

PERFORMANCE DE UM NOVO MODELO DE ABRIGO METEOROLÓGICO DE BAIXO CUSTO

Ismael Luiz Hoppe

Doutorando da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, Brasil
Ismael.hoppe@hotmail.com

Cássio Arthur Wollmann

Professor Dr. da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, Brasil
Cassio_geo@yahoo.com.br

Jakeline Baratto

Doutoranda da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, Brasil
jakelinebarattogeo@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi criar e avaliar o desempenho do abrigo meteorológico de baixo custo construído com material plástico denominado AMP. Para a construção deste, foram utilizados pratos plásticos de jardim, cuja performance foi comparada com outro Abrigo Meteorológico de Baixo Custo denominado ABC), além da Estação Meteorológica Automática (EMA) modelo Campbell CR 1000 e a Estação Meteorológica INMET/UFSM. Em cada abrigo meteorológico de baixo custo foi instalado um *datalogger*, os quais estavam configurados para coletar dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar de 10 em 10 minutos, entre os dias 14 a 19/11/2019. Para avaliar o desempenho dos abrigos em comparação aos dados oficiais utilizou-se parâmetros estatísticos. Os resultados para a temperatura do ar mostraram que o abrigo AMP apresentou o melhor desempenho em comparação ao abrigo ABC. Os abrigos testados mostram que o AMP tem melhor correlação com o UFSM e uma correlação quase perfeita com o EMA. Para os registros de umidade relativa do ar observou-se que os maiores valores foram registrados pelos abrigos oficiais, seguido pelo ABC e a menor máxima registrada no período foi pelo AMP. Conclui-se que o abrigo AMP foi mais eficiente do que o abrigo ABC para a temperatura do ar e umidade relativa do ar, apresentando valores semelhantes aos dados da EMA e UFSM.

Palavras-chave: Eficiência. Calibração. Temperatura do Ar. Umidade Relativa do Ar. Estação Meteorológica Automática. Abrigo Meteorológico de Baixo Custo.

PERFORMANCE OF A NEW LOW-COST METEOROLOGICAL SHELTER MODEL

ABSTRACT

This research concerns in to create and evaluate the performance of the low-cost meteorological shelter called AMP. For the construction of this, garden plastic plates were selected by this shelter, whose performance was compared with another low-cost meteorological shelter called ABC, in addition to the Automatic Weather Station (AWS) model Campbell CR 1000 and the INMET/UFSM Weather Station. In each low-cost meteorological shelter, a datalogger was installed, which was configured to collect air temperature and air relative humidity data every 10 minutes, between 11/14/2019 and 11/19/2019. To assess the performance of shelters in comparison to official data, statistical parameters were applied. The results for air temperature showed that AMP shelter had the best performance compared to the ABC shelter. The shelters tested showed that AMP has a better correlation with INMET/UFSM and an almost perfect correlation with AWS. For the air relative humidity records, it was observed that the highest values were recorded by official shelters, followed by ABC and the lowest maximum recorded in the period was by AMP. It was possible to

conclude AMP shelter was more efficient than the ABC shelter for air temperature and air relative humidity, and the values were similar with AWS and UFSM data.

Keywords: Efficiency. Calibration. Air Temperature. Relative Humidity. Automatic Weather Station. Low Cost Meteorological Shelter.

INTRODUÇÃO

Pesquisadores em meteorologia e climatologia dependem de intensa observação espacial e temporal dos atributos climáticos, e vêm utilizando equipamentos e suprimentos para realizar seus estudos (ARMANI; GALVANI, 2006). Nas pesquisas climatológicas a observação espacial dos atributos climáticos demanda, muitas vezes, de observações de dados primários. Essa obtenção de dados requer o uso de instrumentos específicos que são instalados nos locais de pesquisas, por meio de trabalhos de campo (CASTELHANO, ROSEGHUNI, 2011).

Além de outras finalidades, quando as pesquisas são aplicadas à microclimatologia urbana, Fialho e Celestino (2017) reconhecem à necessidade de equipamentos para a mensuração dos atributos climáticos, tendo em vista que os equipamentos oficiais, geralmente, têm um custo elevado e inviabilizam pesquisas, pois elas requerem um grande número de dados e principalmente na variabilidade espacial. Dessa forma, os trabalhos realizados em climatologia podem se beneficiar muito com a construção de abrigos meteorológicos de baixo custo (WHITEMAN; HUBBE; SHAW, 2000), que viabilizam essas pesquisas em locais onde as estações oficiais não abrangem (BARATTO; GALVANI; WOLLMAN, 2020).

Diante desse cenário, a necessidade de equipamentos específicos para a coleta das informações meteorológicas é eminente. Muitas vezes esses equipamentos específicos estão relacionados aos elevados custos e manutenção (TORRES et al., 2015). Outra opção para a aquisição dos dados de campo é a construção de abrigos meteorológicos alternativos. Esses abrigos são chamados de mini-abrigos meteorológicos, que são feitos artesanalmente e se configuram como uma alternativa de baixo custo e com baixa manutenção (FIALHO; CELESTINO, 2017).

A construção alternativa de abrigos meteorológicos vem se aperfeiçoando ao longo dos anos (ARMANI; GALVANI, 2006; CASTELHANO; ROSEGHIN, 2011; VALIN JR et al., 2016a; 2016b; FIALHO; CELESTINO, 2017). Assim, os tipos de materiais utilizados para a sua construção são cada vez mais eficientes quanto à absorção de radiação solar para não interferir na medição da temperatura e umidade relativa do ar em relação aos abrigos oficiais (padrão) medidos nas estações meteorológicas.

Quando se remete à abrigos meteorológicos, primeiramente vêm os abrigos meteorológicos confeccionados de madeira, pois foi um importante material utilizado para a confecção destes abrigos. No entanto, devido ao material utilizado na construção, o tamanho, peso e forma dificultavam o seu transporte nos trabalhos de campo. Além disso, em dias com chuva o material absorvia uma quantidade de água que interferia nos valores medidos pelo termômetro, e afetava a durabilidade do abrigo meteorológico (CASTELHANO; ROSEGHIN, 2011).

Os abrigos meteorológicos de baixo custo vêm sendo utilizados por vários pesquisadores, principalmente por quem pesquisa o clima urbano. Com o intuito de contornar a falta de equipamentos e padronizar suas pesquisas, os pesquisadores baseiam-se na experiência e na criatividade para a construção de equipamentos de baixo custo (VALIN JR et al., 2016a).

Também há abrigos meteorológicos de baixo custo que são construídos com chapa de ferro galvanizado, e pintado de cor branca, que é inspirado no modelo 41003 10 – Plate Radiation Shield (Campbell inc.) (ARMANI; GALVANI, 2006). Esse abrigo meteorológico de metal vem sendo calibrado (ARMANI; GALVANI, 2006; ALVES; SERAFINI JÚNIOR, 2013; HOPPE et al., 2015; BARATTO, GALVANI; WOLLMANN; 2020) e utilizado por muitos pesquisadores (GALVANI; LIMA; FALCÃO, 2010; SANTOS; MORAIS; GALVANI, 2015; WOLLMANN; SIMIONI; IENSSE, 2015; HOPPE; WOLLMANN; BARATTO; 2016).

No Brasil, os tubos de PVC (Policloreto de vinila) da cor branca em diversos tamanhos são utilizados para a construção dos abrigos. Os tubos de PVC apresentam pequenos orifícios para a circulação do ar, podendo ser de diversos tamanhos, conforme cada autor. Como pode ser visto nos trabalhos realizado por Oliveira (2007), Barros (2012), Santos (2012), Franco (2010), Valin JR; et al (2016a; 2016b), Castelhana; Roseguini (2011), Fialho; Celestino (2017) entre outros pesquisadores.

Nesse contexto, Fialho e Celestino (2017) foram alguns dos pesquisadores a construir um abrigo meteorológico com PVC, que é um material com baixa condutividade térmica. Os autores compararam o abrigo meteorológico construído com a estação meteorológica oficial do INMET instalada junto ao Campus da Universidade Federal de Viçosa em Minas Gerais. Os referidos autores concluíram que para as médias registradas, há pouca diferença em comparação com os abrigos oficiais.

Na mesma linha do que os autores supracitados, Valin Jr et al., (2016a) realizou um estudo sobre a construção de abrigos meteorológicos com vários materiais com baixa condutividade térmica e com diferentes formatos, sejam eles, PVC, pratos plásticos e o pote de sorvete. Os abrigos de PVC e pratos plásticos demonstraram eficácia em comparação ao abrigo meteorológico da estação meteorológica oficial do INMET localizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso. Os resultados encontrados pelos autores apontam que alguns modelos não foram eficientes para a coleta de dados. No entanto, os abrigos de prato, horizontal e o de madeira apresentaram alternativas viáveis para a coleta de dados.

Diante disso, ressalta-se que muitos pesquisadores vêm buscando por novos modelos de abrigos meteorológicos, mais eficientes, baratos e com pouca manutenção para o desenvolvimento de pesquisas com qualidade nos dados coletados e padronizando-as utilizando apenas uma modelagem. Essa necessidade surge em função das pesquisas de longo prazo, cujo trabalhos de campo se tornam esporádicos.

Devido a essas questões, viu-se a necessidade de explorar um novo modelo de abrigo meteorológico para suprir a necessidade da utilização em pesquisas climatológicas. Conforme Serafini Júnior e Alves (2014), quanto menor a diferença entre os abrigos analisados, maior será a eficiência do abrigo meteorológico que está sendo comparado. Diante disso, o objetivo deste trabalho é construir e avaliar o desempenho do abrigo meteorológico de baixo custo construído com material de baixa condutividade térmica que possa se assemelhar em tamanho, cor e espaçamento aos abrigos dos termógrafos de estações meteorológicas automáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, realizou a confecção de um novo Abrigo Meteorológico de Polipropileno (AMP). Esse modelo foi constituído com 7 pratos plásticos, de 12 cm de diâmetro e 1 prato plástico de 18 cm de diâmetro, com profundidade de 2 cm, formato circular da cor branca, pesando 30 gramas e feitos de polipropileno, sendo pratos comuns utilizados em jardinagem. Nos pratos menores foram realizadas uma abertura no centro para realizar a instalação do *Datalogger*, modelo HT 500 *Instrutherm*, entretanto os pratos que ficam na base e no topo não apresentam a abertura central.

Os pratos foram colocados entre 3 pinos de metal com rosca para ter sustentabilidade e para permanecer com o mesmo espaçamento entre eles, e, foi colocado um pedaço de mangueira plástica transparente de aproximadamente 2 cm. No topo do prato, para não ocorrer infiltração de água, foi colocado uma porca sextavada tipo calota e acrescentando-se cola silicone para vedar.

As características do AMP consistem em aproximadamente 20 cm de altura e 16 cm de diâmetro, pesando aproximadamente 200 gramas. O custo total para confeccionar o abrigo meteorológico foi de aproximadamente R\$ 50,00 em 16/08/2019. Ao término da confecção do primeiro AMP, foi instalado junto à Estação Meteorológica do INMET da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a qual está localizada na cidade de Santa Maria – RS, nas coordenadas: Latitude 29°43'29.78" sul, Longitude 53°43'13.65" oeste e Altitude de 89 metros em relação ao nível do mar.

O Abrigo Meteorológico de Baixo Custo (ABC) foi instalado próximo ao abrigo AMP para averiguar a eficiência do modelo construído (Figura 01). Utilizou-se esse modelo para avaliar e estabelecer o desempenho do novo modelo em relação a este já consolidado nas pesquisas climatológicas realizadas pelo Brasil. Dessa forma, o abrigo meteorológico ABC é confeccionado com chapas de ferro galvanizado e tem aproximadamente 11,5 cm de altura e 18 cm de diâmetro e pintado na cor branca como proposto por Armani; Galvani (2006) e testados por Hoppe, et. al (2015) e Baratto; Galvani; Wollmann (2020).

Figura 1 - Local da instalação dos abrigos meteorológicos (ABC e AMP) para a calibração junto à estação meteorológica do INMET instalada na Universidade Federal de Santa Maria (A). E modelo de cada abrigo meteorológico (B).



Fonte - Os Autores.

Os abrigos ABC e AMP foram instalados juntos à Estação Meteorológica Automática (EMA), modelo Campbell CR 1000 (Figura 01). Cujo sensor da EMA de temperatura e umidade relativa do ar são HMP35C. Foram calibrados em câmara selada com isolamento térmico conforme aponta GOBO (2018).

Os Datalogger's utilizados no AMP e ABC foram configurados para coletar dados de temperatura e umidade do ar a cada 10 minutos, juntamente com a EMA. Os dados da EMA-UFSM coletados são horários. Para realizar a avaliação do AMP e ABC foram utilizados dados de 14 a 19/11/2019. Os dados coletados nos abrigos meteorológicos foram agrupados em médias horárias.

Utilizou-se os relatórios do boletim técnico e as cartas sinóticas da marinha do Brasil (CEPTEC/INPE, 2020; BRASIL, 2020) para caracterizar as condições atmosféricas nos dias de amostragem. Segundo as fontes supracitadas, no primeiro dia de coleta dos dados, atuava sobre o estado do Rio Grande do Sul um sistema frontal, o que ocasionou tempo instável e ocorrendo precipitação nas primeiras horas do dia 14/11/2019 (00h00min até 05h00min). Entre os dias 15 e 16 de novembro de 2019, ocorreu o avanço de massas de ar de origem polar, no qual contribuiu para queda de temperatura do ar, registrando temperaturas mais baixas nessa época do ano, principalmente de manhã. No dia 17 de novembro de 2019, a presença da massa de ar fria na retaguarda do sistema frontal, contribuiu para deixar o ar mais estável. Já nos dias 18 e 19 de novembro de 2019, o tempo permaneceu estável e a temperatura do ar se elevou até 31,8 °C (CEPTEC/INPE, 2020; BRASIL, 2020).

Para avaliar a eficiência do modelo AMP foram utilizadas técnicas estatísticas para averiguar a relação entre os dados coletados. Os parâmetros estáticos como: mínima, máxima, média aritmética simples, desvios médios e desvios padrão foram utilizados para analisar a variabilidade dos dados de cada abrigo meteorológico e também a relação entre eles nesses parâmetros.

O desempenho de cada modelo (ABC e AMP) em relação aos dados oficiais da estação meteorológica do INMET/UFSM e aos dados da EMA foram avaliados pelos coeficientes de correlação (R) e determinação (R²), conforme apontam Armani e Galvani (2006) e Baratto, Galvani e Wollmann (2020). O coeficiente de correlação apresenta a correlação entre os dados registrados nos abrigos construídos e os dados registrados nos abrigos oficiais (EMA e UFSM). O coeficiente de determinação indica o quão os dados registrados nos abrigos ABC e AMP são correlacionados com os abrigos EMA e UFSM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura do ar

Os dados de temperatura do ar registrados nos dois modelos de abrigos meteorológicos construídos em comparação aos dados da estação da UFSM e EMA foram mais elevados para as três medições de temperatura do ar (média, máxima e mínima) no período de análise (Primavera). A temperatura do

ar médias entre todos os abrigos meteorológicos apresentaram uma variação de 22,8°C a 24,0°C. A EMA e a UFSM tiveram médias iguais (22,8 °C). No entanto, em relação aos outros abrigos construídos, o ABC apresentou uma média mais elevada em comparação ao AMP. A diferença entre as médias do ABC com a média da EMA e UFSM foi de +1,2°C. Entretanto, para o abrigo AMP, a média da temperatura entre ele e a EMA e a UFSM foi 50% menor em comparação ao ABC (0,6°C). Logo o AMP se aproximou mais das estações UFSM e EMA, conforme verifica-se na Tabela 01.

Tabela 01 - Parâmetros estatísticos da temperatura do ar em graus Celsius (°C), para a aferição dos dados obtidos nos abrigos denominados de ABC, AMP, EMA e UFSM para período de 14/ a 19/11/19.

Parâmetros	ABC	AMP	EMA	UFSM	ABC-EMA	ABC-UFSM	AMP-EMA	AMP-UFSM
Média	24,0	23,4	22,8	22,8	1,2	1,2	0,6	0,6
Mínimo	13,4	13,4	13,5	13,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Máximo	34,4	32,8	31,3	31,8	3,1	2,6	1,5	1,0
Amplitude	21,1	19,4	17,8	18,3	3,3	2,8	1,6	1,1
Desvio Médio	4,9	4,4	3,9	3,9	1,0	1,0	0,5	0,4
Desvio Padrão	5,7	5,1	4,6	4,6	1,1	1,0	0,5	0,5

Organização - Os Autores.

O abrigo ABC foi calibrado e utilizado por diversos pesquisadores, como Armani e Galvani (2006), Hoppe et al. (2015) e Baratto, Galvani e Wollmann (2020). Os resultados da calibração desses autores apontam que o abrigo ABC tem certa variabilidade nos resultados apresentados. Hoppe et al. (2015), por exemplo, ao realizar a calibração do ABC e a UFSM quando comparando os seus dados médios obtiveram o valor médio semelhante ao desta pesquisa, sendo de 1,3°C. No entanto, Armani e Galvani (2006) e Baratto, Galvani e Wollmann (2020) também avaliaram o desempenho do abrigo meteorológico ABC com uma estação meteorológica e obtiveram como resultados os valores médios mais baixos quando comparados, sendo de 0,2°C para Armani e Galvani (2006) e 0,3°C para Baratto, Galvani, Wollmann (2020). Esta diferença encontrada pode-se estar associada às condições do local e do tempo meteorológico.

Os demais abrigos construídos com material similar ao utilizado para a construção do AMP tiveram valores de média semelhantes aos valores registrados nos abrigos meteorológicos oficiais, como Valin et al. (2016a; 2016b) e Fialho e Celestino (2017). Para Valin et al. (2016b) a diferença entre a temperatura média do ar do abrigo padrão (oficial) e o abrigo confeccionado com pratos plásticos (basicamente o mesmo modelo utilizado pela pesquisa) foi de 0,17°C.

No entanto, Fialho e Celestino (2017) compararam os valores anuais entre o abrigo da estação do EMA/INMET, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa (MG) e o abrigo meteorológico construído de Policloreto de Vinila (PVC). Os autores verificaram que o valor de temperatura média anual foi menor para o abrigo construído, sendo de -0,98. Diante disso, observa-se que além do material, o formato do abrigo meteorológico construído influenciam na eficiência, como também reconhecem Valin Jr et al. (2016a).

Em relação a temperatura mínima, os abrigos construídos não apresentaram diferença entre eles e os abrigos da UFSM e EMA. Para todos os abrigos a diferença foi de 0,1°C, e isso não evidencia elevadas diferenças térmicas para a temperatura mínima registradas nos sensores dos dois modelos aqui analisados. Baixos desvios para as temperaturas mínimas também foram encontrados por Armani e Galvani (2006); Hoppe et al. (2015) e Baratto, Galvani e Wollmann (2020), que foram de -0,6°C, -0,2°C e -0,1°C, respectivamente. Dessa forma, os resultados encontrados por Baratto, Galvani e Wollmann (2020) corroboram com os obtidos pela pesquisa, embora os referidos autores analisaram o modelo de abrigo ABC com a EMA em condições de campo.

Para a temperatura máxima absoluta, a diferença da temperatura registrada entre os abrigos ABC e EMA foi de 3,1°C. No entanto, a diferença entre a temperatura máxima do AMP e da EMA foi de 1,5°C.

Os dados do abrigo ABC e do abrigo UFSM apresentaram uma diferença de 2,8°C, assim diminuindo em relação ao abrigo da EMA. Para o abrigo AMP, a temperatura máxima registrada em relação à UFSM foi de 1,1 °C. Dessa forma, observou-se que os abrigos meteorológicos tiveram a menor diferença térmica quando relacionados com os registros da UFSM. Porém, o abrigo AMP registrou o melhor desempenho em comparação ao abrigo ABC, registrando a menor diferença entre as temperaturas máximas do ar.

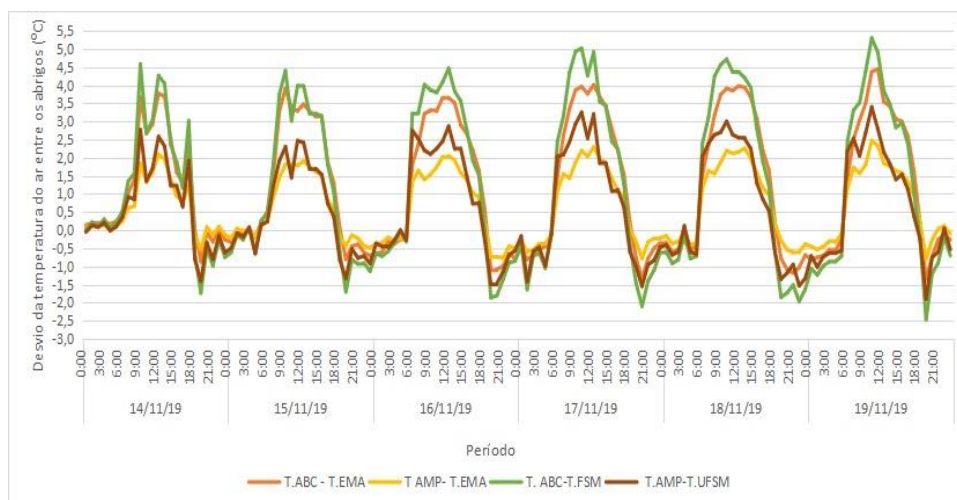
No período analisado é esperado que a amplitude térmica entre a temperatura mínima e máxima seja elevada, devido a posição latitudinal do Rio Grande do Sul (FRITZSONS et al., 2015). Na Tabela 01 é possível notar que os abrigos meteorológicos de baixo custo apresentaram as maiores amplitudes térmicas, em relação aos abrigos oficiais. Isso ocorre pois as máximas temperaturas registraram os maiores valores nos abrigos construídos, em decorrência deles aquecerem mais no período de aquecimento (ARMANI; GALVANI, 2006). No entanto, o AMP apresentou menor variação em relação ao ABC. Diante disso, verifica-se a melhor eficiência quanto às temperaturas máximas do abrigo AMP.

Em relação ao desvio médio e ao desvio padrão, os dados registrados nos abrigos meteorológicos ABC e AMP apresentaram os maiores desvios em relação aos desvios das temperaturas observados nos abrigos da UFSM e EMA. Essa variação já era esperada devido à maior variabilidade dos dados registrados nos abrigos ABC e EMA.

Os desvios médio e padrão apresentaram a maior diferença no abrigo ABC em relação ao abrigo AMP, tanto em relação à estação da UFSM, quanto para a EMA. Galvani (2005, p. 4) coloca que a “medida de dispersão nos fornece uma ideia da variabilidade dos dados em torno da média”. Ainda segundo o autor supracitado, o desvio padrão expressa o grau de dispersão de um determinado conjunto de dados, e quando o conjunto de dados é uniforme ou próximo de 0 mais homogêneo são os dados. Na tabela 01 observa-se que o desvio padrão entre o ABC e a EMA foi de 1,1 °C e o ABC e a UFSM é de 1,0 °C. Assim, para a AMP e a EMA e a UFSM a diferença entre os desvios padrões foi de 0,5 °C. Esses valores mostram que nos dados registrados pelo abrigo AMP há maior homogeneidade em relação ao abrigo ABC, tanto comparados com os valores da EMA, quanto com os valores da UFSM. Dessa forma, os resultados estatísticos revelam que o AMP apresenta a melhor performance que o ABC.

Nos desvios horários dos dados de temperatura do ar registrados nos abrigos meteorológicos testados, os abrigos não apresentaram um desvio significativo durante o início dos períodos de aquecimento (manhã) e de resfriamento (entardecer). Os desvios mais significativos ocorrem sempre no horário de maior insolação. Assim, os dados do ABC apresentam os maiores desvios de temperatura, chegando próximo dos 5,0 °C. No período noturno, o ABC tende a retardar o resfriamento e apresenta as maiores diferenças térmicas. Entretanto, o AMP apresenta o menor desvio em relação aos outros abrigos, tornando-se mais confiável em relação ao ABC, conforme verifica-se na Figura 02.

Figura 02 - Desvios horários entre os valores de temperatura do ar registrados em cada abrigo meteorológico testados para o período de 14 a 19/11/2019.

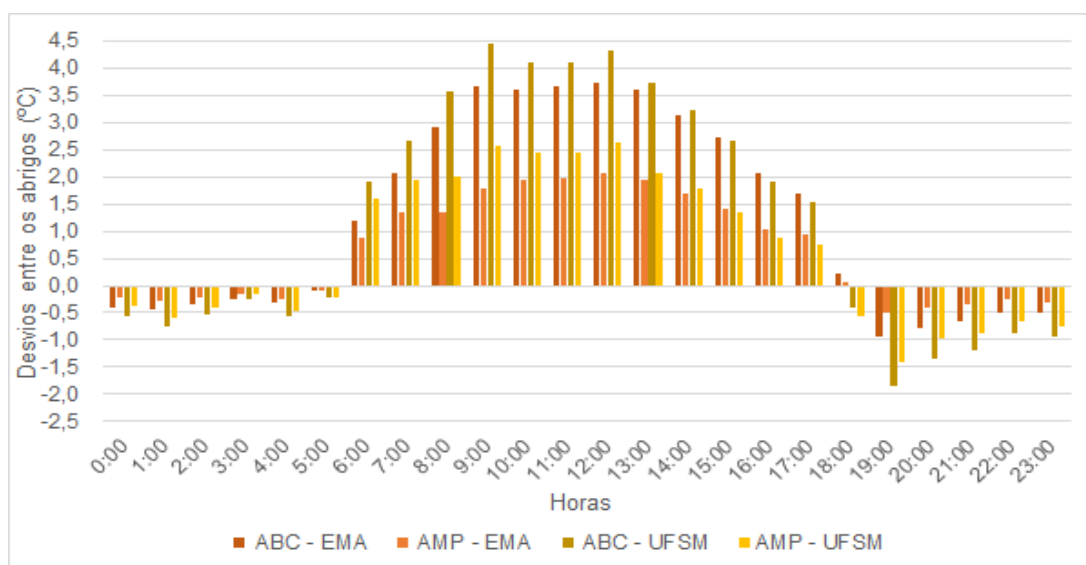


Organização - Os Autores.

Dessa forma, a variação horária dos dados de temperatura do ar dos abrigos meteorológicos de baixo custo em comparação aos dados da UFSM e EMA corroboram com os dados apresentados na tabela 01. Assim, observou-se que nos horários de máximo aquecimento de todos os dias, a temperatura do ar registrada no abrigo AMP foi menor que o registrado no abrigo ABC. Esses resultados corroboram com os apresentados por Valin Jr et al. (2016a). Os autores realizaram comparações com diversos abrigos meteorológicos dos mais diversos tipos de materiais e apontaram que o abrigo meteorológico de plásticos em comparação com os demais abrigos é uma alternativa viável em comparação a outros materiais, pois não apresentam maiores discrepâncias nos dados em relação aos dados da estação oficial.

O gráfico da figura 03 exibe o desvio da temperatura média do ar horária entre os abrigos meteorológicos testados. Está evidenciado neste gráfico que durante o período de insolação, o ABC apresenta os maiores desvios, podendo chegar até 4,0°C, o que pode ocasionar erros de medição podendo comprometer as pesquisas. Entretanto, o abrigo AMP no período de aquecimento apresentou os menores desvios horários de temperatura do ar (2,0°C), demonstrando que os dados de medição são mais confiáveis. No período de resfriamento os desvios horários são menores e muitas vezes inferiores ou iguais ao erro instrumental do equipamento (1,0°C).

Figura 03 - Desvios da temperatura do ar média horária entre os abrigos meteorológicos testados para o período de 14 a 19/11/2019.



Organização - Os Autores.

Segundo Gerardi e Silva (1981), Galvani (2005) e Andriotti (2013) o coeficiente de correlação (r) é uma medida do grau de associação linear entre duas variáveis. O r varia de $-1,0$ a $1,0$. Quando zero significa correlação nula e quando $1,0$ ou $-1,0$, correlação perfeita entre as variáveis. Ambos os abrigos testados apresentam uma boa correlação para os dados de temperatura do ar. Entretanto, o abrigo AMP apresenta maior correlação entre a UFSM e a EMA em relação ao abrigo ABC. Para o abrigo da EMA e o AMP a relação é quase perfeita, sendo que os dados horários são quase idênticos (Tabela 02).

Tabela 02 - Relação entre os dados de temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$) registrados nos abrigos meteorológicos ABC-EMA, ABC-UFSM, AMP-EMA e AMP-UFSM.

Parâmetros	ABC EMA	-	ABC UFSM	-	AMP EMA	-	AMP UFSM
Coeficiente de correlação (r)	0,96		0,93		0,99		0,96
Coeficiente de determinação (R^2)	0,92		0,82		0,97		0,93

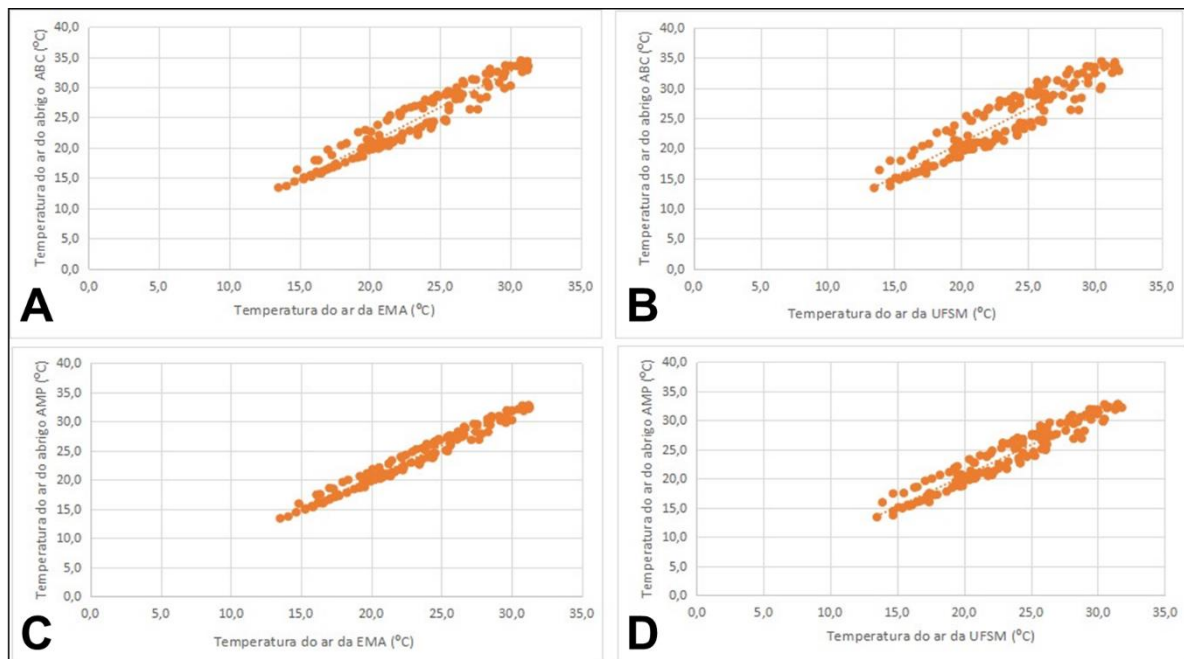
Organização - Os Autores.

A tabela 02 também apresenta o coeficiente de determinação (R^2), o que indica se um determinado modelo de regressão múltipla será considerado útil ou não, melhor ou pior (QUININO, REIS, BESSEGATO, 2011). O R^2 varia entre 0 e 1, por vezes sendo expresso em termos percentuais. O AMP se mostrou eficaz ao testar com os abrigos oficiais. O ABC em ambas as testagens, em relação aos abrigos meteorológicos UFSM e EMA, apresentou o menor valor em comparação ao AMP, mostrando que os dados não são tão relacionáveis entre si.

Outras pesquisas realizadas (FIALHO; CELESTINO, 2017; VALIN JR et al., 2016a; 2016b; CASTELHANO; ROSEGUINI; 2011) revelam que o material com baixa condutividade térmica são mais confiáveis para a coleta de dados de temperatura do ar. Assim, esta pesquisa vem corroborando com esses autores que realizaram estudos com esses tipos de materiais na construção dos abrigos meteorológicos.

A relação apresentada na Tabela 02 é visualmente perceptível na figura 03. Observa-se a dispersão dos dados da temperatura horária dos abrigos meteorológicos. Por meio da plotagem dos gráficos verifica-se que os dados do abrigo AMP com os dados do abrigo EMA (C) e UFSM (D) têm uma maior associação entre os dados em comparação aos dados registrados no abrigo ABC com os dados dos abrigos EMA (A) e UFSM (B).

Figura 04 - Dispersão dos dados de temperatura do ar horários ($^{\circ}\text{C}$) dos abrigos meteorológicos ABC - EMA (A), ABC - UFSM (B), AMP - EMA (C) e AMP - UFSM (D).



Organização - Os Autores.

Umidade relativa do ar

Os dados médios e mínimos de Umidade Relativa do Ar (URA) registrados nos abrigos meteorológicos ABC e AMP foram os maiores para o período de coleta. Na tabela 03 observa-se que a média dos ABC e AMP, em comparação aos abrigos oficiais, são aproximadamente 2% maiores. Em relação às mínimas de URA, o AMP apresentou a maior mínima (29,2%), seguido pelo ABC (28,1%). Essa diferença apresentada pode ser pelo erro instrumental que é de aproximadamente 3% para a umidade relativa conforme aponta Baratto, Galvani, Wollmann (2020). Além disso, o AMP é fechado na parte inferior, o que pode afetar na ventilação. A diferença entre os valores higrométricos do ABC com a EMA foi de 4,6%, enquanto entre o ABC e a UFSM a diferença foi menor sendo de 2,1%. O AMP e a EMA têm a maior diferença sendo de 5,6%; o AMP e a UFSM, a diferença cai para 3,2%. Assim, observa-se que os valores higrométricos mínimos nos abrigos construídos foram maiores que nos oficiais, o que corrobora esse elevado valor entre as diferenças.

Tabela 03 - Parâmetros estatísticos, de umidade relativa do ar em %, para a aferição dos dados obtidos nos abrigos denominados de ABC, AMP, EMA e UFSM para período de 14 a 19/11/19.

Parâmetros	ABC	AMP	EMA	UFSM	ABC- EMA	ABC- UFSM	AMP- EMA	AMP- UFSM
Média	66,5	66,6	64,3	64,5	2,2	2,0	2,3	2,1
Mínimo	28,1	29,2	23,6	26,0	4,6	2,1	5,6	3,2
Máximo	95,3	94,8	97,4	97,0	-2,1	-1,7	-2,6	-2,2
Amplitude	67,2	65,6	73,8	71,0	-6,7	-3,8	-8,2	-5,4
Desvio Médio	16,5	15,7	18,1	16,7	-1,7	-0,2	-2,4	-0,9
Desvio Padrão	18,9	18,1	20,8	19,3	-2,0	-0,5	-2,7	-1,2

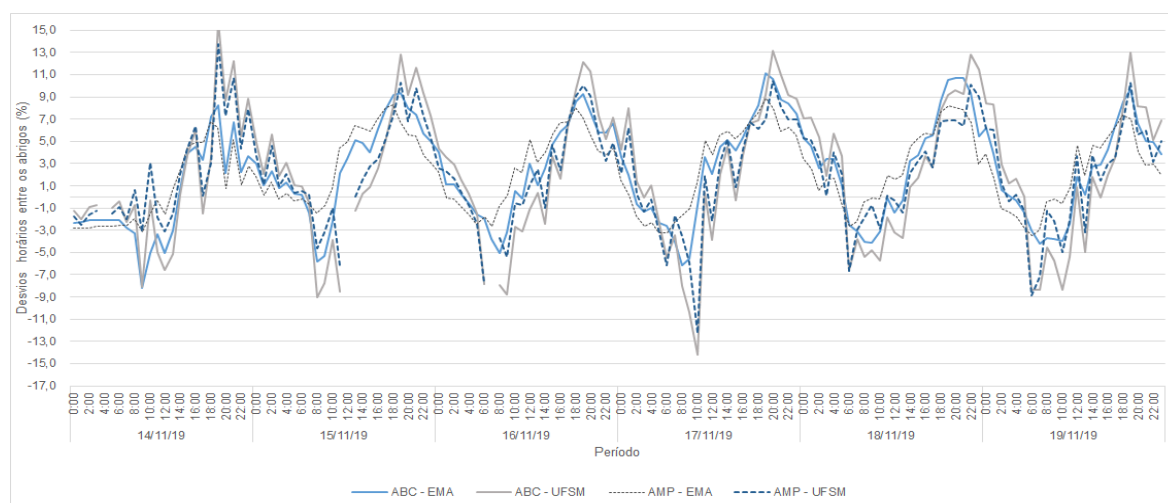
Organização - Os Autores.

Os maiores valores de URA máximas foram registrados pelos abrigos oficiais, seguido pelo ABC e a menor máxima foi registrada no período foi pelo AMP. O mesmo apresentou as maiores diferenças em comparação aos abrigos oficiais, corroborando com Hoppe et al. (2015) e Baratto, Galvani, Wollmann (2020). As maiores amplitudes higrométricas ocorreram nos abrigos oficiais ao passo que as menores foram nos abrigos testados, sendo a menor amplitude no AMP. O abrigo AMP registrou a maior diferença de amplitude.

Os desvios médio e padrão da URA foram maiores no abrigo ABC em comparação ao AMP. Assim, os dados coletados pelo abrigo ABC têm maior variabilidade que no abrigo AMP. Os desvios médio do AMP foram inferiores a 0,9%. Os maiores desvios entre os abrigos construídos e os abrigos oficiais ocorreram no ABC. Diante disso, pode-se verificar através dos dados estatísticos que o AMP e o ABC têm a mesma eficiência, pois ambos estão abaixo do erro instrumental. No entanto, em alguns horários o ABC se mostrou mais eficiente que o AMP.

O gráfico da figura 05 expõem os desvios horários dos valores da URA registrados nos abrigos meteorológicos para o período de coleta. É possível observar que no decorrer da noite ocorrem os desvios positivos de URA e durante do dia ocorre o inverso, ou seja, desvios negativos. Após a máxima radiação entende-se como período de resfriamento do ar e vai até começar a aquecer novamente, que é aproximadamente às 06h00min. Neste intervalo de resfriamento a URA no ABC e AMP são maiores que nas estações oficiais. Durante o período de aquecimento a URA ocorre o oposto, ou seja, diminui. Assim, Barry e Chorley (2003) explicam que a URA age inversamente a temperatura do ar durante o dia.

Figura 05 - Desvios horários entre os valores de umidade relativa do ar registrada em cada abrigo meteorológico testado para o período de 14 a 19/11/2019¹.



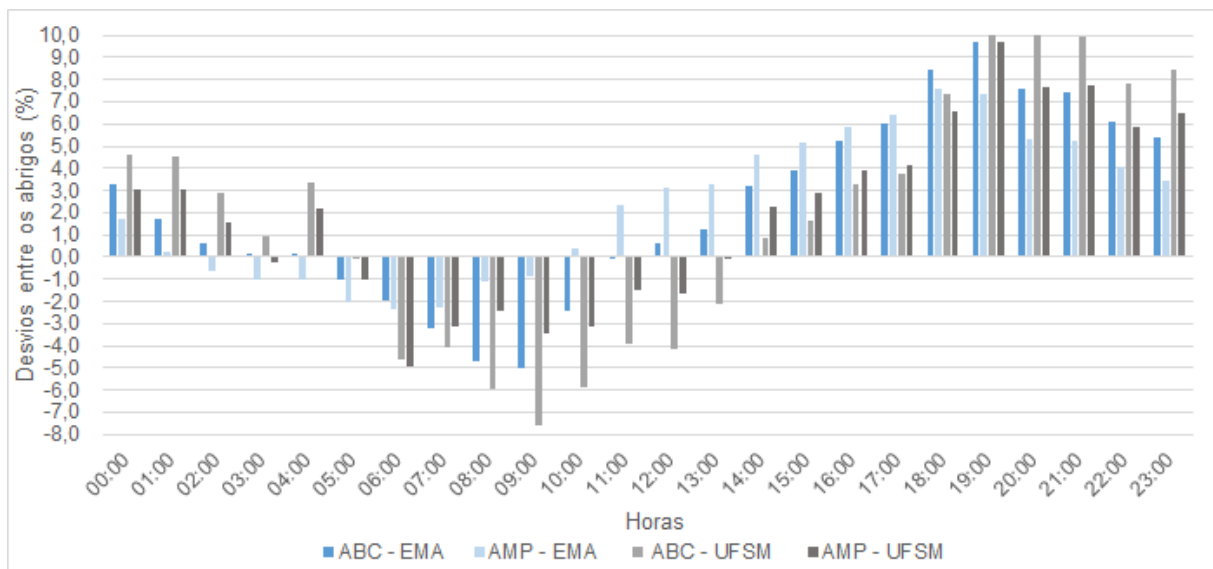
Organização - Os Autores.

¹ Dados de Umidade relativa do ar da estação meteorológica automática da UFSM apresentou falha nos dados.

Os maiores valores da URA estão entre os abrigos ABC e a UFSM, seguido pelos abrigos AMP e a UFSM corroborando com os dados apresentados na tabela 02. As menores diferenças estão entre o AMP e a EMA e o ABC e a EMA. No gráfico da figura 05 ficou nítido que a diferença do tempo de resposta a que a umidade relativa comece a se elevar entre os abrigos. No AMP essa resposta é mais rápida em comparação ao ABC. Assim os picos de maior e menor diferença entre os dados do AMP é menor que os picos de diferença do ABC. Para Armani e Galvani (2006), o abrigo ABC tem a maior amplitude higrométrica que um abrigo padrão (abrigos meteorológicos instalados nas EMAs). Os referidos autores descrevem que isso ocorre porque a umidade relativa do ar no abrigo ABC é mais elevada durante a noite e mais baixa durante o dia. No entanto, Alves e Serafini Júnior (2013) colocam que a variação da umidade relativa do ar do abrigo ABC em comparação com o dado oficial pode estar associada ao material de construção, estrutura física do abrigo e diferentes espaços internos, que podem provocar diferenças nas formas de ventilação. Diante disso, observa-se que o abrigo AMP registrou a menor diferença, em relação ao abrigo ABC e isso decorre em virtude das trocas de ventilação entre os ambientes externos e internos.

O gráfico da figura 06 apresenta o desvio da URA média horária entre os abrigos meteorológicos testados para o período desta pesquisa. Ficou evidente que durante as primeiras horas do dia (00h e 00min às 05h e 00min) os desvios médios horários entre os abrigos AMP e a EMA foram menores. Quando começa o período de aquecimento, os desvios do abrigo ABC com a UFSM são maiores. Diante disto, observou-se que o ABC tem os menores registros de URA. Para os mesmos horários, os menores desvios foram registrados entre os abrigos AMP e a EMA e AMP e a UFSM.

Figura 06 - Desvios da umidade relativa do ar média horária entre os abrigos meteorológicos testados para o período de 14 a 19/11/2019.



Organização - Os Autores.

Após o máximo aquecimento, quando se inicia o período de resfriamento, os maiores desvios são observados entre os abrigos ABC e a EMA, AMP e a EMA. Isso evidencia que os dados da EMA apresentam os menores valores médios de URA em relação aos demais abrigos. Após as 19h e 00min observa-se o inverso, os maiores desvios são em relação ao abrigo UFSM, sendo maior entre o ABC e a UFSM, seguido do AMP e da UFSM.

A tabela 04 apresenta o coeficiente de correlação (r) como descrito por Galvani (2005) é uma associação linear entre variáveis. Os abrigos meteorológicos confeccionados e os oficiais ambos apresentam uma boa associação, porém se destacam o AMP e a EMA seguidos pelo ABC e a EMA. Entretanto, comparando os abrigos construídos com a UFSM, o AMP apresenta maior correlação que o ABC.

Tabela 04 - Parâmetros estatísticos da relação entre os dados de umidade relativa do ar (%) registrados nos abrigos meteorológicos ABC - EMA, ABC - UFSM, AMP - EMA e APM - UFSM.

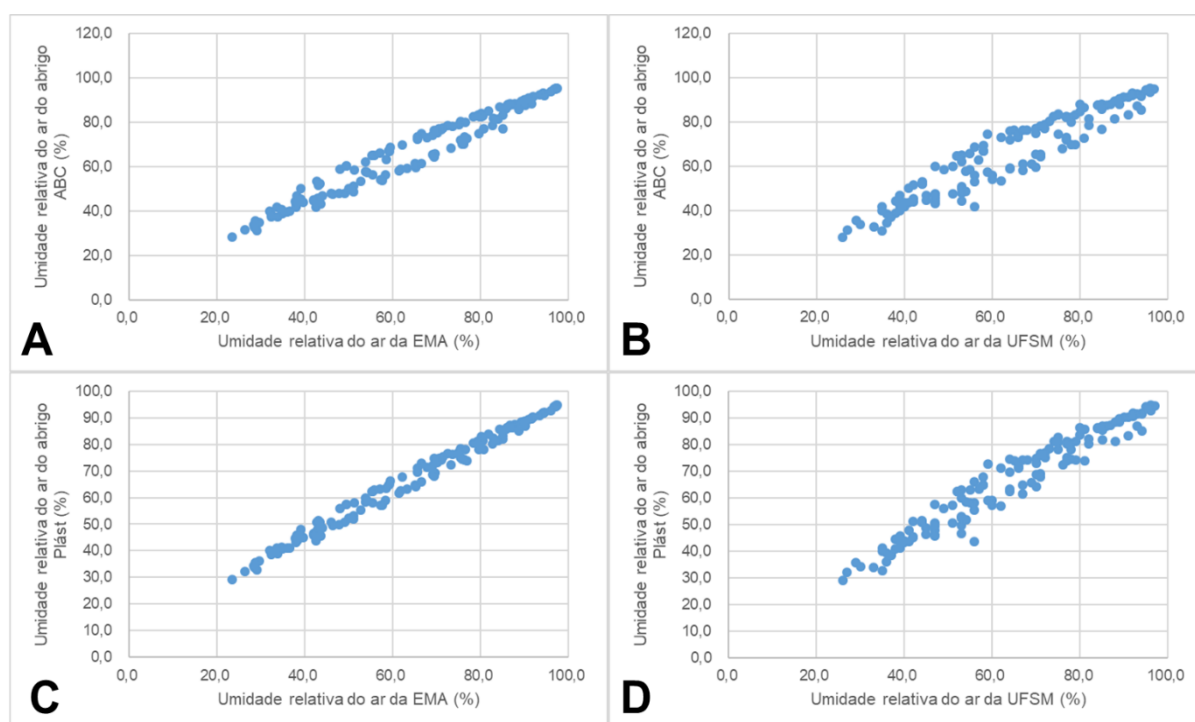
Parâmetros	ABC - EMA	ABC - UFSM	AMP - EMA	AMP - UFSM
Coefficiente de correlação (r)	0,98	0,95	0,99	0,97
Coefficiente de determinação (R²)	0,96	0,86	0,99	0,71

Organização - Os Autores.

O coeficiente de determinação (R²) expressa qual dos modelos é mais eficaz, como aponta Quinino, Reis, Bessegato (2011). Na tabela 04 verifica-se que o AMP é o mais eficaz em relação a EMA. No entanto, o ABC, neste caso, se revelou mais eficiente em relação aos abrigos oficiais. Entre o AMP e a UFSM apresentou a menor eficiência.

Os gráficos da figura 06 apresentam a dispersão dos dados entre os abrigos meteorológicos construídos e as estações oficiais. Os dados da EMA e do ABC (A) UFSM e o ABC apresentam dispersão quando comparados, porém a dispersão dos dados é maior que no gráfico A.

Figura 07 - Dispersão dos dados de umidade relativa do ar (%) dos abrigos meteorológicos ABC - EMA (A), ABC - UFSM (B), AMP - EMA (C) e AMP - UFSM (D).



Organização - Os Autores Letras C e D escrever AMP.

O gráfico C apresenta a menor dispersão entre os dados. Este gráfico exibe a dispersão entre EMA e AMP, portanto o gráfico D expõe a dispersão entre UFSM e AMP. O gráfico D apresenta uma menor dispersão em relação aos gráficos A e B. Assim, verifica-se que a correlação com os dados do AMP é melhor. Diante disso, conclui-se que apesar das diferenças higrométricas entre os abrigos AMP serem maiores que o ABC, em relação aos abrigos oficiais para a umidade máxima, o abrigo AMP se revelou mais eficiente ao analisar o conjunto dos dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar coletados nos abrigos meteorológicos ABC e AMP, em comparação com os dados coletados dos abrigos da estação meteorológica da UFSM e da Estação Meteorológica Automática (EMA), verificou-se que os abrigos construídos foram eficientes para os dados coletados. Assim, os valores médios da temperatura do ar e umidade relativa do ar ficaram dentro do erro instrumental do *datalogger*.

Dessa forma, observou-se que para a temperatura média do ar o abrigo AMP foi mais eficiente que o abrigo ABC, tanto em comparação com os dados da UFSM, quanto com os dados da EMA. Para a temperatura máxima do ar, o abrigo AMP foi muito mais eficiente que o abrigo ABC. Para a temperatura mínima do ar ambos os abrigos tiveram a mesma eficiência.

Em relação a umidade relativa do ar observou-se que os abrigos AMP e ABC tiveram a mesma eficiência para os dados de umidade relativa média, máxima e mínima, ficando dentro do erro instrumental do equipamento. No entanto, o abrigo AMP não registrou grande variação dos dados horários quanto ao abrigo ABC. Em função do abrigo ABC aquecer muito no horário de máximo aquecimento, a umidade relativa do ar diminuiu abruptamente, fazendo com a amplitude dos dados seja maior. Esse equívoco não ocorre no abrigo AMP, revelando que seus dados de umidade são mais homogêneos em comparação com dados do abrigo ABC.

Contudo, pode-se concluir a eficiência do novo modelo de abrigo meteorológico AMP. Dessa forma, o abrigo AMP pode ser uma alternativa confiável para a aquisição de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar em trabalhos de campo, sendo uma alternativa mais barata, mais leve e de fácil construção. Para uma análise mais detalhada da sua eficiência recomenda-se que em futuros testes a comparação ocorra em diferentes épocas do ano, ou em diferentes sistemas atmosféricos. A única dificuldade para realizar a construção do AMP foi encontrar pratos plásticos com o mesmo diâmetro e espessura na cor branca.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. R.; SERAFINI JÚNIOR, S. Miniabrigos Meteorológicos: Comparação e Análise Estatística Para Avaliação de Eficiência Nas Medições de Umidade Relativa do Ar. **Anais...VX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Vitória, 2013. p.526-535. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2014.81099>
- ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. 34-40, 2006.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 2ª reimpressão. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2013.
- BARATTO, J. GALVANI, E. WOLLMANN, C. A. Calibração e desempenho do abrigo meteorológico de baixo custo em condições de campo. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 26, p. 441-456, 2020. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.69834>
- BARROS, M. P. **Dimensão fractal e ilhas de calor urbanas: uma abordagem sistêmica sobre as implicações entre a fragmentação das áreas verdes e o ambiente térmico do espaço urbano**.2012. Tese (Doutorado em Física Ambiental) -Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso –Cuiabá, MT: UFMT, 2012. <https://doi.org/10.5902/223611707705>
- BARRY, G.; CHORLEY, R. J. Atmosphere, weather, and climate. 8th ed, Routledge, 2003. p.462. <https://doi.org/10.4324/9780203428238>
- BRASIL. CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA DO BRASIL. **Carta Sinótica**, 2020. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>> Acesso em: Acesso em 29 janeiro de 2020.
- CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. F. Utilização de policloreto de vinila (pvc) na construção de mini-abrigos meteorológicos para aplicação em campo. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 9, p. 48-55, jul/dez. 2011. <https://doi.org/10.5380/abclima.v9i0.27514>

- FIALHO, E. S.; CELESTINO, E. J. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v.8, n.16, 2017. <https://doi.org/10.30612/el.v8i16.8072>
- FRANCO, F. M. **Configuração Urbana e sua Interferência no Microclima Local: Estudo de Caso no Bairro do Porto em Cuiabá-MT**. 2010. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) –Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso –Cuiabá, MT: UFMT, 2010.
- HOPPE, I. L.; IENSSE, A. C.; SIMIONI, J. P. D.; WOLLMANN, C. A. Comparação entre um abrigo Meteorológico de baixo custo e a estação oficial no INMET, em Santa Maria (RS). **Ciência e Natura**, v. 37, p. 132-137, 2015. <https://doi.org/10.5902/2179460X16228>
- HOPPE, I. L.; WOLLMANN, C. A.; BARATTO, J. 'Análise da precipitação pluviométrica no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca em Agudo/RS'. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2016, Goiânia - GO. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Goiânia - GO: Universidade Federal de Goiás. v. 1. p. 39-47. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2093>
- GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. de; FALCÃO, R. M. Ocorrência de Inversão Térmica no Perfil Topoclimático do Pico da Bandeira, Parque Nacional do Alto Caparaó, Brasil. IN: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.
- GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981.
- GOBO, J.P.A. **Bioclimatologia subtropical e modelização do conforto humano: da escala local à regional**. 2018, p. 396. Tese (Doutorado em Geografia Física- Programa de Pós-graduação em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- IMPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Boletim técnico-CEPTEC** (Centro de previsão do tempo e estudos climáticos). 2020. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>>. Acesso em 29 janeiro de 2020.
- MILANESI, M. A.; GALVANI, E.
- OLIVEIRA, M. J. **Avaliação experimental de interferências causadas pela radiação solar global e pela velocidade dos ventos em medições climatológicas da temperatura do ar**. 2007. Monografia (Engenharia Ambiental) -São Carlos: USP, 2007.
- QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. O Coeficiente de Determinação R2 como Instrumento Didático para Avaliar a Utilidade de um Modelo de Regressão Linear Múltipla. Departamento de Estatística, UFMG, 2011 (Relatório Técnico).
- SANTOS, D.D dos; MORAES, S. L de; GALVANI, E. Variação da temperatura do ar média, mínima e máxima no perfil topoclimático da Trilha Caminhos do Mar (SP). **Revista Equador**: Teresina, PI. Vol. 5, Nº 5, 2015. p.01 – 19.
- SANTOS, F. M. M. **Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá-MT**. 2012. Tese (Doutorado em Física Ambiental) -Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso –Cuiabá, MT: UFMT, 2012.
- TORRES, J. D.; MONTEIRO, I. O.; SANTOS, J. R.; ORTIZ, M. S.; Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção baixo custo e análise de dados, **Scientia Plena** 11, 021712, 2015.
- VALIN JR. M. O., SANTOS, F. M. M., RIBEIRO, K. F. A., ANTUNES, K. F. Análise da relação entre abrigos meteorológicos alternativos para pontos fixos e o comportamento de variáveis termo-higrométricas, **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18. p.157-179, 2016^a. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45146>
- VALIN JR, M. O., SANTOS, F. M., NOGUEIRA, M. C. J. A., MUSIS, C. R., NOGUEIRA, J. S. N. Utilização de abrigos termo-higrométricos alternativos. **Caminhos de Geografia** Uberlândia v. 17, n. 57, p. 74–91, 2016b. <https://doi.org/10.14393/RCG175705>

Whiteman, CD, JM Hubbe e WJ Shaw, 2000: Evaluation of an Inexpensive Temperature Datalogger for Meteorological Applications. J. Atmos. Oceanic Technol. 17, 77–81. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<0077:EOAITD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<0077:EOAITD>2.0.CO;2)

WOLLMANN, C. A.; SIMIONI, J. P. D.; IENSSE, A. C. **Atlas climático da Estação Ecológica do Taim**: Contribuição ao estudo do clima em unidades de conservação no Rio Grande do Sul. 1. ed. Santa Maria: Cássio Arthur Wollmann, 2015. v. 1. 300p.

Recebido em: 14/11/2020

Aceito para publicação em: 26/09/2021