

## USO DO ARDUINO PARA DESENVOLVIMENTO DE DATALOGGERS DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA PRECIPITAÇÃO EM ESCALA SUB-HORÁRIA

Diego Ribeiro de Oliveira Galdino<sup>1</sup> & Cristiano das Neves Almeida<sup>2\*</sup> & Cícero da Rocha Souto<sup>3</sup> & Matheus Silva da Cruz<sup>4</sup>

**Resumo** – No Brasil, a forma mais comum de medição da precipitação é por meio de pluviômetros do tipo Ville de Paris, em que as medições resultam no total precipitado diariamente. Já para o entendimento da precipitação em escala subdiária, faz-se necessário o uso de pluviógrafos que normalmente têm um custo alto de aquisição. Assim, este artigo apresenta a experiência positiva no desenvolvimento de *dataloggers* de baixo custo, baseado no uso do microcontrolador Arduino. Os três primeiros protótipos foram testados em laboratório, comparando os resultados obtidos pelos três *dataloggers* com dados observados pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Embora os *dataloggers* registrem a precipitação no momento de sua ocorrência, este artigo apresenta apenas a análise das precipitações diárias, mensais e total resultantes de 6 meses de medição da precipitação no campus da universidade em João Pessoa. Os resultados mostram que os *dataloggers* registraram a precipitação corretamente. Na comparação entre as precipitações acumuladas anualmente, os *dataloggers* apresentaram valores iguais a 199,652, 208,266 e 197,424 mm, o que resulta em diferenças com relação à média (201,781 mm) iguais a -1,05, 3,21 e -2,16%. Concluiu-se assim que, os *dataloggers* podem ser utilizados para monitoramento da precipitação com boa precisão.

**Palavras-Chave** – *datalogger*, monitoramento, precipitação.

## DEVELOPMENT OF LOW COST DATALOGGERS BASED ON ARDUINO FOR SUBHOURLY RAINFALL MONITORING

**Abstract** – In Brazil, the most common way of measuring daily rainfall is using Ville de Paris pluviometer, in which rainfall is measured once a day. However, in order to understanding the subdaily rainfall, digital rainfall is necessary, whose costs are commonly high. Thus, this paper presents a positive experience in developing low cost dataloggers, based on Arduino microcontroller. The three first prototypes were tested on laboratory, comparing their results with rainfall data from CEMADEN (National Center for Monitoring and Natural Disaster Alerts). Although the dataloggers record rainfall at the time of occurrence, this paper just presents daily, monthly and total rainfall analysis from 6 months (from July to December 2016) measured at the University Campus in João Pessoa. Comparing partial annual rainfall, the dataloggers presented the following values: 199,652, 208,266 e 197,424 mm, which result in differences between average rainfall (201,781 mm) from -1,05, 3,21 e -2,16%. It was concluded that these dataloggers can be used for rainfall monitoring with a good precision.

**Keywords** – datalogger, monitoring, rainfall.

<sup>1</sup> Discente do curso de Eng. Civil da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), [diego.rog@hotmail.com](mailto:diego.rog@hotmail.com).

<sup>2\*</sup> Professor Do Departamento de Eng. Civil e Ambiental da UFPB, [almeida74br@yahoo.com.br](mailto:almeida74br@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Professor Do Departamento de Eng. Elétrica da UFPB, [cicerosouto@cear.ufpb.br](mailto:cicerosouto@cear.ufpb.br).

<sup>4</sup> Discente do curso de Eng. Civil da UFPB, [matheuscruzjp@gmail.com](mailto:matheuscruzjp@gmail.com).

## INTRODUÇÃO

Muitos estudos realizados na área de recursos hídricos dependem de dados de precipitação, é o caso dos Planos Diretores, projetos de barragens, dimensionamento de obras hidráulicas, previsão de enchentes, etc. No Brasil, grande parte da rede de monitoramento de precipitação baseia-se no registro diário da precipitação acumulada em pluviômetros do tipo Ville de Paris. No próprio caso do Estado da Paraíba, em 2014, das 291 estações em operação, em 263 delas a precipitação é medida a partir de pluviômetros Ville de Paris, segundo o Relatório de Atividades Anual da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2014). Desta forma, o estudo do comportamento das características da precipitação (duração, lâmina precipitada e intensidade) com dados registrados em pluviômetros não é possível.

Estudos da precipitação e suas características em escala subdiária ou mesmo subhorária só são possíveis a partir de dados medidos em pluviógrafos. Dunkerley (2008) publicou um artigo apresentando uma revisão dos MIT (Mínimo Intervalo de Tempo entre eventos) utilizados para definição de eventos chuvosos. De acordo com sua revisão os MIT's variam de 3 minutos até 24 horas, sendo os valores de 6 a 8 horas os mais utilizados. Dunkerley (2015) utilizando dados subhorários de precipitação da estação de pesquisa Fowlers Gap, na zona árida da Austrália, estudou a relação da fração de intermitência, que é a relação do tempo seco pela duração do evento chuvoso, com as características da precipitação (duração, lâmina precipitada e intensidade). Os estudos referenciados em seus dois artigos só foram possíveis a partir de precipitações registradas na escala subdiária ou subhorária. Estudos da precipitação, suas características, entre elas a forma do hietograma, também só são possíveis a partir de dados nesta escala temporal. Coutinho et al. (2014) desenvolveu um estudo na bacia experimental do riacho Guaraira para classificação de eventos chuvosos nas seguintes formas: triangular (a esquerda, central e a direita), retangular, bimodal e não caracterizado. Seu estudo foi realizado a partir de uma base de dados de eventos de precipitação medida e registrada a cada minuto.

Assim, este artigo objetiva apresentar o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados (*datalogger*) de baixo custo, para monitoramento da precipitação em escala subhorária utilizando o microprocessador Arduino. O desenvolvimento do pluviógrafo foi realizado no âmbito do projeto de cooperação e pesquisa entre o Brasil e a Alemanha, o projeto BRAMAR. Dentre os objetivos deste projeto, há um que diz respeito ao melhoramento da rede de monitoramento pluviométrico de parte da região litorânea do Estado da Paraíba.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O principal produto utilizado nesse projeto foi o microprocessador Arduino que, com o auxílio de outros componentes, se tornou uma valiosa ferramenta de automação na leitura e registro de dados pluviométricos.

De acordo com o site oficial do Arduino (Arduino.cc), Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto (*open source*), baseada em *hardware* e *software* de fácil utilização, capaz de ler um valor de entrada (leitura de sensores, por exemplo) e transformá-lo em um comando de saída (acendimento de lâmpadas, por exemplo).

Segundo McRoberts (2011, p. 22):

*“Um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software”*

### As estações pluviográficas

As estações pluviográficas são constituídas por 3 sistemas: sistema de alimentação (painel solar, bateria e regulador de voltagem), sistema de aquisição de dados (*datalogger*) e sistema mecânico de reconhecimento de precipitação (pluviógrafos de bascula, por ex.). Os materiais utilizados para a construção dos 3 sistemas foram os seguintes:

- I. Arduino Uno;
- II. Módulo RTC DS3231;
- III. Módulo SD-card;
- IV. Painel solar – Utilizado na alimentação da bateria;
- V. Regulador de voltagem – Utilizado na alimentação da bateria a partir do painel solar e do Arduino a partir da bateria;
- VI. Bateria – Foi utilizada bateria selada de 12 volts e 7 Ah, com dimensões de 10 x 15 x 6,5 cm;
- VII. Pluviógrafo de bascula – Utilizados o pluviógrafo TB4 da Campbell (com precisão de 0,254 mm) e dois da Rainwise (calibrados em laboratório com precisões de 0,206 e 0,216 mm);
- VIII. Componentes eletrônicos diversos – LEDs, resistores, conectores tipo borne e P4, placa de prototipagem com espaçamento de 1mm, diversos fios macho e fêmea e equipamento de solda.

Todos os materiais utilizados na construção dos sistemas de alimentação e aquisição de dados podem ser visualizados na Figura 1. Já na Figura 2 é possível observar o *datalogger* construído com Arduino e demais componentes periféricos.



seriam registradas corretamente. Para tanto, 2 estações pluviográficas com *dataloggers* baseados em Arduino foram instaladas na cobertura do bloco das salas dos professores do Centro de Tecnologia da UFPB, um ao lado do outro. À primeira foi dado o código 12 e à segunda o código 99. Para saber se a precipitação seria registrada corretamente, uma terceira estação (de referência) foi também montada, usando *datalogger* e pluviógrafo comerciais. Os três *dataloggers* foram colocados em uma mesa e os pluviógrafos na cobertura do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (LARHENA/UFPB).

Os testes com os pluviógrafos na parte exterior do laboratório permitiram não só a comparação entre eles, mas também a comparação com dados de estações pluviográficas do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Neste caso, foram utilizadas as três estações pluviográficas mais próximas (250750705A-Tambauzinho, 250750701A-Bairro do Cristo e 250750703A-Cuia), todas elas localizadas a menos de 4,5 km das estações de teste.

Durante seis meses os dados dos 3 *dataloggers* eram recuperados e processados pelos pesquisadores, uma vez que os dados registrados pela estação pluviográfica comercial eram o total registrado a cada minuto e as duas estações com *dataloggers* com Arduino registram a precipitação no momento de sua ocorrência, ou seja, a data, hora, minuto e segundo do evento são registrados no *datalogger*.

A comparação numérica e gráfica dos resultados foi realizada considerando a precipitação total anual parcial, mensal e diária, relativo aos seis meses de monitoramento (jul. a dez./2016). Para tanto, foi feita uma análise estatística descritiva, calculando a média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, assim como análises gráficas.

## RESULTADOS

A primeira análise realizada diz respeito à precipitação anual acumulada, neste caso anual parcial, visto que o período de teste foi de 6 meses (julho a agosto de 2016). Os totais anuais parciais das estações de referência, 12 e 99 foram respectivamente: 199,652 mm, 197,424 mm e 208,266 mm, com média de 201,781 mm. Foram encontradas diferenças de -2,129 mm, 6,485 mm e -4,357 mm, em relação ao valor médio das 3 estações pluviográficas de teste, o que corresponde a -1,05%, 3,21% e -2,16%, respectivamente.

Com relação à precipitação mensal, o gráfico da Figura 3 apresentam o total mensal das estações de referência, 12, 99, das 3 estações do CEMADEN e da média dessas 6 estações. O intervalo de variações dos totais mensais entre as 6 estações analisados vai de 5,80 mm (nov./2016) até 73,60 mm (dez./2016). Já considerando apenas as 3 estações (de referência, 12 e 99) o intervalo de variações vai de 1,18 mm (ago./2016) até 8,24 mm (jul/2016), sendo que a variação média é da ordem de 2,85 mm.

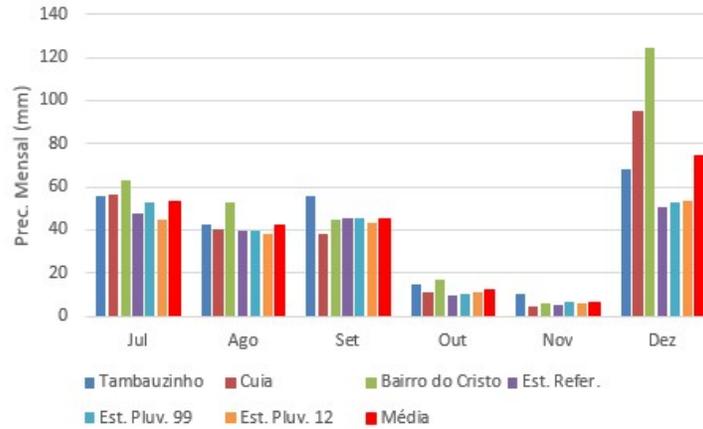


Figura 3 – Comparação das precipitações mensais (jul-dez/2016) – Estações de referência, 12 e 99 x Estações do CEMADEN x Média das 6 estações.

Com relação à precipitação diária das três estações de teste, as figuras a seguir apresentam o gráfico de dispersão entre estações pluv. 12 e a de referência (Figura 4) e a estação pluv. 99 e a de referência (Figura 5). Nestas duas figuras são vistas boas concordâncias entre os valores de precipitação diária medidas com os *dataloggers* baseados em Arduino (Est. Pluv. 12 e Est. Pluv. 99) com o sistema comercial (Est. De referência). Os valores do coeficiente de determinação são quase iguais à unidade.

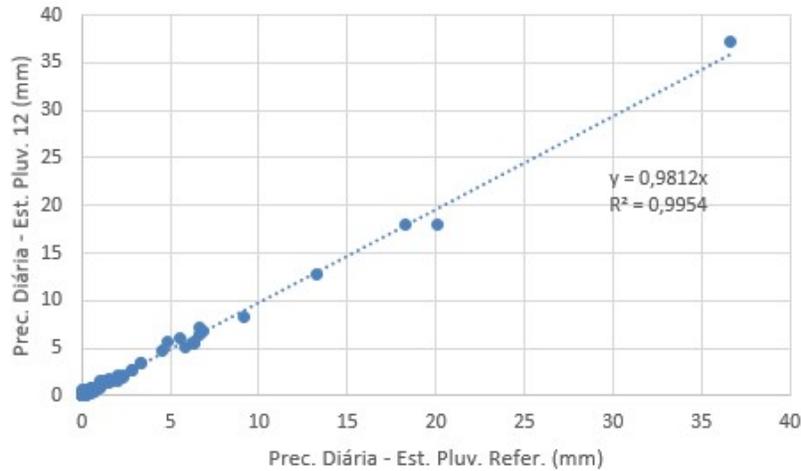


Figura 4 – Gráfico de dispersão entre a estação pluv. 12 e a estação de referência (período:jul-dez/2016).

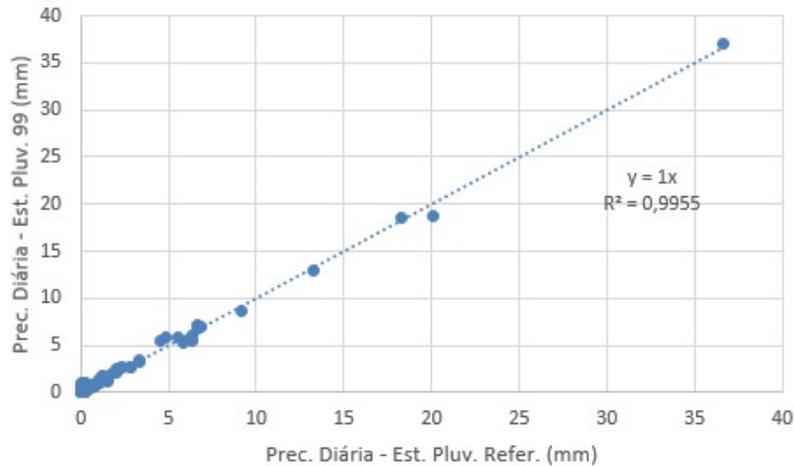


Figura 5 – Gráfico de dispersão entre a estação pluv. 99 e a estação de referência (período:jul-dez/2016).

Por fim, procedeu-se com uma análise apenas dos dias em que foram registradas precipitações em pelo menos uma das estações, 83 dias de um total de 184. A Tabela 1 mostra os resultados dessa análise, onde são vistos valores similares de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos dos dias em que foram registradas precipitações em pelo menos uma das três estações.

Parâmetros estatísticos	Est. Pluv. De referência	Est. Pluv. 99	Est. Pluv. 12
<b>Média (mm)</b>	2,41	2,51	2,38
<b>Desv. Pad. (mm)</b>	5,25	5,21	5,16
<b>Coef. De Var. (%)</b>	218,29	207,82	216,82

## CONCLUSÕES

Este artigo apresentou a experiência positiva no desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados (*datalogger*) para monitoramento da precipitação em escala subhorária. Os resultados dos testes realizados em laboratório mostraram que o *datalogger* desenvolvido foi capaz de quantificar e registrar corretamente as precipitações ocorridas no período de estudo.

A principal conclusão deste artigo é que o *datalogger* de baixo custo, baseado em Arduino, desenvolvido no LARHENA é confiável para a aquisição de dados a partir de pluviógrafo do tipo *tipping bucket* (ou de balsa).

Em relação aos custos, sem considerar o investimento de pessoal para desenvolvimento da solução e impostos, a estação pluviográfica de baixo custo utilizando Arduino custa cerca de 13% do valor de uma estação pluviográfica completa comercial, o que corresponde a cerca de US\$ 260.

Outro ponto importante do trabalho de desenvolvimento de um *datalogger* é a aquisição e a ampliação de conhecimento sobre o Arduino e seus componentes e sobre os mínimos detalhes da medição de precipitação. Esse conjunto de conhecimentos é absorvido mais facilmente pelos discentes de graduação e pós-graduação.

Por fim, o próximo passo é instalar uma rede de pluviógrafos complementar à rede instalada e operada desde 2003 pelo projeto IBESA (Instalação de Bacias Experimentais e Representativas) e mais recentemente pelo projeto BRAMAR. Assim, serão realizados testes em campo para finalmente

avaliar a capacidade do *datalogger* de suportar variações maiores de temperatura e outros fatores ambientais. O grupo de pesquisa em recursos hídricos do LARHENA vem ainda investindo esforços no desenvolvimento de um pluviógrafo de balança de baixo custo a partir de, por exemplo, impressão 3D.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem ao CNPq (pelas bolsas de produtividade em pesquisa e iniciação científica, e pelos recursos do projeto do Edital Universal de 2013, processo número 476727), à FINEP, pelos recursos financeiros cedidos ao projeto BRAMAR, que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AESA (2014). AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Relatório de Atividades Anual, disponível em: [http://www.aesa.pb.gov.br/relatorios/atividades/arquivos/Relatorio\\_de\\_Atividades\\_AESA\\_2014.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/relatorios/atividades/arquivos/Relatorio_de_Atividades_AESA_2014.pdf).

COUTINHO, J. V., ALMEIDA, C. N., LEAL, A. M. F., BARBOSA, L. R., (2014). Characterization of sub-daily rainfall properties in three rain gauges located in Northeast of Brazil. In: XX IAHS Publication 364, pp. 345-350.

DUNKERLEY, D. (2008). Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. *Hydrological Processes* 22, pp. 5024 – 5036.

DUNKERLEY, D. (2015). Intra-event intermittency of rainfall: an analysis of the metrics of rain and no-rain periods. *Hydrological Processes* 29, pp. 3294 – 3305.

EVANS, M., NOBLE, J., HOCHENBAUM, J. (2013). *Arduino in Action*. Manning Publication Co – NY, 346 p.

MCROBERTS, M. (2011). *Arduino Básico*. NOVATEC Editora – SP, 453 p.