escala de Duvdevani. O coeficiente de correlação é igual a 0.99.

Como a aplicação da escala de Duvdevani é um tanto problemática, desenvolvemos uma escala simplificada, que vai de 0 a 3, admitindo subdivisões de 0.5, conforme se resume na tabela 1. Nesta escala curta, 0.5 corresponde ao número 1 na escala de Duvdevani, 1.5 corresponde a 4, e 2.5 corresponde a 7.

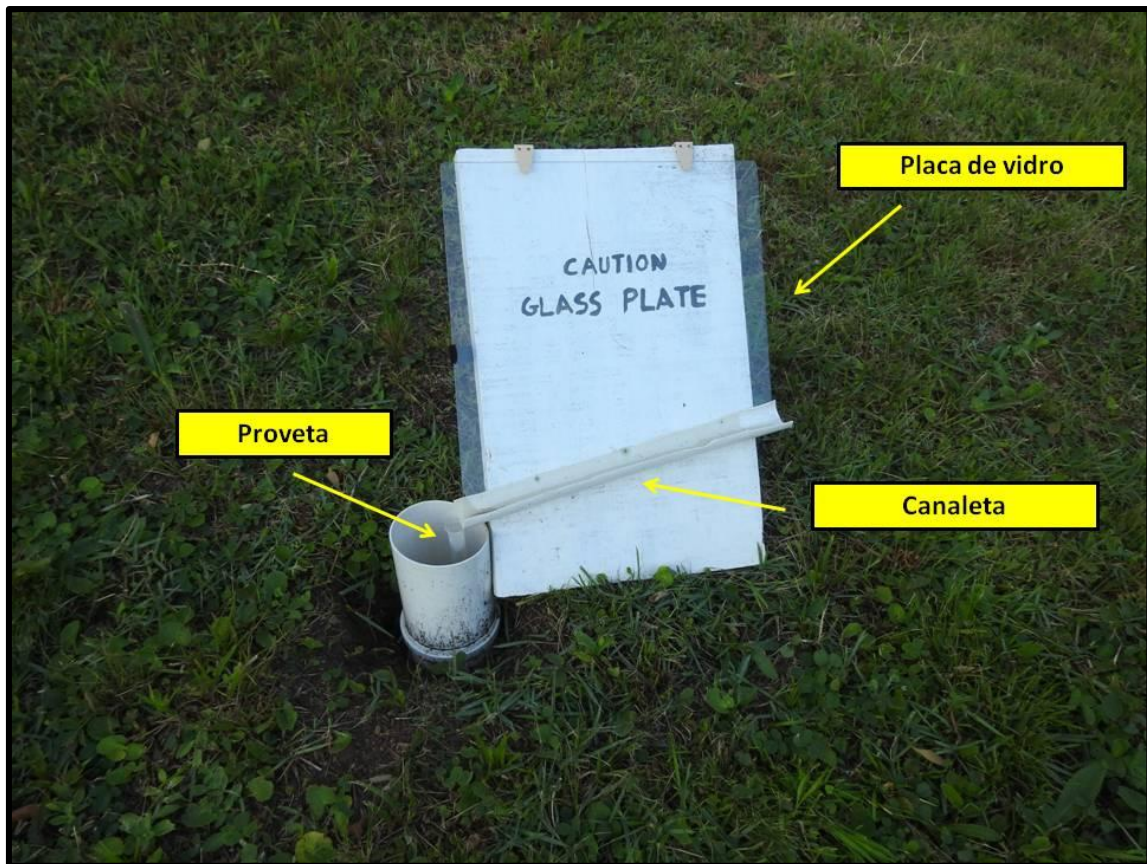


Fig. 15 - Orvalhômetro de Potvin.

ESCALA SIMPLIFICADA	DESCRIÇÃO QUALITATIVA	ESCALA DE DUVDEVANI	QUANTIDADE (mm)
0	Sem orvalho	0	0
1	Orvalho leve	1, 2, 3	0.01 - 0.03
2	Orvalho médio	4, 5, 6	0.1 - 0.2
3	Orvalho intenso	7, 8, 9	0.3 - 0.8

Tabela 1

Relação entre a escala simplificada para avaliação da precipitação de orvalho e a escala de Duvdevani. A quantidade em milímetros foi obtida por comparação com os dados disponíveis em Kabelá *et al.* (2009).

Na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri construímos também um orvalhômetro de Potvin (Potvin, 1949). Consta de uma placa de vidro de recorte trapezoidal medindo (35.2 x 30.5 x 30.5 x 35.9) cm colocada sobre a grama num ângulo de inclinação de 45° em relação à horizontal. Uma canaleta recolhe o orvalho que se condensa e escorre

sobre ambas as faces da placa, conduzindo-o para um recipiente acumulador. A quantidade coletada de orvalho durante uma noite é então medida com auxílio de uma proveta graduada em mililitros. Este instrumento entrou em operação em setembro de 2020, em caráter experimental, e vem demonstrando notável capacidade de resolução e de sensibilidade. As quantidades recolhidas de orvalho até o momento (Junho de 2021) variam desde 0 até 26,4 mL por noite. Está em andamento um programa de observações visando construir uma calibração entre o número de Duvdevani e o volume coletado de orvalho (em mililitros). No momento da redação deste texto (Junho, 2021), já dispomos de mais de 125 pontos de dados, podendo-se observar que a relação entre o número de Duvdevani e o volume de orvalho não é linear. Um primeiro ajuste, meramente preliminar, empregando o método dos mínimos quadrados (regressão quadrática) baseado em apenas 31 medidas proporcionou a seguinte equação entre o número de Duvdevani e o volume recolhido de orvalho (em mililitros):

$$V \text{ (mL)} = 0.84 - 1.15 \times D + 0.29 \times D^2 \quad (10)$$

onde V (mL) é o volume coletado de orvalho (em mililitros) e D é o número de Duvdevani. O coeficiente de correlação é igual a 0.97.

Este ajuste permitiu construir uma tabela de equivalência preliminar (tabela 2).

O objetivo desta investigação será obter uma fórmula prática, aplicável ao orvalhómetro de Potvin da Estação Morro dos Cabritos, que permita uma estimativa minimamente confiável da precipitação acumulada diária de orvalho em milímetros, obtida a partir do volume de orvalho recolhido expresso em mililitros. A taxa média de formação de orvalho (em mm/h) poderia, então, ser calculada dividindo-se o valor acumulado de orvalho pelo tempo de exposição do instrumento.

Nas observações diárias na Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos, fornecemos a leitura de orvalho no seguinte formato: $A (B)$, onde A é o número obtido na avaliação da escala simplificada, e B é o número de Duvdevani. Um valor em milímetros é fornecido apenas para o acumulado observado de cada mês.

NÚMERO DE DUVDEVANI	VOLUME (mL)
0	0
1	0.1 ± 0
2	0.2 ± 0.2
3	0.3 ± 0.1
4	1.8 ± 0.6
5	3.0 ± 0
6	3.4 ± 0.9
7	4.1 ± 0.6
8	9.8 ± 0.6
9	≥ 15.0 ± 0

Tabela 2

Correlação preliminar entre o número de Duvdevani e o volume de orvalho recolhido a cada noite no orvalhometro de Potvin da Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos, em Novo Hamburgo, Brasil.

Salienta-se que estes resultados ainda não estão sendo usados na prática, porque a quantidade de pontos experimentais ainda é muito baixa (31 medidas).

V.10 - Radiometria

Na Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos são monitoradas as seguintes variáveis: radiação solar incidente, total diário de horas de insolação, iluminação ambiental, e incidência de radiação ultravioleta.

V.10.1 - Radiação Solar Incidente:

A quantidade de insolação é medida em W/m^2 com a ajuda de um medidor Instrutherm modelo MES-100. Este sensor, dotado de fotocélula especial, possui ampla escala espectral, com resolução de $1 W/m^2$, e precisão típica de $\pm 10 W/m^2$ ou $\pm 5\%$, o que for maior quando exposto à luz solar. Possui também um erro induzido adicional de temperatura de $\pm 0.38 W/m^2$ a uma temperatura de $25^\circ C$, operando na faixa de temperatura desde $0^\circ C$ até $50^\circ C$, em umidade relativa do ar abaixo de 80%. As leituras são normalmente informadas a intervalos de 5-10 W/m^2 .

O sensor é exposto horizontalmente a uma altura de aproximadamente 1.5 metros acima do solo.

V.10.2 - Período Diário de Insolação:

Para a medida do total de horas diárias de irradiação solar é empregado um heliógrafo tradicional de Campbell-Stokes. Este aparelho, descartado da Estação Hidro-Meteorológica de Imbé, operada pelo DEPRC - RS, foi doado há muitos anos ao professor Luiz Augusto L. da Silva, e recuperado na Unidade Técnico-Logística da Rede Omega Centauri, voltando a uma condição funcional, estando agora instalado na Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos.

V.10.3 - Iluminação Ambiental:

O nível de iluminação ambiental é medido com um luxímetro Minipa modelo MLM-1011. Este instrumento possui um fotodiodo de silício e opera em três faixas de iluminação: 2000 lux (com resolução de 1 lux), 20000 lux (com resolução de 10 lux), e 100000 lux (com resolução de 100 lux). Sua precisão é de $\pm 4\%$, sendo de $\pm 5\%$ acima de 10000 lux. Possui repetibilidade de $\pm 2.0\%$ e um coeficiente de temperatura de $\pm 0.1\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Apresenta sensibilidade na região espectral aproximada entre 500 nm e 650 nm.

As leituras são expressas em lux, unidade do Sistema Internacional de Unidades empregada na medida do fluxo luminoso por unidade de área, isto é, da densidade de intensidade luminosa (também conhecida como iluminância). A quantidade de 1 lux equivale a um fluxo luminoso de 1 lúmen por metro quadrado incidindo perpendicularmente à superfície. Por sua vez, um lúmen corresponde ao fluxo luminoso dentro de um cone com volume de 1 esferorradiano, emitido a partir de uma fonte puntiforme com intensidade de 1 candela, sendo que 1 candela equivale à intensidade luminosa, numa dada direção, proveniente de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz (frequência de máxima sensibilidade do olho humano) e cuja intensidade nessa direção é de $1/683 \text{ W} \cdot \text{esferorradiano}^{-1}$.



Fig. 16 - Heliógrafo de Campbell-Stokes.

Resumindo:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lúmen/m}^2 = 0.07956 \text{ candela/m}^2. \quad (11)$$

V.10.4 - Radiação Ultravioleta:

A radiação ultravioleta está compreendida entre os comprimentos de onda de 10 nm e 400 nm do espectro eletromagnético. A radiação no intervalo de comprimento de onda λ entre 315 nm e 400 nm é denominada UV-A, entre 280 nm e 315 nm, UV-B, e entre 100 nm e 280 nm, UV-C. Radiação ultravioleta com comprimento de onda λ entre 10 nm e 100 nm é conhecida como "ultravioleta distante".

As radiações ultravioleta distante e UV-C são absorvidas pela atmosfera terrestre na camada de ozônio da estratosfera e, portanto, não atingem o solo.

A intensidade incidente de radiação UV-A + UV-B é determinada através de um medidor Instrutherm modelo MRU-201. Este equipamento fornece leituras estáveis e praticamente instantâneas do fluxo ultravioleta incidente, expresso em mW/m^2 . Possui resposta espectral na faixa de 290 nm a 390 nm, e precisão de $\pm 4\%$. O sensor é um fotodiodo ultravioleta, com filtro de correção de cor UV.

O índice UV é obtido dividindo-se a leitura obtida em mW/m^2 por 25.

V.11 - Nebulosidade

Na Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos atentamos a três aspectos:

- a) Classificação das nuvens presentes nos horários padronizados de observação, quanto ao gênero, espécie, e variedade, ademais de eventuais características suplementares, conforme a classificação revisada aprovada em Março de 2017 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM);
- b) Codificação de nuvens baixas, médias, e altas, conforme recomendado pela OMM (ver, *e.g.*, a publicação *Cloud Classification Guide - Fast Reference Chart*, do Núcleo de Meteorologia da Rede Omega Centauri, ref. ωκ-SP-2020.08);
- c) Fração do céu coberto por nuvens, em oitavos da superfície aparente da abóbada celeste, onde 0/8 representa céu totalmente límpido, sem nuvens, e 8/8 céu completamente encoberto. A estimativa deste parâmetro é facilitada pelo emprego de um nefoscópio, instrumento que consiste de um hemisfério de vidro transparente pintado com tinta negra em seu lado interno, visando tornar a superfície externa espelhada, facilitando a visão global da abóbada. Tal dispositivo está assestado sobre uma base horizontal, a 1.2 m acima do solo.



Fig. 17 - Nefoscópio.

V.12 - Fenômenos de Óptica Atmosférica

Na Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos também se realiza o monitoramento permanente da ocorrência de fenômenos de óptica atmosférica, como arco-íris e suas variações, halos, parélios, círculos e arcos luminosos, tanto diurnos como noturnos, além de coronas e presença de nuvens iridescentes.

Sempre que um *display* de um ou mais destes fenômenos é detectado, são elaborados registros contendo descrições detalhadas, e obtidas imagens, com o auxílio de uma câmera digital Nikon P-900, e /ou câmeras de *smartphones*.

V.13 - Nível de Ruído Ambiental

Desde o final do mês de Março de 2021 iniciou-se também uma rotina diária de monitoramento do nível de ruído ambiental (nível

sonoro), medido em decibels. As medidas são realizadas nos mesmos horários padronizados das demais observações meteorológicas, com auxílio de um aplicativo para *smartphones* denominado *Sound Meter*, compatível com o sistema operacional *Android*.

VI. PLANOS PARA O FUTURO

Como já foi afirmado, a Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos ainda não está com sua configuração instrumental completa. Entre os equipamentos por adquirir e/ou por instalar, mencionamos:

- pluviógrafo analógico modelo Hellmann;
- tanque de evaporação classe A com acessórios usuais;
- orvalhógrafo analógico;
- medidor do nível de concentração de CO₂ no ar;
- sensor/contador automático de descargas elétricas atmosféricas (atualmente este tipo de monitoramento é esporádico, realizado apenas quando da ocorrência local de tempestades, com um sensor portátil *Acurite*);
- sismógrafo;
- câmera óptica para monitoramento *all-sky* (projeto em parceria com a Associação para Investigação de Fenômenos Incomuns - AIFI, entidade coligada à Rede Omega Centauri).
- conexão *online* permanente para divulgação de dados meteorológicos básicos, como temperatura, umidade, vento e pressão atmosférica, através da Internet.

VII. LITERATURA TÉCNICA DE APOIO

Estão disponíveis, para consulta no dia-a-dia das atividades da Estação Meteorológica do Morro dos Cabritos, as seguintes obras:

- da Silva, L. A. L., (2018). *A Personal Atlas of Clouds and Atmospheric Optics*, Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica, Porto Alegre, obra em formato digital, Ref. ωκ-SP-2019.02;
- Dunlop, S. (2003). *The Weather Identification Handbook*, Lyons Press, Guilford, CT, 192 p.;
- Leitão, M. M. V. B. R., (2000). *Curso de Preparação de Inspetor Meteorológico, Parte I*, Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília;
- Varejão-Silva, M. A., (2006). *Meteorologia e Climatologia*, Versão Digital2, Recife, 463 p.
- World Meteorological Organization (1987). *International Cloud Atlas*.
- World Meteorological Organization (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations*, WMO-No. 8, 7th edition, 681 p.
- World Meteorological Organization (2017). *International Cloud Atlas*.

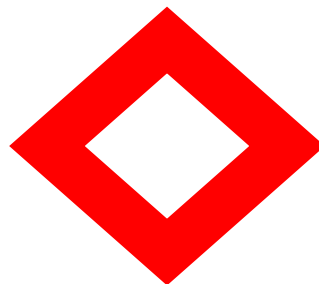
Referências

- Campos, J. L. D., Pequeno, H. C., Silva, Z. R. (1972). *Ciênc. Agron.*, **2**, (2), 109;
- da Silva, L. A. L. (2020). *Absolute Air Humidity - Fast Reference Chart*, Núcleo de Meteorologia, Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica, Ref.: ωκ-SP-2020.06;
- Duvdevani, M. A. (1947). *Q. J. R. Met. Soc.*, **73**, 282;
- Kabela, E. D., *et al.* (2009). *Agricultural and Forest Meteorology*, **149**, 11;
- Masson, H., (1952). *Dew and possibilities of using it*. UNESCO/NS/AZ/100, Paris, 60 p.;
- Mather, J. R. (1951). *Design and evaluation of a modified evapotranspirometer. Micrometeorology on the surface layer of the atmosphere*. Interim Report, No. 15, Johns Hopkins University, New Jersey;

- Potvin, A. (1949). *Forestry Chronicle*, **25**, 52;
- Rowlandson, T., *et al.* (2015). *Plant Disease*, **99**, (3), 310;
- Vaisala, O., (2013). *Humidity Conversion Formulas*, Helsinki, 17 p.

Créditos das Imagens: Fig. 1 (*Google Maps*); Fig. 2 (*Google Earth*); todas as demais imagens: © 2020, 2021 by L. A. L. da Silva, Núcleo de Meteorologia, Rede Omega Centauri para o Aprimoramento da Educação Científica. Todos os direitos reservados.

20210609



REDE OMEGA CENTAURI

Sinta o Universo!

Divulgação Científica, Ensino e Pesquisa com excelência acadêmica

www.redeomegacentauri.org

facebook.com/omegacentauri.org

instagram.com/rede.omegacentauri/

Youtube: canal Rede Omega Centauri