

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ACURÁCIA NA MEDIÇÃO DA ALTURA DE PRECIPITAÇÃO EM PLUVIÔMETROS DE BÁSCULA

*Mateus Nascimento Vieira de Melo¹; Adilson Pinheiro¹; Vander Kaufmann¹; Milton Hentges²;
Inácio Schuh²*

RESUMO – Pluviômetros são equipamentos que objetivam a medição das alturas de precipitação e podem ser classificados como manuais ou automáticos, podendo estes últimos serem de balsa convencional ou de compensação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia na medição da altura de precipitação efetuada em 2 pluviômetros instalados em campo, em uma bacia hidrográfica do município de São João do Oeste, no extremo oeste do estado de Santa Catarina, Brasil, sendo um deles convencional e o outro de compensação. No pluviômetro manual, de referência, foram realizadas leituras diárias e nos pluviômetros automáticos, a precipitação foi registrada em intervalos de 5 min. A comparação das séries permitiu a identificação do potencial de subestimação dos valores das alturas de precipitação medidos pelo pluviômetro convencional, confirmando o que foi observado nos estudos consultados. Os valores de intensidades máximas de precipitação em 5 min e horária obtidas foram superiores àquelas obtidas por estudo de abrangência regional. Faz-se importante a contínua realização de estudos comparativos entre pluviômetros manuais e automáticos, de modo a fomentar a execução de correção das alturas de precipitações medidas.

ABSTRACT – Pluviometers are equipment that measures the volume of precipitation, being classified as manual or automatic. The last one can be conventional tipping bucket and tipping bucket with correction. This work aimed to evaluate the accuracy of the measurement of precipitation volume by 2 tipping bucket rain gauge (conventional and with correction) installed in a river basin of São João do Oeste county, in the extreme west of the state of Santa Catarina, Brazil. In the manual pluviometer daily readings were taken and in the automatic rain gauges, precipitation was recorded in 5 min intervals. The comparison of the series allowed the identification of the underestimation potential of the values of the precipitation volumes measured by the conventional pluviometer, confirming what was observed in other studies. Maximum precipitation intensities values at 5 min and hourly obtained were higher than those obtained by a regional study. It is important to carry out Comparative studies between manual and automatic pluviometers are important in order to promote the correction of measured precipitation volumes.

Palavras-Chave – Acurácia, pluviometria, monitoramento hidrológico.

1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – FURB, Rua São Paulo, 3250, Itoupava Seca, Blumenau – SC, (47) 3221-6077, mateusnmv@gmail.com, pinheiro@furb.com.br, ambitec.amb@gmail.com

2) Prefeitura Municipal de São João do Oeste, Rua Encantado, 66, Centro, São João do Oeste – SC, (49) 3195-2000, prefeitura@saojoao.sc.gov.br

1- INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica varia no espaço e no tempo, sendo responsável por diferentes efeitos em sistemas ambientais. A caracterização dos processos hidrológicos de uma região depende da qualidade da medição da altura da precipitação.

Essas informações apresentam caráter fundamental para subsídio de tomada de decisões que tangem o planejamento e operação de atividades como abastecimento de água, geração de energia elétrica, produção agropecuária, controle e proteção contra inundações, dentre outras atividades que envolvam o balanço hídrico de bacias hidrográficas.

Os pluviômetros são equipamentos que objetivam a medição da altura de precipitação. Observa-se, atualmente, a consolidação da automatização de aquisição destes dados, facilitando a realização da medida. Porém, uma atenção especial deve ser destinada à homogeneização da série de dados.

Os pluviômetros manuais demandam a ação de um operador para realizar a medição da altura de precipitação entre duas leituras, em determinado intervalo de tempo. O volume de água precipitada é coletado em uma proveta graduada em milímetros. No Brasil, esta medição é feita, geralmente, às 7 horas da manhã (ANA, 2014).

Pluviômetros automáticos vem sendo desenvolvidos, dentre eles o pluviômetro do tipo de balança, chamado também de pluviômetros automáticos convencionais. O princípio de funcionamento destes equipamentos consiste na captura da água por um funil e acúmulo na balança. Ao ser atingido determinado volume neste recipiente, ocorre o movimento lateral da balança, responsável por eliminar este volume e emitir um pulso eletrônico, registrado em *datalogger*. Contudo, neste sistema, as medidas das alturas de precipitação realizadas com pluviômetros de balança podem apresentar erros médios que variam de 2,2 a 20,0% (BRAGA; FERNANDES, 2007).

Um tipo específico desse equipamento é o chamado de pluviômetro automático de compensação. Este nome deriva do fato dele dispor de um módulo eletrônico microprocessado responsável por compensar a altura de precipitação, de acordo com a intensidade dela. De modo análogo aos convencionais, as basculadas são registradas em *datalogger* (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Diferenças nas medições da altura de precipitação podem ter origem em falhas nos equipamentos, calibração inadequada, característica de funcionamento, erro na leitura, dentre outros fatores. A automatização dos equipamentos de monitoramento de precipitação e a substituição dos dispositivos manuais pode gerar incongruências na série de observação.

Diante disto, justifica-se a importância de avaliar a acurácia de dados registrados por diferentes tipos de pluviômetros automáticos, através da comparação destes com os pluviômetros manuais (GOŁASZEWSKI; KLENIEWSKA, 2012). Entende-se como acurácia como o quão próximo a

magnitude de uma estimativa está de seu parâmetro, valor verdadeiro, envolvendo erros sistemáticos e aleatórios (MONICO *et al.*, 2009).

Nesse contexto, este trabalho objetivou a avaliação da acurácia na medição da altura de precipitação efetuada por 3 pluviômetros instalados em campo em uma bacia hidrográfica do município de São João do Oeste, no extremo oeste do estado de Santa Catarina, Brasil.

2- MATERIAL E MÉTODOS

Os pluviômetros utilizados para o experimento situam-se no viveiro florestal da Prefeitura Municipal de São João do Oeste, localizada na região do extremo oeste do estado de Santa Catarina, Brasil. O viveiro está situado no interior da bacia hidrográfica do rio Fortaleza, que apresenta uma área de drenagem de 64,28 km² e dispõe de uma rede de monitoramento hidrológica quali-quantitativa (PINHEIRO *et al.*, 2014).

O experimento é constituído por três pluviômetros: um manual e dois automáticos, sendo um deles convencional e o outro de compensação. Eles foram instalados sobre uma base metálica a 1,50 m de altura do solo, afastados de obstáculos e com ângulos inferiores a 45°. Os sistemas eletrônicos são alimentados como sistema fotovoltaico, sendo a energia armazenada em bateria.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é subtropical constantemente úmido, sem estação seca e verão quente (Cfa). A precipitação distribui-se de forma homogênea e o volume varia de 1430 e 2020 mm no ano (THOMÉ *et al.*, 1999).

O pluviômetro manual instalado é do tipo *Ville de Paris*, com área de captação de 400,00 cm² e amplamente difundido na rede de monitoramento convencional da Agência Nacional de Águas (ANA). O volume de água captada é transferido e medido em uma proveta graduada diariamente. Os valores são anotados pelos operadores do viveiro.

O pluviômetro convencional é constituído por plástico ABS, tem área de coleta de 214,0 cm² e resolução de 0,2 mm. A precisão é de 4% para intensidade de precipitação entre 0,2 e 50,0 mm/h e de 5% para intensidade entre 50,0 e 100,0 mm/h. O número de basculadas foi registrado, a cada 5 minutos, em *datalogger*.

O pluviômetro de compensação é constituído por alumínio extrudado, com área de captação de 324,3 cm². Dispõe de um módulo eletrônico microprocessado responsável pela compensação da altura de precipitação, de acordo com a intensidade de precipitação. O pluviômetro foi calibrado em laboratório, com altura de precipitação por basculada variando entre 0,236 e 0,330 mm. O modelo de compensação ajustado é descrito por uma função polinomial. Os pulsos são registrados em um *datalogger* (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Para as análises de comparação, utilizou-se o período compreendido entre as datas de 08 de julho de 2013 a 29 de janeiro de 2019, somando 2030 dias.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos das séries das alturas de precipitação registradas nos três pluviômetros. A altura total e as médias diárias medidas no pluviômetro convencional apresentaram uma submedição de 22,4% em relação àquela medida no pluviômetro manual. No pluviômetro de compensação, a altura medida apresentou uma diferença de 0,8%.

No que diz respeito à mediana diária, observou-se submedições de 27,6 e 5,2% para os pluviômetros convencional e de compensação, respectivamente.

Em relação às máximas diárias, foi observada uma submedição de 24,5% e uma superestimação de 10,4% para os pluviômetros convencional e de compensação, respectivamente.

As intensidades máximas horária e em 5 min, apresentadas pelo pluviômetro convencional apresentou valores de 47,40 e 144,00 mm/h, respectivamente, enquanto o pluviômetro de compensação apresentou valores de 57,05 e 172,20 mm/h.

Tabela 1- Parâmetros estatísticos das séries das alturas de precipitação.

Parâmetro	Manual	Convencional	Compensação
Total (mm)	12860,44	9981,80	12969,16
Média diária (mm)	6,34	4,92	6,39
Mediana diária (mm)	11,60	8,40	11,00
Máxima diária (mm)	165,00	124,60	182,11
Intensidade máxima horária (mm/h)	-	47,40	57,05
Intensidade máxima em 5 min (mm/h)	-	144,00	172,20

Sevruk, Ondrás e Chvíla (2009) também avaliaram a acurácia de dados pluviométricos medidos por pluviômetros convencional e de compensação. Os resultados mostraram que as medições das alturas de precipitação feitas pelo primeiro podem apresentar erros superiores a 5%, diferentemente dos pluviômetros de compensação.

Petraca (2011) identificou que o pluviômetro convencional pode subestimar valores da altura de precipitação e que a compensação pode reduzir erros relativos de 14 para 3%.

Braga *et al.* (2013) avaliaram a performance de pluviômetros de compensação em um período de 119 dias. A altura total medida no pluviômetro de compensação apresentou uma submedição de 0,02% em relação àquela medida no pluviômetro manual.

Pinheiro *et al.* (2014) avaliaram a acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de balança, em um período de 250 dias para os pluviômetros automáticos e 188 dias para o pluviômetro manual. A altura total medida no pluviômetro convencional apresentou uma submedição de 12,58% em relação àquela medida no pluviômetro manual. No pluviômetro de compensação, a altura medida apresentou uma diferença de 0,40%.

Grison *et al.* (2017) estudaram o desempenho de um pluviômetro convencional em campo em 38 medições de precipitação acumulada. Não houve diferença significativa entre equipamentos. Os valores da altura de precipitação máxima foram 92,8 e 89,4 mm e os valores médios foram 36,4 e 35,5 mm para o pluviômetro manual e convencional, respectivamente.

Nascimento *et al.* (2017) observaram, em um ano, uma dissimetria de 15,8% entre a altura total de precipitação medida pelo pluviômetro convencional, em relação ao pluviômetro manual, indicando uma tendência de subestimação dos registros do primeiro. Foi destacado que as maiores diferenças nos registros apresentam consonância com períodos de maior frequência de movimentos da balança, decorrentes da maior intensidade pluviométrica.

As alturas média, a mediana e a máxima horária foram subestimadas pelo pluviômetro convencional no estudo de Pinheiro *et al.* (2014), assim como no presente estudo.

Back, Henn e Oliveira (2011) mostraram que, em 26 anos de monitoramento pluviométrico da região (estação de Chapecó), os valores médios da intensidade máxima de precipitação horária e em 5 min foram de 39 e 132 mm/h, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos valores obtidos pelo presente trabalho. Estes resultados evidenciam a importância de uma abordagem local de monitoramento pluviométrico para o planejamento e operação de atividades e projetos que demandem informações sobre intensidade máxima média e do balanço hídrico de bacias hidrográficas.

Os máximos valores de intensidade horária obtidos por Pinheiro *et al.* (2014) foram de 47,7 e 57,9 mm/h nos pluviômetros convencional e de compensação, respectivamente, apresentando uma diferença de 21,38%. No presente estudo, esta diferença foi semelhante, atingindo 20,36%.

Já os máximos valores de intensidade em 5 min obtidos por Pinheiro *et al.* (2014) foram de 132,0 e 159,6 mm/h nos pluviômetros convencional e de compensação, respectivamente, apresentando uma diferença entre eles de 20,91%. Os valores obtidos pelo presente trabalho, por sua vez, foram 19,58% maiores no pluviômetro de compensação, se comparados ao pluviômetro convencional.

Apresenta-se na Figura 1 as alturas acumuladas de precipitação medidas nos pluviômetros manual e automáticos. A curva da altura acumulada do pluviômetro convencional evidencia as

submedições deste equipamento, que podem ser maiores conforme o aumento do período analisado, dada a característica acumulativa destes erros (BRAGA et al., 2013). A curva da altura acumulada do pluviômetro de compensação apresentou comportamento mais próximo ao comportamento do pluviômetro manual.

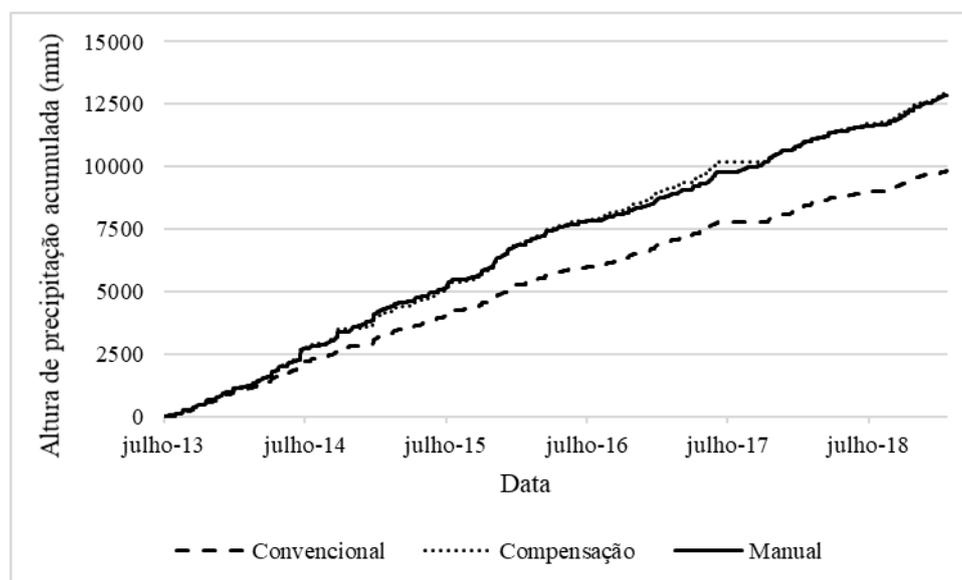


Figura 1- Alturas acumuladas de precipitação medidas nos pluviômetros manual e automáticos.

Na Figura 2, pode-se observar as relações entre as alturas diárias de precipitação do pluviômetro manual e os pluviômetros automáticos. As relações obtidas para o pluviômetro convencional e de compensação podem ser expressas por funções lineares e pelos coeficientes de determinação de Pearson (R^2), expressos na Equação 1 e na Equação 2, respectivamente:

$$H_{\text{conv}} = 0,7693 \cdot H_{\text{man}} + 0,8562 \quad (R^2 = 0,9642) \quad (1)$$

$$H_{\text{comp}} = 0,9994 \cdot H_{\text{man}} + 0,3920 \quad (R^2 = 0,9871) \quad (2)$$

onde H_{conv} é a altura de precipitação medida no pluviômetro convencional (mm), H_{comp} é a altura de precipitação medida no pluviômetro compensação (mm) e H_{man} é a altura de precipitação medida no pluviômetro manual (mm).

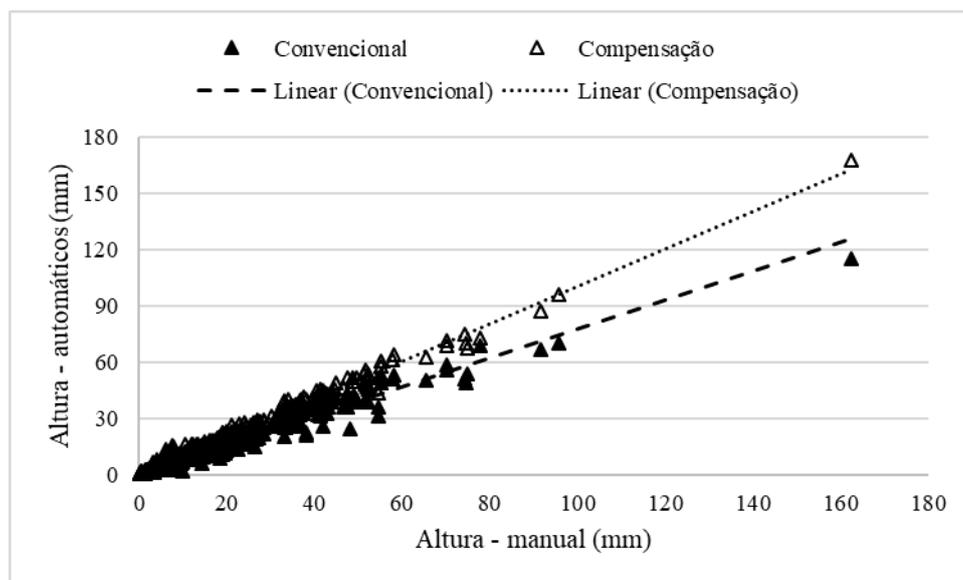


Figura 2- Relação entre as alturas diárias de precipitação do pluviômetro manual e os pluviômetros automáticos.

Os coeficientes de determinação R^2 obtidos foram elevados, evidenciando uma alta correlação entre as alturas de precipitação medidas nos pluviômetros automáticos. O coeficiente angular da equação demonstra a diferença produzida pela altura de precipitação em cada pluviômetro. Isto é, quanto mais próximo este valor estiver de 1, maior é a acurácia da altura de precipitação medida pelo equipamento.

Pinheiro *et al.* (2014) também demonstraram a relação entre as alturas diárias de precipitação para pluviômetro manual e pluviômetros automáticos. Os coeficientes angulares das funções lineares obtidas para os pluviômetros convencional e de compensação foram 0,8583 e 0,9880, enquanto os R^2 obtidos foram 0,9930 e 0,9940, respectivamente. Destaca-se que ambos R^2 tiveram seus valores reduzidos no presente estudo, provavelmente, devido a maior extensão do período analisado.

Na Figura 3, as diferenças de medição obtidas nos pluviômetros automáticos podem ser visualizadas através da curva de distribuição de frequência das alturas de precipitação diária. A série amostral é longa, o que permite uma análise mais precisa. Observa-se que o pluviômetro convencional apresentou maior frequência para alturas de precipitação menores, se comparado ao pluviômetro de compensação, corroborando o menor coeficiente angular na relação entre as alturas diárias e a subestimação da altura acumulada.

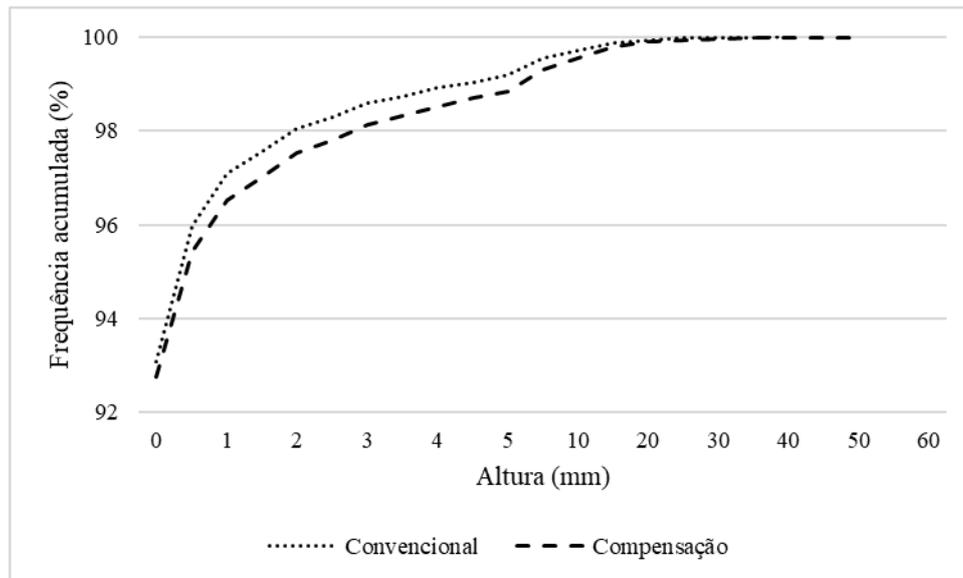


Figura 3- Frequências acumuladas das alturas de precipitação medidas nos pluviômetros automáticos.

Pinheiro *et al.* (2014) também realizaram esta análise. A configuração das curvas de frequências acumuladas do presente trabalho apresentou um padrão semelhante, corroborando esta tendência.

Em consonância com o que foi preconizado por Braga e Fernandes (2007), este trabalho buscou analisar as discrepâncias observadas em medidas de precipitação efetuadas por diferentes modelos de pluviômetros automáticos, identificando e entendendo-as, devido aos potenciais impactos delas em estudos hidrometeorológicos.

4- CONCLUSÕES

As medições das alturas de precipitação dos pluviômetros automáticos apresentaram diferenças, possivelmente, por conta do funcionamento mecânico deles. A comparação das séries permitiu a identificação do potencial de subestimação dos valores das alturas de precipitação medidos pelo pluviômetro convencional, confirmando o que foi observado nos estudos consultados.

Os resultados obtidos para o pluviômetro convencional, indicativo de performance dele, pode alterar a construção de curva de frequência acumulada, impactando negativamente projetos que demandem este parâmetro para cálculo.

Os valores de intensidades máximas de precipitação em 5 min e horária obtidas no presente estudo foram superiores àquelas obtidas por estudo de abrangência regional, destacando a importância de uma abordagem local de monitoramento pluviométrico para o planejamento e operação de atividades e projetos que demandem informações mais acuradas sobre este parâmetro.

Neste sentido, vale destacar que a diferenças observadas nas medições dos pluviômetros automáticos não inviabilizam a utilização do pluviômetro convencional. Entretanto, faz-se importante a contínua realização de estudos comparativos entre pluviômetros manuais e automáticos, de modo a fomentar a execução de correção das alturas de precipitações medidas, seja por meio da calibração dos equipamentos em laboratório ou pela calibração deles com pluviômetros manuais ou de compensação, conforme apresentado.

ADRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil (Código de Financiamento 001 e Processo 88881.143991/2017-01). Os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor, e ao CNPq (Processo 309980/2017-8) pela bolsa de produtividade de pesquisa do segundo autor.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2019. “*Sistema de informações hidrológicas*”. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. (2011). “*Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil*”. Revista Brasileira de Ciências do Solo 35 (6), p. 2127-2134.
- BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. V. S. (2007). “*Performance de sensores de precipitação do tipo 'tippingbucket' (báscula): um alerta para a ocorrência de erros*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 12 (1), pp. 197-204.
- BRAGA, S. M.; BRAGA, A. S.; FERNANDES, C. V. S.; MOREIRA, I. A.; FREITAS, C.; ALMEIDA, M. I. (2013). “*Avaliação da performance de pluviômetros automáticos não convencionais em campo*” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013, 1.
- GOŁASZEWSKI D., KLENIEWSKA M. (2012). “*Comparison of precipitation totals measured by the automatic telepluviometer and the Hellmann rain gauge at the Warsaw Ursynów station in 2000-2010*”. Annals Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation 44 (1), pp. 47–54.
- GRISON, F.; MOTA, A. A.; BATISTEL, L.; CAUVILLA, V. B. LODI, M. R. (2017). “*Desempenho de um pluviômetro digital em campo*” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Nov. 2017, 1.
- MONICO, J. F. M.; DAL PÓZ, A.P.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. (2009). “*Acúrcia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada*”. Boletim de Ciências Geodésicas 15 (3), pp. 469-483.

NASCIMENTO, D. A.; OLIVEIRA, M. F.; DAMASCENO, S. B.; SOUZA FILHO, E. A. PEREIRA, E. L.; FERREIRA, S. J. F.; SILVA, J. S. (2017). “Análise comparativa de dados pluviométricos com pluviômetro e pluviógrafo de báscula” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Nov. 2017, 1.

PETRACCA, M. 2011. “Evaluation on accuracy of precipitation data”. Disponível em: <http://hsaf.meteoam.it/documents/visiting-scientist/HSAF_VS11_01_Final_Report.pdf >. Acesso em: 28 abr. 2019.

PINHEIRO, A.; DÖRING, J.; KAUFMANN, V.; LEÃO, J. S.; NASCIMENTO, M. (2014). “Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de báscula”. Revista de Estudos Ambientais 16 (1), pp. 38-44.

SEVRUKA, B.; ONDRÁS, M.; CHVÍLAC, B. (2009). “The WMO precipitation measurement intercomparisons”. Atmospheric Research 92 (3), pp. 376-380.

THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H. J. (1999). *Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina*. EPAGRI Florianópolis - SC, 1010 p.