

ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS COM PLUVIÔMETRO E PLUVIÓGRAFO DE BÁSCULA

Dênis Agüero do Nascimento^{* 1}; *Mateus Ferreira de Oliveira*²; *Solange Batista Damasceno*¹;
*Elton Alves de Souza Filho*¹; *Eric Leandro Pereira*¹; *Sávio José Filgueiras Ferreira*³. *Joecila Santos da Silva*⁴

Resumo - A precipitação é uma das variáveis mais importantes da meteorologia, seu monitoramento sistemático é fundamental para a análise do ciclo hidrológico. Um dos instrumentos mais usados para registro da altura pluviométrica são os pluviógrafos de sistema de báscula, no inglês *tipping bucket - TB*. Estudos que analisaram a eficácia desse sistema advertem quanto à sua inconstância de precisão no registro da altura precipitada, principalmente em chuvas mais intensas, isso, devido a erros sistemáticos inerentes ao princípio do funcionamento mecânico da báscula. Este trabalho analisa a variao da frequência de movimentos da báscula, indicador de intensidade pluviométrica, com a variao das diferenças dos registros de um pluviógrafo tipo *TB* e um pluviômetro convencional ao longo do ano de 2015. Ambos instrumentos instalados em uma bacia hidrológica experimental na Amazônia Central, do Programa de Grande Escala da Atmosfera-Biosfera da Amazônia – LBA.

Palavras-Chave – Pluviógrafo de báscula; Pluviômetro; Amazônia Central.

A COMPARISON OF RAINFALL MEASUREMENTS FROM PLUVIOMETER AND TIPPING BUCKET RAIN GAUGE

Abstract – Precipitation is one of the most important variables of meteorology, its systematic monitoring is fundamental for the analysis of the hydrological cycle. One of the most widely used instruments to record rainfall is the tipping bucket - TB. Studies that have analyzed the efficacy of this system warn about its precision inconstancy in the precipitation height record, especially in more intense rains, due to systematic errors inherent to the principle of the mechanical operation of the scale. This work analyzes the variation of the frequency of movements of the scale, an indicator of rainfall intensity, with the variation of the records of a TB type pluviometer and a conventional rain gauge during the year 2015. Both instruments installed in an experimental hydrological basin in the Amazon Center, of the Amazonia Atmospheric-Biosphere Large Scale Program (LBA).

Keywords – Rain gauge tipping bucket; Pluviometer; Central Amazonia.

¹ * Acadmico do Mestrado em Gestão e Regulao de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) da Universidade do Estado do Amazonas - denis.nascimento@inpa.gov.br; bio.solange@yahoo.com.br; easf891@gmail.com; eric.leandro.eng@gmail.com

² Acadmico de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Amazonas - mfo.eng@uea.edu.br

³ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – savio@inpa.gov.br

⁴ Professora da Universidade do Estado do Amazonas - jsdsilva@uea.edu.br

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos e ambientais. É determinante na caracterização e potencial hídrico de uma região. Sua incidência influi diretamente nos ecossistemas locais. Garantir o registro minucioso dentro de um padrão de qualidade ao longo de anos é um dos principais desafios dos técnicos já que todos os instrumentos pluviométricos apresentam erros inerentes a seus sistemas funcionais, além da influência de variáveis meteorológicas: vento, temperatura, variação da intensidade pluviométrica, entre outros (WMO, 2010).

O instrumento mais comum usado para medição da precipitação é o pluviômetro, aparelho dotado de um funil de área conhecida, conectado a um recipiente, se possível isotérmico, onde a água é armazenada. A função do pluviômetro se resume na medida da altura precipitada (P), registro observado em uma frequência padrão por um operador (WMO, 2010).

Atualmente, em estações mais modernas, o pluviômetro é usado principalmente para referenciar dados registrados por radares ou mesmo por instrumentos automáticos instalados em solo, chamados pluviógrafos. Estes, em suas versões mais recentes, são aparelhos dotados de mecanismos que são ativados pela concentração da água proveniente da chuva, os movimentos das engrenagens desses sistemas são registrados em *dataloggers* através de pulsos elétricos. Os dados de pluviógrafos permitem estimar não só a altura do volume precipitado, mas também outras variáveis importantes para a compreensão do comportamento meteorológico, tais como: intensidade das chuvas; duração e frequência. Essas podem ser observadas posteriormente no pluviograma, não requerendo a atuação de operador diuturnamente.

São muitos os sistemas mecânicos usados em pluviógrafos em várias partes do mundo, porém, poucos são reconhecidos pela *World Meteorological Organization* – WMO⁵, um dos mais usados é o de sistema de balança, no inglês *tipping bucket - TB* (WMO, 2010). Seu mecanismo é simples, trata-se de um funil coletor da água pluvial que concentra sua vazão na caçamba de um dispositivo basculante, a balança inclina quando o volume de água na caçamba alcança determinado peso. O momento de cada movimento de inclinação da balança é registrado por um sensor em um *datalogger*. Cada registro deve ser multiplicado pela resolução do instrumento, trata-se da altura do volume da balança em relação a área de captação do funil em m², valor fornecido pelo fabricante.

La Barbera *et al.*, (2002) avaliaram os erros sistemáticos de alguns modelos de TBs, consideraram que esses erros podem estar relacionados não só a limitações do sistema, mas também a matéria utilizada nas engrenagens dos aparelhos testados e sugeriram equações para correções lineares.

Sentelhas *et al.* (2002) aferiram erros de TBs de resoluções diferentes, 0,1 mm e 0,2 mm, comparados com pluviômetros do tipo *Ville de Paris* e Paulistinha, usando dados de duas estações automáticas, uma em Piracicaba – SP e a outra em Londrina – PR. A inconsistência dos dados dos TBs indicaram tendência de erros de subestimação da realidade precipitada. Segundo os autores a intensidade foi a principal variável de erro.

⁵ Entidade Internacional com sede em Genebra, na Suíça. Agência entidades meteorológicas regionais de países signatários a Organização das Nações Unidas, monitorando o comportamento do clima terrestre.

Lanza *et al.* (2006) fizeram experimentos no laboratório de engenharia ambiental da universidade de Genova – Suécia, simulando chuvas de várias intensidades em pluviógrafos de sistemas mecânicos diferentes. Todos apresentaram erros sistemáticos e aleatórios, principalmente nas simulações de maiores intensidades pluviométricas. No entanto, segundo os autores, os resultados obtidos mostram que os erros associados à medição da intensidade de chuva obtida por *TBs* podem ser reduzidos a 1% com correções dos dados, o que não é possível com outros tipos de sistemas.

Braga *et al.* (2007) simularam precipitações em laboratório em pluviógrafos de diferentes marcas no intuito de aferir o comportamento dos instrumentos e seus resultados. Concluíram que assim como em experimentos de outros autores os resultados indicaram haver consideráveis fontes de incertezas nos registros volumétricos produzidos pelos *TBs*. Confirmaram tendência de submedição, em especial durante eventos intensos. Ainda mencionam que os resultados não condizem com as informações de margens de erros descritas nos manuais fornecidos pelos fabricantes. Advertem quanto aos erros dos pluviógrafos *TBs*.

Mansano *et al.* (2015) desenvolveram uma bancada para simulação pluviométrica em laboratório, também propõem procedimento matemático para análise e correção de dados obtidos através de precipitação simulada em um pluviógrafo modelo *Aerodynamic Rain Gauge* usando o software *Eijkelkamp Hog Viewer*. Concluíram que os erros em altas intensidades podem chegar a 20%, subestimando a precipitação real.

O *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. – WMO n°8, aponta os seguintes fatores como variáveis de erros para pluviógrafos *TBs*: basculadas com volumes maiores do que a resolução do fabricante, principalmente durante precipitações intensas, momento de maior vazão do funil sobre a bacia da báscula; perda por transbordamento ou evaporação da água pluvial acumulada no funil devido entupimento; em chuvas de baixa intensidade o funil não coleta volume suficiente para gerar movimento da báscula, nesse caso a água fica na bacia da báscula podendo ser evaporada ou somará com o volume de uma chuva posterior inferindo em imprecisão na série temporal; condensação interna na parede do funil, o escoamento cairia na bacia da báscula falsificando os dados; erros no desnivelamento do instrumento e na fixação do aparelho em suportes imprecisos podem evitar basculadas que não representam chuva.

A WMO (2010) adverte para a necessidade de correção dos dados pluviométricos, indiferente do sistema do equipamento usado para registro e medição. O documento menciona que a altura real da precipitação só pode ser estimada após correções com os seguintes fatores em ordem de importância: o erro eólico varia de 2% a 10%; condensação na parede interior do reservatório de armazenamento, no caso de pluviômetros, o que evitaria que toda água acondicionada fosse medida na proveta, erro de 2% a 15% no verão e de 1% a 8% no inverno; evaporação da água acondicionada no reservatório, no caso de pluviômetros, erro de 0% a 4%; respingos das gotas da chuva no funil coletor, erro de 1% a 2%. Todas as variáveis de erros por interferência meteorológicas, vento, temperatura, umidade, são relativas ao clima do local.

Este trabalho apresenta a comparação entre dados pluviométricos não corrigidos, registrados por um pluviógrafo *tipping bucket* e um pluviômetro convencional no ano de 2015, ambos instalados

em um posto pluviométrico de uma bacia experimental do programa LBA / INPA⁶ situada cerca de 80 km ao Norte da cidade de Manaus, dentro da Reserva do Cuieiras (APA ME Rio Negro Setor Sul).

MATERIAIS E MÉTODOS

A instalação identificada como Pluvi S2, na rede de postos pluviométricos da Coordenação de Pesquisas Hidrológicas – CPH, do programa LBA & INPA, nas coordenadas Latitude $-02^{\circ} 35' 19,1''$ e Longitude $-60^{\circ} 13' 17,6''$, está em uma clareira de aproximadamente 2,4 ha, cercada por floresta da Amazônia Central, conforme Figura 1.



Figura 1 – Localização do posto pluviométrico S2.

O equipamento utilizado foi um pluviógrafo Onset, modelo RG3-M, resolução 0,2 mm, instalado a 1,65 m do solo, com mecanismo bascular conectado em um *datalogger* Onset, modelo UA-003-64, configurado para registro de evento. No mesmo local também foi instalado um sistema de pluviômetro convencional, sendo um funil de 268,8 cm² de área coletora, conectado por uma mangueira de 1/2” a uma bombona de 5 litros acondicionada em um compartimento de alumínio forrado com película de isopor. As medidas volumétricas do conteúdo da bombona foram feitas com uma proveta e convertido de mililitros para milímetros com a equação 1:

$$hP(mm) = \frac{vol(mL)}{(\Phi / 2)^2 \times \pi} \quad (1)$$

⁶ O Programa LBA é gerenciado pelo MCTI e coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Sua missão é contribuir cientificamente no desenvolvimento dos modelos de previsão climática e ampliar o entendimento sobre o funcionamento dos ecossistemas da região amazônica, LBA (2017).

O volume do pluviômetro e os dados do *datalogger* eram coletados, preferencialmente, em períodos quinzenais. Algumas amostras foram perdidas devido a ocorrência do transbordamento da bombona.

Para a comparação dos dados obtidos no pluviômetro e no pluviógrafo, além da filtragem dos dados e observação de suas variações, foi utilizada a análise de regressão linear, por meio dos coeficientes: linear (a), angular (b) e de coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A precipitação total bruta⁷ registrada pelo Pluvi S2, em 2015, foi de 2.323,80 mm. As 25 amostras expostas na Tabela 1, tratam das porções consideradas válidas para análise da correlação entre os registros do *datalogger* do pluviógrafo e a altura do volume no pluviômetro. Tais informações, observadas em consonância com a Figura 2, evidenciam que as maiores diferenças nos registros ocorrem nos períodos de maior frequência de movimentos da balsa, fato recorrente da maior intensidade pluviométrica.

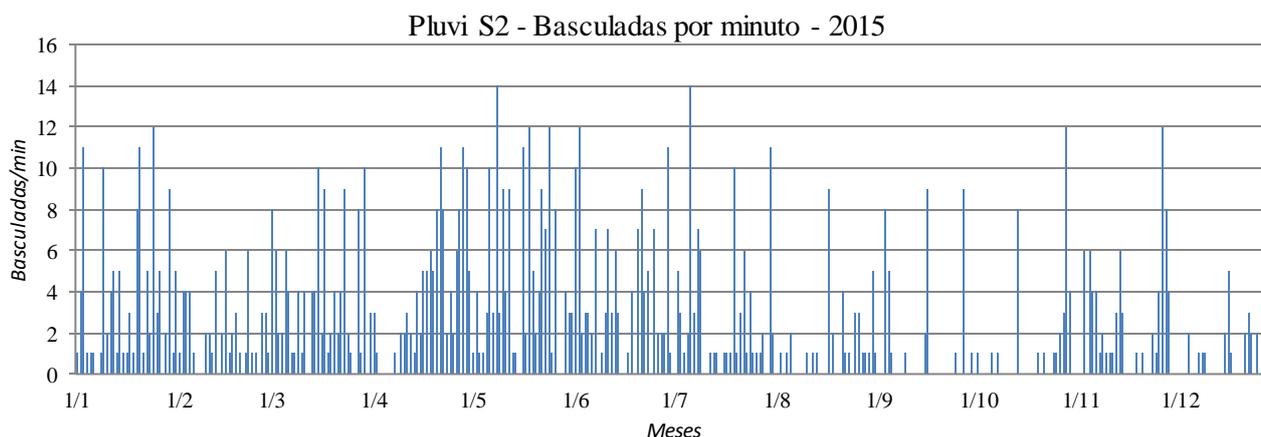


Figura 2 – Frequência da balsa em chuvas ao longo de 2015.

Em relação ao resultado negativo, amostra 20 na Tabela 1, onde o volume do pluviômetro foi menor do que os registros do *TB*, ocorrência do mês de setembro, período de menor pluviosidade na região Central da Amazônia, resultando em menor frequência nos movimentos da balsa. Evidencia-se nesse caso o resultado da compensação de intensidade aplicada na resolução do pluviógrafo, método usado pelo fabricante do instrumento para diminuir os erros em regiões de chuvas mais intensas (MANSANO, 2015).

Embora os dados não tenham sido submetidos a nenhum tipo de correção, a dissimetria de 15,79% entre acumulados desperta atenção para a tendência de subestimação dos registros do pluviógrafo *tipping bucket*. A média das diferenças entre os resultados dos dois instrumentos é 11,14 mm, o desvio padrão é 9,77 mm, indicando que os pontos dos dados estão agrupados perto da média, uma característica de comportamento sistemático do instrumento *TB*, que pode ser melhor observado na Figura 3.

⁷ Dados sem correção.

Tabela 1 – Registros dos dados pluviométricos

Quant.	Período (data)		Registros (mm)		Diferença		Intensidade máx. do período
	De	Até	Pluviógrafo	Pluviômetro	mm	%	Básc/minuto
1	06/01/15	19/01/15	121,8	137,72	15,92	11,56	10
2	28/01/15	12/02/15	81,6	89,97	8,37	9,30	9
3	12/02/15	24/02/15	104,4	117,58	13,18	11,21	6
4	03/03/15	17/03/15	142,4	188,39	45,99	24,41	10
5	17/03/15	25/03/15	107,6	108,55	0,95	0,88	9
6	25/03/15	31/03/15	54,2	68,34	14,14	20,69	10
7	31/03/15	09/04/15	9,4	9,67	0,27	2,82	3
8	06/05/15	12/05/15	86,6	105,28	18,68	17,74	14
9	12/05/15	22/05/15	90,8	101,93	11,13	10,92	12
10	22/05/15	10/06/15	174,0	189,73	15,73	8,29	12
11	10/06/15	17/06/15	34,6	39,73	5,13	12,92	7
12	17/06/15	22/06/15	67,6	79,61	12,01	15,09	9
13	22/06/15	25/06/15	39,0	47,62	8,62	18,10	7
14	25/06/15	03/07/15	23,6	26,04	2,44	9,38	11
15	03/07/15	07/07/15	30,6	36,46	5,86	16,07	14
16	07/07/15	14/07/15	24,8	29,76	4,96	16,67	7
17	14/07/15	05/08/15	84,8	96,73	11,93	12,33	11
18	05/08/15	25/08/15	38,6	44,12	5,52	12,51	9
19	25/08/15	09/09/15	56,0	69,57	13,57	19,50	8
20	09/09/15	24/09/15	15,6	13,5	-2,10	-15,56	9
22	21/10/15	04/11/15	50,0	58,41	8,41	14,39	12
23	04/11/15	18/11/15	123,4	140,07	16,67	11,90	6
24	18/11/15	09/12/15	88,8	115,33	26,53	23,00	12
25	15/12/15	29/12/15	42,4	45,76	3,36	7,34	10
Somatório			1.692,6	1.959,86	267,26	15,79	

O coeficiente de determinação indica ajuste de 97,7% entre as amostras de ambos os medidores de chuva, representa um resultado atenuado pela distribuição das diferenças menores. As maiores diferenças nos registros coincidem com as maiores frequências de movimentos da báscula, indicação de maior intensidade pluviométrica, fato ocorrente em períodos de maior incidência de chuva, tanto em intensidade quanto em volume, conforme pode ser observado na Tabela 1 e na Figura 3.

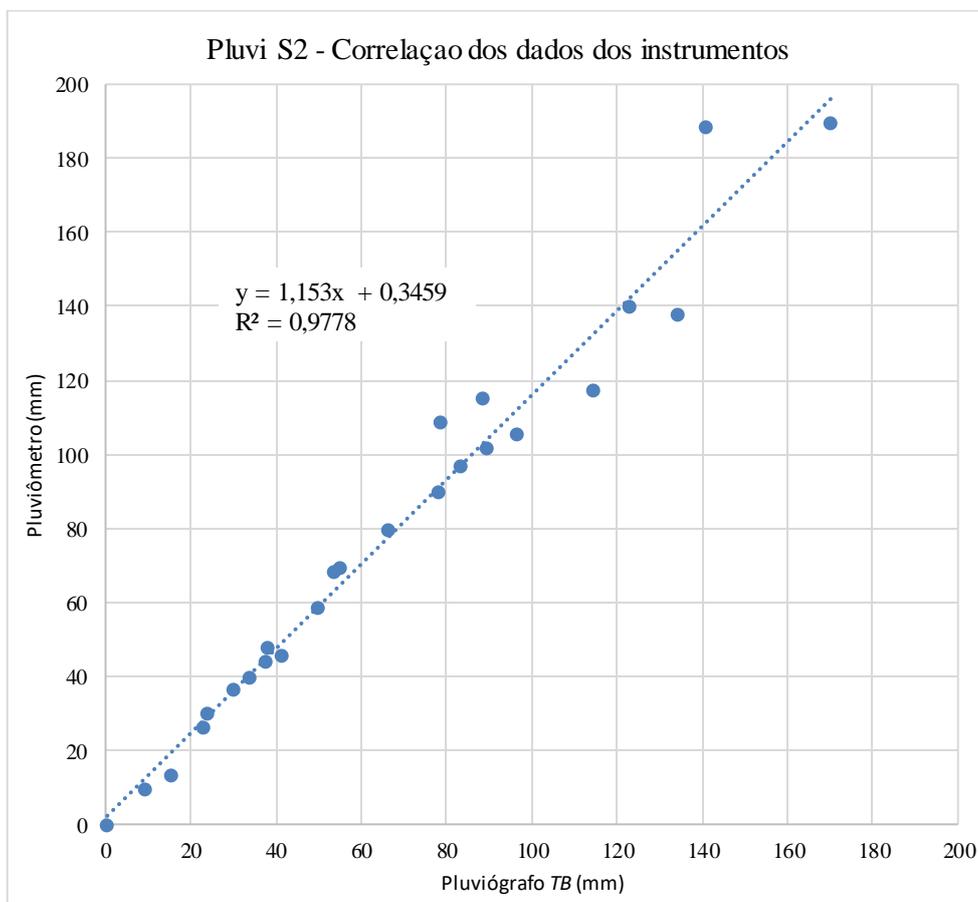


Figura 3 – Correlação entre os dados pluviométricos.

CONCLUSÕES

O uso do pluviômetro como instrumento de comparação se mostrou viável neste caso para se observar as diferenças nos registros do pluviógrafo de sistema de báscula, tais diferenças não inviabilizam as medidas registradas, mas indicam a necessidade de corrigi-las. A adoção de mais instrumentos para comparação pode ser útil na compreensão da variabilidade das diferenças nos registros dos TBs.

A diferença nos dados dos dois instrumentos, com ênfase para tendência de minoridade dos valores do TB, confirma as informações da bibliografia consultada, de que os TBs tendem a apresentar dados subestimados das precipitações mais intensas. As medidas observadas precisam ser acessadas no intuito de promover sua correção, fato que pode ser feito com o conhecimento em laboratório dos erros pontuais desse equipamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPPEAM, pela concessão de bolsa de mestrado à terceira autora; à Coordenação de Pesquisas Hidrológicas - CPH, do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, pelos dados disponibilizados para o estudo.

REFERÊNCIAS

- PINHEIRO, A. DORING.; J. KAUFMANN V.; LEAO, J. S.; NASCIMENTO, M. Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de balsa. *Revista de Estudos Ambientais* (Online), v. 16, p. 38-44, n. 2014.
- BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. V. S. (2007). Performance de sensores de precipitação do tipo 'tipping bucket' (balsa) - um alerta para a ocorrência de erros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12, pp. 197-204.
- BRAGA, S.M. ; FERNANDES, C.V.S. ; BRAGA, A.S. ; SANTOS, I. Avaliação da performance de pluviômetros de balsa: Sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição. In *Anais do II SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE*, 2008, Rio de Janeiro. ANAIS DO II SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE. Porto Alegre : ABRH, 2008.
- EXPERIMENTO DE GRANDE ESCALA DA BIOSFERA-ATMOSFERA DA AMAZÔNIA. Plano Científico - LBA2. Disponível em http://lba2.inpa.gov.br/media/arquivos_lba/pdfs/LBA_2_Plano_Cientifico_Portugues_Ago_2007.pdf f. Acesso em 23 mar. 2017.
- LA BARBERA, P.; LANZA, L. G.; STAGI, L. (2002). Tipping Bucket Mechanical Errors and their Influence on Rainfall Statistics and Extremes. *Water Science and Technology*, 45, n. 2, pp. 1-10.
- LANZA, L.G.; STAGI, L. (2006). On the quality of tipping-bucket rain intensity measurements. *Proc. WMO Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*, Geneva, Switzerland, 4-6 December 2006 (published on CD-ROM as WMO REP. No. 94 — WMO/TD-No. 1354)
- MANSANO, M. V.; CRIVELARI, R. M.; REDA, A. L. de L.; DURO, M. A. S. (2015). Calibração de Pluviômetros de Balsa: Metodologia para Análise e Correção de Dados de Campo. In *Anais do 15th Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress*, Porto, Jul. 2015, pp. 142-146.
- REBOITA M.S., GAN M. A., DA ROCHA R. P., AMBRIZZI T. (2010). Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, pp. 185-204.
- SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. (2002). Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de balsa utilizados em estações meteorológicas automáticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 2, pp. 301-304.
- WMO. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Geneva, World Meteorological Organization, 2010.