



PROPOSTA DE PLUVIÔMETRO DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO A PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO

Rafael Grecco Sanches ^(a), Maurício Sanches Duarte Silva ^(b), Bruno César dos Santos ^(c),
Diego Narciso Buarque Pereira ^(d)

^(a) Laboratório de Climatologia e Conforto Térmico, Centro de Recursos Hídrico e Educação Ambiental (CRHEA), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Email: rafagsanches@usp.br

^(b) Laboratório de Climatologia e Conforto Térmico, Centro de Recursos Hídrico e Educação Ambiental (CRHEA), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Email: mauriciosanches@usp.br

^(c) Laboratório de Climatologia e Conforto Térmico, Centro de Recursos Hídrico e Educação Ambiental (CRHEA), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Email: diego.narciso@usp.br

^(d) Laboratório de Climatologia e Conforto Térmico, Centro de Recursos Hídrico e Educação Ambiental (CRHEA), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Email: bruno-unifal@hotmail.com

Eixo: Climatologia em diferentes Níveis Escalares: Mudanças e Variabilidade

Resumo

A aquisição de dados climáticos são de extrema necessidade para compreensão do meio ambiente, sendo fundamental em diversas atividades humanas. Um dos problemas é o alto custo destes equipamentos. O trabalho objetivou desenvolver um protótipo de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma Arduino e realizar a validação e eficiência dos registros em relação a dados referência. Para tanto selecionou-se um período de 10 dias de observação. Aplicou-se métodos estatísticos de correlação linear, a fim de verificar a consistência dos dados pluviométricos do protótipo em relação aos de uma estação convencional e uma automática. Os resultados foram satisfatórios uma vez que os dados do protótipo mostrou-se homogêneo em relação aos pluviômetros de referências ($r = 0,96$ e $R^2 = 0,95$ para a convencional; $r = 0,97$ e $R^2 = 0,93$ para a automática). Portanto o pluviômetro de baixo custo pode ser considerado confiável.

Palavras chave: Climatologia, Meteorologia, Pluviometria, Pluviômetro, Arduino;

Introdução e Justificativa

A interpretação e compreensão do clima e do tempo e sua repercussão no espaço geográfico tem sido tema constante de discussões em nossa sociedade nos últimos anos, principalmente pelo fato de desconhecermos todos os fatores que realmente influenciam na dinâmica atmosférica do nosso planeta, às vezes com duração temporal muito superior à nossa existência terrena. Atualmente, com os avanços tecnológicos surgidos pós meiotécnico-científico-informacional é vasto o número de recursos tecnológicos disponíveis que podem ser utilizados nos estudos e pesquisas nas diversas áreas da ciência e a Climatologia Geográfica se inclui nessa realidade.



Desta forma, o interesse da sociedade pelo entendimento do clima proporcionou o desenvolvimento de equipamentos e ferramentas capazes de obter informações necessárias para tal entendimento. Entender o comportamento climático de um lugar fornece auxílio na tomada de decisões, nas gestões dos setores socioeconômico e ambiental, tais como planejamento agrícola, recursos hídricos, turismo, entre outras, visando o bem-estar social.

Dentro dos estudos de climatologia existem diversas escalas (macro, meso, microescala) a serem trabalhadas, mas para a compreensão da realidade climática de um lugar é necessário trabalhar na escala microclimática por meio dos dados dos principais elementos do clima coletados em estações climatológicas ou meteorológicas na superfície distribuídos ao longo do território, tais como a radiação, a temperatura e a umidade relativa do ar, a evaporação, a precipitação, a pressão atmosférica, entre outros.

Estes equipamentos foram sendo aperfeiçoadas ao longo dos séculos, culminando nas modernas estações meteorológicas automáticas de alta precisão, que são amplamente utilizadas atualmente. O problema destas tecnologias empregadas nas estações meteorológicas automáticas é o seu alto custo, que acaba desencorajando o uso em aplicações diversas, como agricultura, acadêmico, pedagógico e turística, prejudicando assim a compreensão da relação de fatores inerentes a cada atividade.

O Arduino é um hardware criado em 2005 por um grupo de pesquisadores do *Interaction Design Institute Ivrea* (IDII), na Itália, com o objetivo de desenvolver um equipamento de baixo custo funcional e fácil de programar, dinamizando e viabilizando estudos nas mais diversas áreas do conhecimento. Além disso foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer indivíduo pode personalizar o dispositivo da maneira que lhe for conveniente.

Assim, foi criada uma placa de circuitos composta por um microcontrolador Atmel, conexões de entrada e saída, tudo programado via IDE (*Integrated Development Environment*), ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, utilizando a linguagem de programação C/C++.

Tendo em vista esta problemática, o objetivo do trabalho foi comparar um protótipo de pluviômetro de baixo custo construído com a plataforma de prototipagem Arduino com dois pluviômetros, um convencional e um automático, da estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos Estudos Ambientais (CRHEA), localizado em Itirapina, SP.

O período escolhido foi do dia 21 a 31 de janeiro de 2017, devido aos altos acumulados pluviométricos registrados neste mês, especificamente durante um episódio de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Segundo Quadros et al. (2012), a ZCAS é um



fenômeno meteorológico caracterizado pela persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), que se estende desde do centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, prolongando-se até sudoeste do Oceano Atlântico, assim, trazendo umidade nos trópicos e provocando altos totais pluviométricos na América do Sul.

Área de Estudo

O estudo foi realizado na Estação Climatológica localizada nas coordenadas 22°10'12" (S) e 47°53'55" (W), numa altitude de 737m, no Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), pertencente à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP) no município de Itirapina-SP (Figura 1).



Figura 1 - Localização da Área de Estudo. Estação Climatológica do CRHEA-USP.

O clima na área de estudo é influenciado pela atuação dinâmica das massas equatoriais, tropicais e polares, apresentando as condições típicas de climas tropicais de altitudes, com inverno seco e verão chuvoso (MONTEIRO, 1973). Assim, os totais pluviométricos na região de Itirapina-SP (Figura 2) são bem definidos pela sua sazonalidade, ou seja, com semestres secos (outono-inverno) distribuídos pelos meses de abril a setembro e, semestres chuvosos (primavera-verão) distribuídos entre outubro a março, sendo que, o mês de janeiro sendo o mais chuvoso, devido a atuação mais frequente da configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

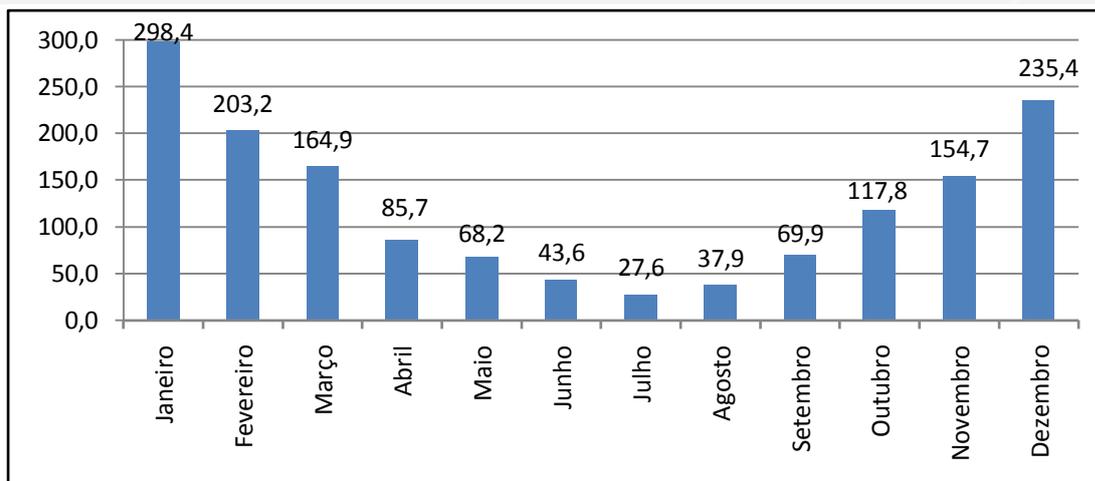


Figura 2 - Precipitação Média Mensal do Período de 1980-2014 para região de Itirapina-SP. Fonte dos dados: CRHEA-USP (2017) – Acessado em janeiro de 2017.

Materiais e Métodos

O protótipo experimental idealizado aqui é composto de um pluviômetro de alumínio estilo balsa (Figura 3) com sensor magnético tipo Reed Swicht, ligado a um Arduino UNO3 com leitor/gravador de cartão SD, que tem a função de armazenar os dados coletados. Este modelo de pluviômetro funciona direcionando a água oriundo da chuva para um coletor de perfil triangular, dividido em dois compartimentos simétricos em relação ao eixo transversal que o apoia. Apenas um dos compartimentos recebe água de cada vez. Quando o compartimento enche, o recipiente tomba para o lado dispensando o líquido e registrando uma quantidade pré-determinada. (VAREJÃO-SILVA 2000).



Figura 3: Arduino e o protótipo de pluviômetro

O segundo pluviômetro utilizado é um modelo TR-525M da Texas Electronics Inc (Figura 4) e funciona da mesma maneira que o pluviômetro protótipo, através de uma balsa que mede o acumulado de precipitação.

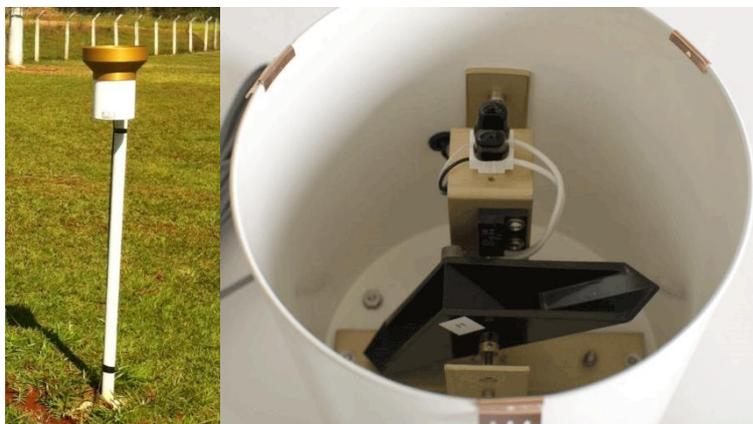


Figura 4: Pluviômetro Texas TR525M

O terceiro Pluviômetro utilizado é do tipo *Ville de Paris* (Figura 5) que segundo Varejão-Silva (2000), é capaz de colher e quantificar toda a precipitação acumulada em 24 horas armazenando em um reservatório para medição posterior nos horários definidos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM).



Figura 5: Pluviômetro Ville de Paris

Metodologia

Definida a área de estudo e determinado os equipamentos necessários passamos a segunda etapa da pesquisa que foi coletar os dados dos pluviômetros referentes ao mês de janeiro de 2017. Após isso, os dados foram divididos e analisados por meio de tempo sucessivos representativos diários. Posteriormente, foram elaboradas tabelas e gráficos com os registros pluviométricos do período, por meio do software *MathWorks MATLAB R2016a*, com o intuito



de facilitar a visualização e comparação do comportamento pluviométrico entre 3 pluviômetros.

Após essa etapa, os dados de precipitação foram comparados por meio de duas técnicas estatísticas de correlação linear que tem a finalidade de verificar se as duas variáveis independentes estão associadas, demonstradas a seguir:

Coefficiente de Correlação de *Pearson* (r)

Em geral, quando se deseja estudar o grau de “afinidade” entre duas séries temporais, um método bastante utilizado é o método de *Pearson*. Em estatística descritiva, o coeficiente de correlação de *Pearson* (r) – também chamado de “coeficiente de correlação produto-momento” ou simplesmente de “ r de *Pearson*” – mede o grau da correlação entre as séries temporais entre duas variáveis quaisquer.

O método utiliza a razão dos Desvios Padrão das duas séries (série X e série Y) da seguinte forma:

$$r = b \left(\frac{\sigma_X}{\sigma_Y} \right) \quad (\text{I})$$

onde “b” é o coeficiente angular da reta de regressão linear cuja determinação é feita através do método dos mínimos quadrados, como mostra a equação a seguir:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{Erro!})$$

Indicador não definido.)

Na Equação II, valores denotados com uma barra superior representam a média das ST, sendo n o número total de valores das mesmas.

A coeficiente de *Pearson* tem a finalidade de mostrar o grau de “afinidade” entre duas séries temporais X e Y em função de seus Desvios Padrão, onde $-1 \leq r \leq +1$. Dessa forma, o módulo de 1 representa uma correlação perfeita (negativa ou positiva) entre as duas variáveis.

O nível de 5% de significância estatística deve ser estabelecido antes da realização do experimento e corresponde ao risco que se corre de rejeitar uma hipótese verdadeira ou rejeitar uma hipótese falsa. A significância de um resultado também é denominada de valor



“p” (*p-value*). Quando o *p-value* é menor ou igual a 5×10^{-2} , dizemos que a correlação é significativamente diferente de zero com 95% de confiança. Mais detalhes dos métodos de correlação podem ser encontrados em Spiegel (1993) e Morenttin e Bussab (2004)

Correlação de Regressão Linear: Coeficiente de Determinação R^2

A correlação linear pode ser expressa através de um gráfico de dispersão. O gráfico de dispersão é bastante útil para demonstrar a existência ou não de relações entre duas variáveis. Quanto mais alinhados estiverem os pontos à reta, maior deve ser a correlação linear entre as duas variáveis.

O coeficiente de determinação ou R-quadrado (R^2) indica o grau do ajuste linear entre duas variáveis ou o grau de dependência linear entre elas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O período escolhidos para análise foi entre os dias 21 e 28 de janeiro de 2017, onde foi observada a atuação da ZCAS de maneira representativa, principalmente nos dias 21 e dia 27 com maiores acumulados pluviométricos dentro da análise (Figura 7).

A Figura 6 apresenta imagens de satélite do sistema EODIS da NASA dos dias 21 e 27, onde é possível perceber a configuração típica de uma ZCAS, mostrando no destaque o estado de São Paulo.

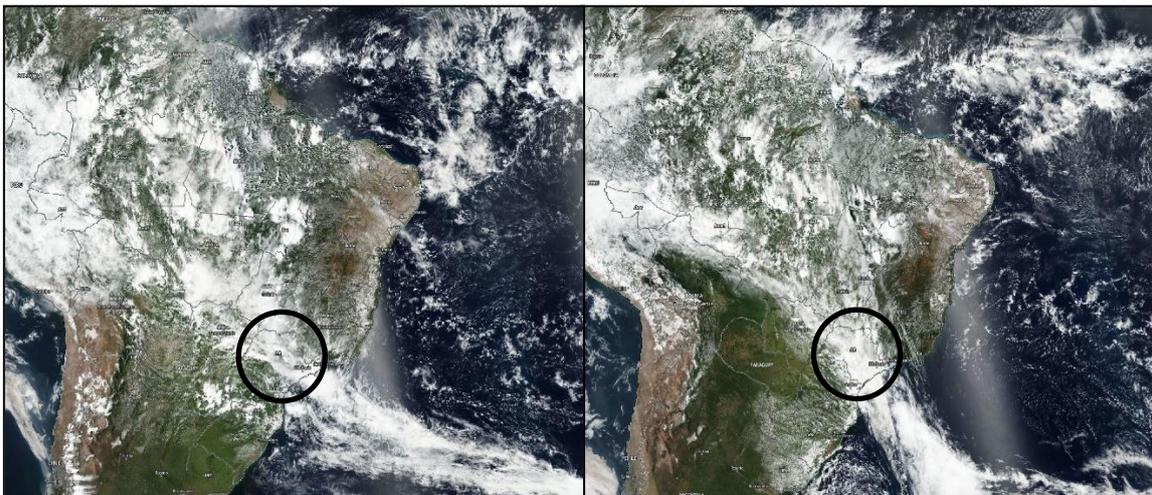


Figura 6: Atuação da ZCAS na área de estudo. Fonte: NASA/EOSDIS

A Figura 7 apresenta os registros da precipitação diária dos 10 dias (21 a 31 de Janeiro de 2017) utilizados para análise. Observa-se na figura que os acumulados de chuvas dos



pluviômetros comportaram-se de maneira semelhante entre os eventos ocorridos, contudo, foi aplicado métodos de correlação para verificar a similaridade entre os dados.

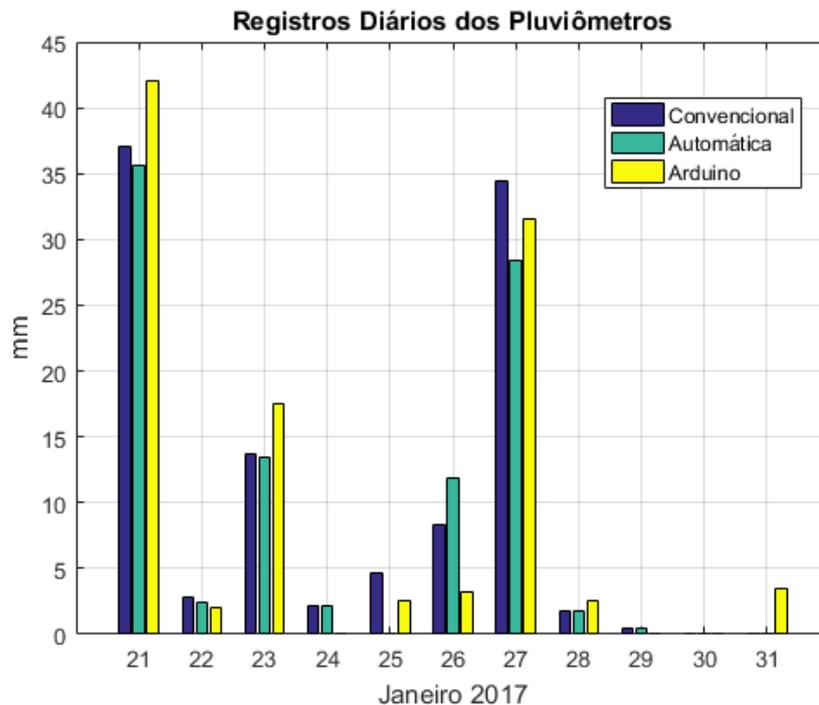


Figura 7. Registros Pluviométricos Diários dos Pluviômetros: Convencional, Automática e Protótipo Arduino

A Tabela apresenta os valores de r de Pearson e o p -value do pluviômetro Automático e do protótipo Arduino em relação ao pluviômetro convencional.

Tabela I. Coeficientes de Correlação de Pearson (r) e valor de P entre os pluviômetros.

Pluviômetro	Arduíno
Automática	$r = 0,96$ $p\text{-value} = 1,3 \times 10^{-6}$
Convencional	$r = 0,97$ $p\text{-value} = 2,0 \times 10^{-7}$

De acordo com a Tabela, os valores do coeficiente de correlação de Pearson entre Convencional-Arduino e Automática-Arduino, apresentam r igual a 0,97 e 0,96, respectivamente. Isso indica um alto grau de correlação positiva entre os dados. O valor de P menos que 0,05, para os dois casos, corrobora com a forte correlação.

A Figura 88 apresenta o gráfico de dispersão e relação linear entre os dados do pluviômetro convencional e o protótipo. É possível observar que o coeficiente angular da reta é igual a 1,045, isso indica que o arduino superestima os valores registrados pelo pluviômetro convencional.



Por outro lado, assim como a correlação de Pearson, o coeficiente de determinação igual a 0,956 indica um alto grau de ajuste linear entre os dados, ou seja, um elevado grau de semelhança.

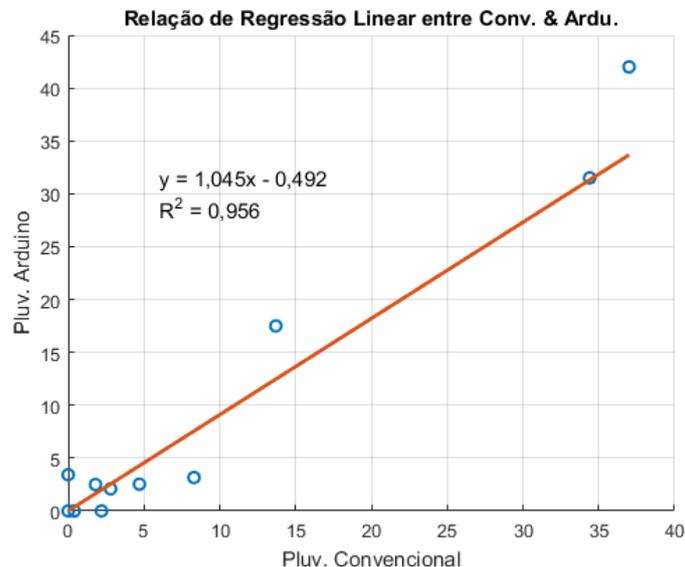


Figura 8. Dispersão dos Dados Pluv.Convencional &Arduino, Equação da reta e R-quadrado.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 apresenta o gráfico de dispersão e relação linear entre os dados do pluviômetro automático e do protótipo arduino. É possível observar que o coeficiente angular da reta é igual a 1,119, indicando que a estação protótipo com arduino superestima os valores registrados pelo pluviômetro automático.

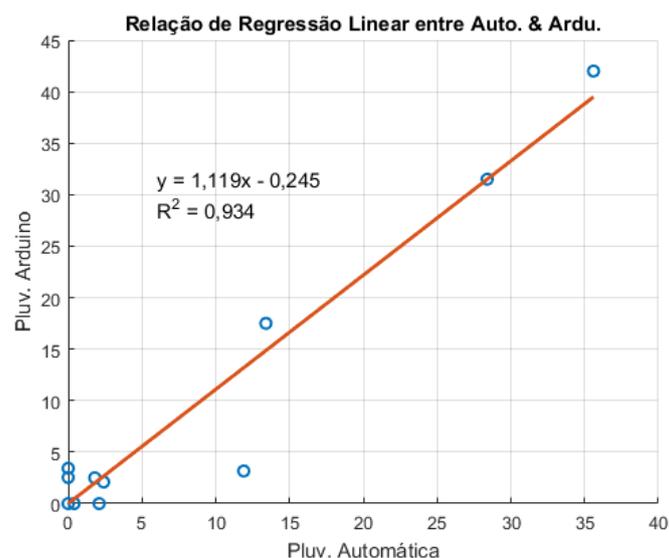


Figura 9. Dispersão dos Dados dos Pluv.Automática&Arduino, Equação da reta e R-quadrado



Por outro lado, assim como a correlação de Pearson, o coeficiente de determinação igual a 0,934 indica um alto grau de ajuste linear entre os dados, ou seja, um elevado grau de semelhança.

Após isso, a Tabela apresenta a precipitação total no período de observação selecionado para o estudo. Percebe-se que a estação protótipo Arduino alcançou um valor total mais próxima a estação convencional em relação do pluviômetro automático.

Tabela II. Altura da Precipitação de cada estação de 21 a 31 de janeiro de 2017.

Pluviômetro	Total (mm)
Convencional	105,3
Automático	96
Protótipo Arduino	104,7

Cabe destacar que, apesar do valor da altura da precipitação do pluviômetro do arduino estar mais próximo à convencional do que o automático, os testes de correlação estatística indicam que o comportamento da estação automática na sequência das observações estão mais similares com a convencional do que a o protótipo arduino.

Isso de fato pode estar relacionado a oscilações do pluviômetro da placa controladora Arduino, ou a limitações na acurácia e precisão do sensor pluviométrico à variações na intensidade de precipitação.

Apesar destas oscilações, os testes estatísticos mostraram que o elevado grau de semelhança nos registros pluviométricos do arduino em relação ao pluviômetro convencional e do pluviômetro automático. Isso indica a viabilidade do uso do protótipo de baixo custo arduino para monitoramento da precipitação.

CONCLUSÃO

A obtenção de dados meteorológicos e climatológicos mostra-se, ao longo do tempo, alicerçada por meio de novas tecnologias a fim de maximizar a eficiência na coleta dos dados, bem como deve propor a redução dos custos para sua implantação, uma vez que tais dados são de grande valia para o planejamento agrícola e urbano, além de representar a base de muitos estudos em Climatologia. Nesse sentido, deve-se ressaltar a questão dos custos



envolvidos na montagem do modelo proposto, o qual possui uma diferença significativa em relação a uma estação meteorológica automática convencional do mercado. Diante disso, as principais contribuições desse trabalho se associam ao desenvolvimento da instrumentação meteorológica alternativa aos métodos convencionais de medição e de coleta de dados meteorológicos e ao avanço na capacidade de monitoramento do tempo. Identificou-se ainda que os valores captados pelo pluviômetro experimental de baixo custo são confiáveis e que os dados deixam bem claro a viabilidade do equipamento para fins didáticos, científicos e/ou profissionais. Sendo assim, a montagem de tais equipamentos mostrou-se viável para a obtenção (coleta) e organização dos dados meteorológicos, contudo, para estudos futuros, aponta-se a importância para testes que comprovem a eficácia e a eficiência de futuros protótipos de estações meteorológicas ou climatológicas de baixo custo em operação por meio de testes de validação.

Agradecimentos

Ao CNPQ e à CAPES pelo fomento ao desenvolvimento da pesquisa. À Estação Climatológica do (CRHEA). À Escola de Engenharia de São Carlos (CRHEA/EESC/USP).

BIBLIOGRAFIA

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em 07 de janeiro de 2016.

ARDUINO UNO. Site oficial do Arduino UNO. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 16 maio de 2016.

QUADROS M. F. L. et al. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.152-162, 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**. Estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IG/USP, 1973.

M. MCROBERTS, **Arduino Básico** (Novatec, São Paulo, 2011).

MORENTTIN, P. A.; BUSSAB, W O. **Estatística Básica**, São Paulo: Editora Atlas, 2004.

SPEGEL, Murray R. **Estatística**, 3. Ed.; tradução e revisão técnica Pedro Consentino – São Paulo: Pearson Makron Books, 1993.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET; Stilo, 2000.

WMO: **World Meteorological Organization**. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Ed 8, 2008.



XVII Simpósio Brasileiro
de Geografia Física Aplicada
I Congresso Nacional
de Geografia Física

OS DESAFIOS DA GEOGRAFIA FÍSICA NA FRONTEIRA DO CONHECIMENTO

Instituto de Geociências - Unicamp

Campinas - SP

28 de Junho à 02 de Julho de 2017

Fonte Financiadora: CNPQ