

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE PLUVIÔMETROS DE BÂSCULA : TÉCNICAS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS PLUVIOMÉTRICOS EM LABORATÓRIO

Sérgio Michelotto Braga¹, Robson Antônio Delarizza²; Iraní dos Santos³ & Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes⁴

Resumo --- Em virtude da necessidade de calibração dos radares meteorológicos, vários estudos recentes procuram melhor avaliar a performance dos pluviômetros de bscula, pois este tipo de equipamento tem sido largamente utilizado em estações automáticas de coleta de dados climatológicos e hidro-ambientais. A melhor compreensão dos erros inerentes ao processo de medição dos pluviômetros de bscula, passa pelo desenvolvimento de uma plataforma capaz de simular precipitação de maneira confiável e facilmente reproduzível. Este artigo apresenta uma reflexão sobre o funcionamento de pluviômetros baseada em uma plataforma em escala de laboratório que utiliza de bombas peristálticas de alta precisão para a simulação de eventos pluviométricos. Também apresenta resultados de testes realizados em quatro modelos diferentes de pluviômetros de bscula, demonstrando haver motivos para preocupação quanto  utilização deste tipo de aparelho.

Abstract --- Tipping Buckets are the most common rain gauge device used in automatic weather stations around the world. Recent studies are focused on the performance of such devices, manly because there is a need to calibrate meteorological radars. This paper presents the development of a testing board for Tipping Buckets, based on the use of high precision peristaltic pumps. It also presents test results for four different Tipping Buckets, showing that there are reasons of concern with regard to the use of this sort of rain gauge.

Palavras chave: Pluviômetros, calibração, Tipping-Buckets

¹ Pesquisador Associado – Departamento de Hidrulica e Saneamento – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 Fone: (+55)(41) 33613142 Fax: (+55)(41) 33613045 e-mail: sergio.dhs@ufpr.br

² Bolsista de Iniciao Científica CNPq da Universidade Federal do Paraná – Departamento de Geografia – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 e-mail: rdelarizza@gmail.com

³ Professor Assistente da Universidade Federal do Paraná – Departamento de Geografia – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 Fone: (+55)(41) 33613303, Fax: (55)(41)3361 3244 e-mail: irani@ufpr.br

⁴ Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curitiba – PR CEP: 81.531-990 Fone: (+55)(41) 33613142 Fax: (+55)(41) 33613143 e-mail: cris.dhs@ufpr.br

1 Introdução

Por possuírem mecanismo simples, de fácil compreensão e com custos de fabricação bastante competitivos, os pluviômetros de balança, também conhecidos pela designação em inglês “tipping buckets”, tem sido utilizados, já há algum tempo, como equipamento padrão para uso em estações de monitoramento automático tanto para parâmetros climatológicos quanto hidro-ambientais.

Os modelos disponíveis no mercado possuem um dispositivo basculante duplo cujo volume está diretamente associado ao diâmetro do copo de captação do pluviômetro. Cada basculada equivale a 0,1mm, 0,2 mm ou 0,254 mm de precipitação, dependendo do modelo.

Para que se possa testar os pluviômetros, é necessário um processo de gotejamento em que a velocidade de gotejamento e o volume gotejado possam ser ajustados com precisão. O artigo ora apresentado está focado no desenvolvimento de uma plataforma capaz de testar a performance dos pluviômetros de balança em laboratório.

Também são apresentados os resultados de testes realizados com quatro diferentes pluviômetros de balança, cujo resultado pode servir de alerta aos usuários de dados produzidos por estações automáticas climatológicas e hidro-ambientais.

2 O Estado da Arte

Recentemente, em virtude principalmente da necessidade de calibração de radares meteorológicos, este tipo de equipamento tem sido alvo de estudos internacionais que buscam melhor avaliação de sua performance. Por exemplo, Fankhauser (1998), estudou a performance destes equipamentos em ambiente urbano simulando as características construtivas de diversos modelos; Sevruk (2002), publicou os resultados de uma pesquisa realizada em mais de 100 países, sobre os equipamentos utilizados em medição da precipitação, mostrando haver uma grande variedade de equipamentos sendo utilizados mesmo em um mesmo país; Srikanthan et al. (2002), identificaram erros de resposta dos TBs na Austrália; Gordon (2003), comparou a performance de alguns modelos para auxiliar a escolha de um novo equipamento padrão para o programa americano de deposição atmosférica.

Também podem ser destacados os resultados de La Barbera et al. (2002), que procuraram avaliar erros mecânicos associados ao uso de TBs; Habib et al. (2001),

procuraram quantificar erros na avaliação de variações pluviométricas de pequena escala, demonstrando que a magnitude dos erros aumenta significativamente quando se procura melhorar a resolução de 15 minutos para 1 minuto, enquanto Nystuen (1999), demonstrou haver uma nítida tendência à sub-medição quando da ocorrência de chuvas mais intensas.

Da mesma forma, no Brasil existem grandes quantidades e variedades de modelos de pluviômetros de balsa atualmente em operação. Tal realidade demanda a realização de testes e estudos capazes de avaliar a performance desses equipamentos.

Este artigo, que apresenta tanto os resultados de testes realizados com quatro modelos diferentes de pluviômetros de balsa quanto uma nova metodologia para a simulação repetitiva de chuvas de qualquer intensidade, segue a linha de publicações anteriores (Braga, 2005) e (Braga et al., 2007) e visa contribuir para um melhor entendimento das dificuldades associadas ao uso desse tipo de pluviômetro.

3 Nova Plataforma para Testes de Pluviômetros

Parte das dificuldades enfrentadas ao se testar pluviômetros de balsa em laboratório está associada à estabilidade e à reproductibilidade dos ensaios. A chuva precisa ser simulada através de um processo de gotejamento, que, normalmente, é realizado por gravidade.

Tal esquema apresenta dificuldades de controle causadas por entupimento gradativo dos gotejadores ou, ainda, pela variação no nível dos reservatórios de onde provém a água que será gotejada. Ambos fatores podem implicar na variação do gotejamento “*ao longo de um mesmo teste*”, podendo implicar em conclusões errôneas quanto à performance do equipamento em teste.

Além disso, a regulação de gotejadores por meio mecânico é bastante imprecisa, dificultando a repetibilidade de testes para uma mesma faixa de precipitação. Neste estudo, tais dificuldades foram superadas através da utilização de bombas peristálticas de alta precisão da marca Braun, Modelo Nutrimat II, que tem como principal aplicação a utilização em unidades de hospitalares de terapia intensiva para administração de medicamentos.

Devido à perda de confiabilidade para a função para a qual foram projetadas, equipamentos deste tipo são sucateados periodicamente, em especial quando o custo de manutenção e calibração torna inviável sua utilização em procedimentos hospitalares. Por terem sido descartadas para o seu uso funcional nos hospitais administrados pela UFPR, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental recebeu várias bombas da marca Braun, modelo Nutrimat II (Figura 1), com as seguintes características:

- Vazão ajustável: de 1 a 999 ml/h
- Volume despejado ajustável: de 1 a 9999 ml
- Tempo de infusão ajustável: de 1 minuto até 240 h
- Autonomia da Bateria Interna: 6 horas
- Tração por Motor de passo
- Dispositivo de alarme caso o gotejamento ocorra em velocidade inferior à programada
- 110-220V

Figura 1 – Bomba Peristáltica Nutrimat II



A utilização destas bombas possibilita simular e reproduzir precipitações atmosféricas com grau elevado de precisão. O gotejamento pode ser regulado com precisão de 1mL/h, o que torna viável a reprodução de ensaios com qualquer precipitação que se deseje.

Entretanto, como a vazão teórica máxima da bomba é de 999 mL/h, existe uma limitação nem relação à precipitação a ser simulada. No caso de pluviômetros com diâmetro de coleta em torno de 6 polegadas (15 cm), a vazão máxima da bomba representa uma precipitação de cerca de 50 mm/h. Em pluviômetros com coleta na faixa de 8 polegadas (20

cm), a precipitação cai para cerca de 30 mm/h, o que é insuficiente para a realização dos testes desejados.

Decidiu-se, então, pela utilização de 5 bombas as quais, operando em paralelo, contribuem individualmente com até 999 mL/h. Desta forma é possível ampliar a vazão máxima do conjunto (Figura 2), o que permite simular quaisquer precipitações até 250 mm/h em pluviômetros menores e 150 mm/h em pluviômetros maiores.

Figura 2 – Conjunto de 5 Bombas Nutrimat II – Montagem Vertical



A tomada de água de cada uma das bombas foi conectada a um reservatório comum, sendo que as saídas foram instaladas sobre o pluviômetro que se quer estudar. Uma calha e um frasco de coleta foram instalados sob o pluviômetro, de forma a permitir a medição do volume gotejado.

Os pluviômetros, por sua vez, foram colocados sobre uma plataforma montada com lâminas de vidro e nivelados com auxílio de um nível comum. O esquema completo pode ser melhor visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema dos Testes para Pluviômetros de Bâscula



Para a coleta dos pulsos produzidos pelos pluviômetros foram utilizados “dataloggers” da marca Global Water, modelos GL400 1-1 e GL400 7-1, ajustados para totalizar pulsos em intervalos de 2 minutos, com tempo de aquecimento dos sensores ajustado para 0 (zero) segundo.

Foram testados quatro pluviômetros com características diferentes, descritos a seguir:

- i. Modelo A – equipamento montado em alumínio, com abertura de 8 polegadas e com basculante plástico suportado por eixo metálico não rolamentado. O aparelho foi testado no estado em que se encontrava após ter sido removido de uma estação hidro-ambiental, na qual permaneceu durante um

- período de 12 meses. O equipamento não aparentava grau de comprometimento ou sujeira depositada tanto no copo de coleta quanto em seu mecanismo interno;
- ii. Modelo B – equipamento inteiramente montado em plástico injetado, com abertura de coleta de 6 polegadas. Basculante igualmente plástico, suportado por eixo metálico não rolamentado. O aparelho foi testado no estado em que se encontrava após ter sido removido de uma estação hidro-ambiental, na qual permaneceu durante um período de 14 meses. O equipamento não aparentava grau de comprometimento, apesar de haver sinais de sujeira acumulada (poeira) tanto na seção externa (copo de coleta) quanto em seu mecanismo (interior da balsa);
 - iii. Modelo C – equipamento montado em alumínio, com abertura de 8 polegadas e basculante plástico suportado por eixo metálico não rolamentado. O aparelho é novo, não tendo sido utilizado anteriormente;
 - iv. Modelo D – equipamento montado inteiramente em aço inox, com abertura de 8 polegadas e basculante também em aço inox, suportado por eixo metálico rolamentado. O equipamento é novo, e foi retirado da caixa do fabricante para a realização dos testes.

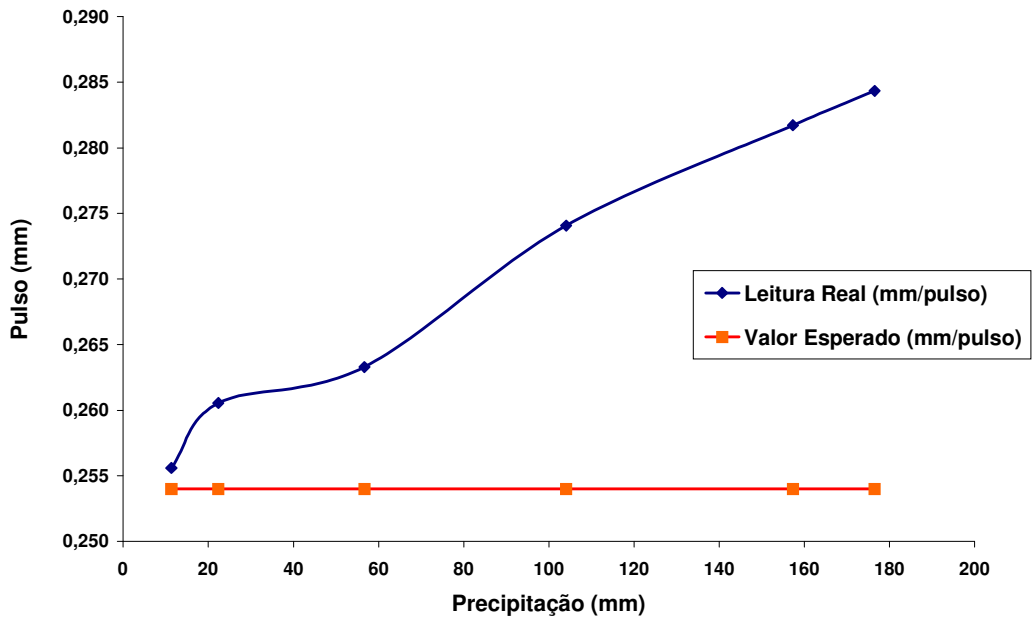
Em termos de custo, os equipamentos modelos A, B e C pertencem à mesma classe, com preços de até U\$ 400,00 (R\$ 800,00). O equipamento modelo D pertence a uma classe diferenciada, cujo preço pode atingir até U\$ 1.000,00 (R\$ 2.000,00). Quanto à frequência de utilização, os pluviômetros B e D são bastante utilizados no Brasil.

Todos os testes foram realizados com os aparelhos no estado em que encontravam. Não foi realizada qualquer tentativa de calibração, em especial, porque os equipamentos ou eram novos ou estavam em bom estado de conservação após utilização moderada. Por esse motivo, o principal enfoque dos ensaios foi o de detectar variação de medida em diferentes faixas de precipitação, em específico, a tendência para a sub-medição em momentos de precipitação intensa.

4 Resultados

O pluviômetro A vem configurado de fábrica para produzir pulsos a cada 1/100 polegada, ou seja, aproximadamente 0,254 mm de precipitação por pulso produzido. A Figura 4 apresenta o resultado dos experimentos efetuados com este pluviômetro.

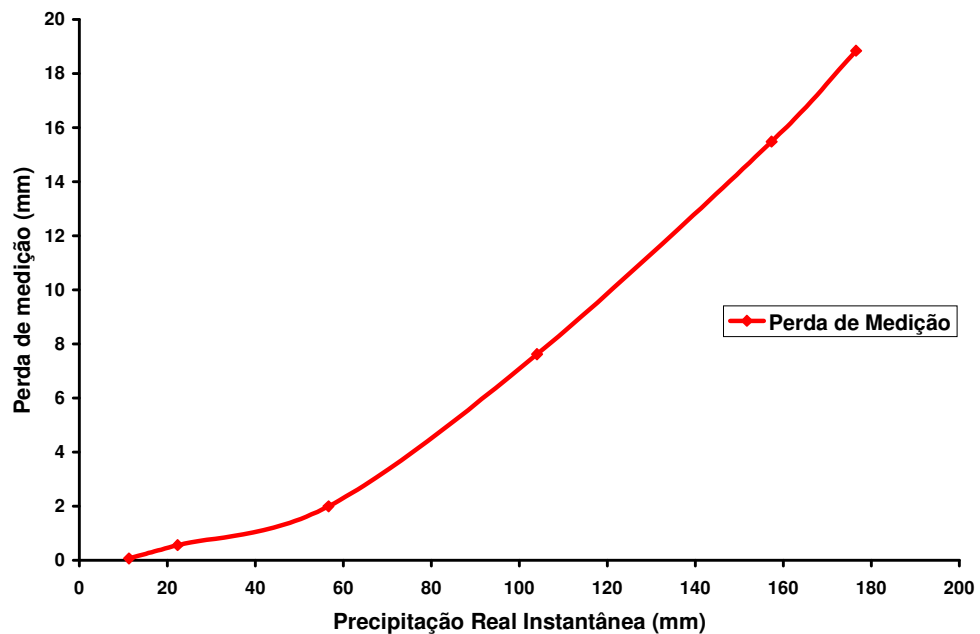
Figura 4 – Resultados dos Testes Efetuados com o Pluviômetro A



Pode-se observar, a tendência para a sub-medição à medida em que a precipitação aumenta.

A Figura 5 apresenta a quantidade de precipitação que seria perdida instantaneamente no processo de medição para o caso do Pluviômetro A.

Figura 5 – Perdas de Medição para o Pluviômetro A



É importante salientar que este tipo de erro de medição pode apresentar conseqüências mais graves do que aparenta. Por exemplo, para o caso de chuvas na faixa de 100 mm/h a perda de medição é da ordem de 8mm, ou 8%. Entretanto, esta perda ocorre para cada momento em que a precipitação atingir 100 mm/h, o que pode ocorrer instantaneamente mesmo em casos em que a precipitação média para o intervalo de aquisição de dados seja muito menor.

Uma maneira de demonstrar o efeito de magnificação do erro é simular o uso do Pluviômetro A para o caso de uma chuva passageira, com intensidade variada. Um exemplo deste tipo de simulação é mostrado na Tabela 1, na qual uma precipitação total de 7,5 mm em 15 minutos ocorre de maneira irregular.

Tabela 1 – Simulação para Precipitação de 7,5mm em 15 minutos

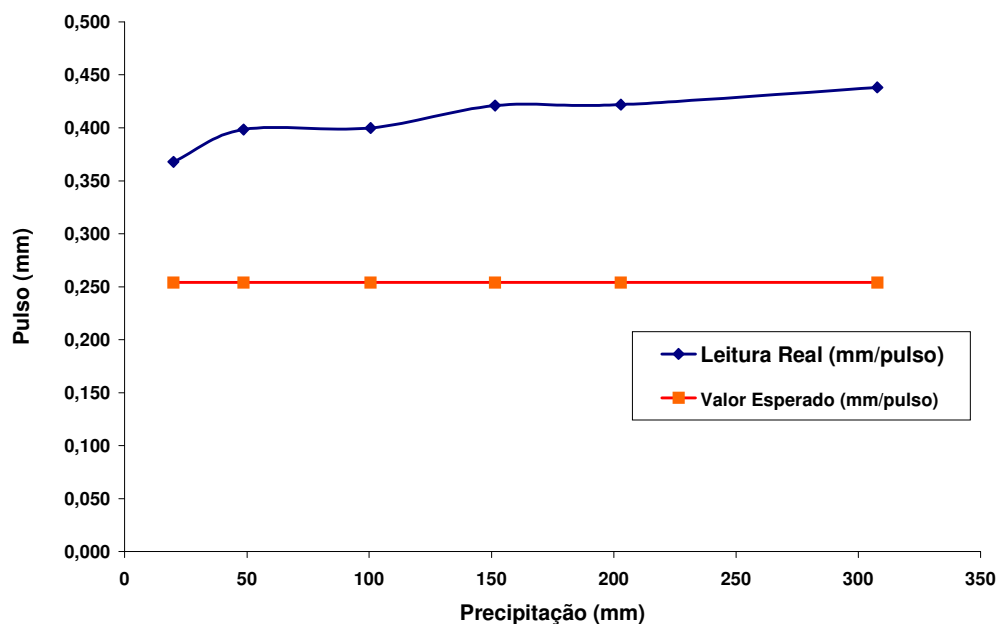
Tempo (min)	Precipitação (mm)	Precipitação Instantânea (mm/h)	Basculada mm/pulso	Pulsos Ocorridos
1	0	0	0,255	0
2	0	0	0,255	0
3	0,1	6	0,256	0
4	0,8	48	0,263	3
5	3,1	186	0,287	11
6	2,2	132	0,277	8
7	0,8	48	0,263	3
8	0,2	12	0,257	1
9	0,1	6	0,256	0
10	0,1	6	0,256	0
11	0,05	3	0,256	0
12	0,05	3	0,256	1
13	0	0	0,255	0
14	0	0	0,255	0
15	0	0	0,255	0
<hr/>				
Total Precipitado		= 7,5 mm		
Precipitação Média		= 30mm/h		
Pulsos Registrados		= 27		
Chuva Registrada		= 6,858 mm		
Perda de Registro (%)		= 8,56%		

Como pode ser observado a partir dos dados apresentados na Tabela 1, é possível atingir margens significativas de erro de medição, mesmo em casos de precipitações médias relativamente baixas, desde que ocorram momentos de chuvas mais intensas. Entretanto os erros observados para o Pluviômetro A são pequenos quando comparados aos do Pluviômetro B.

Dotado de um diâmetro de 6 polegadas, o Pluviômetro B é bastante utilizado no Brasil e apresentava-se em bom estado de conservação após 14 meses de uso em condições normais de operação.

Para avaliar o grau de confiabilidade dos dados produzidos durante sua utilização o equipamento foi testado nas condições em que se encontrava. A Figura 6 apresenta o resultado dos testes efetuados neste equipamento.

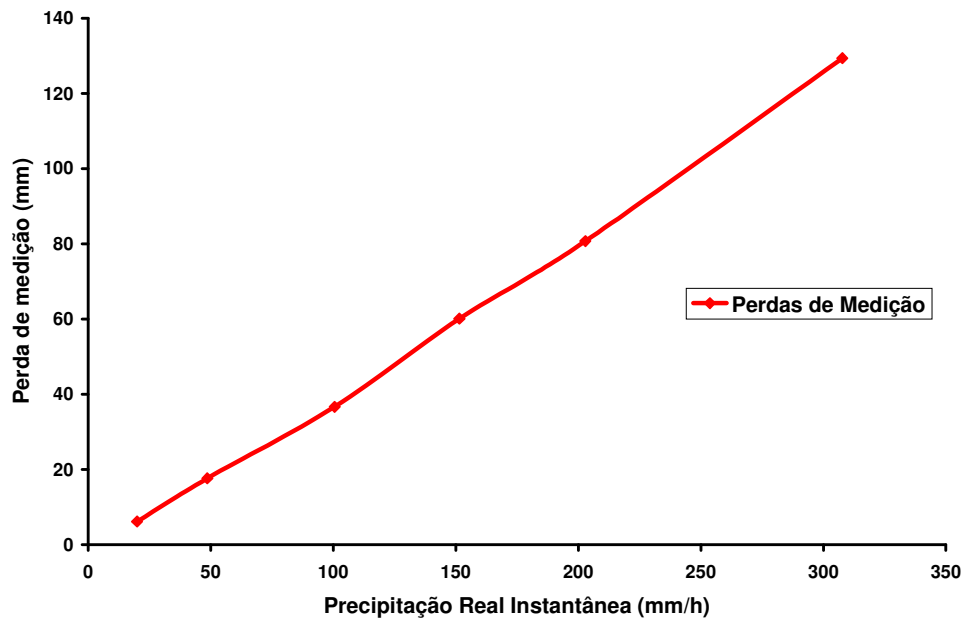
Figura 6 – Resultado dos Testes Realizados com o Pluviômetro B



Neste caso, as diferenças observadas foram bastante significativas. O equipamento, que deveria registrar 1/100 polegada (0,254mm) por pulso, inicia seu trabalho produzindo s com mais de 0,350mm, o que implica em uma sub-medição de grandes proporções. Por exemplo, precipitações na faixa de 100 mm/h poderiam ser registradas como sendo na faixa de 60 mm/h, o que representa uma sub-medição da ordem de 40%.

Observa-se também que a magnitude do erro aumenta com a intensidade da precipitação, confirmando, mais uma vez, a tendência à sub-medição existente no próprio processo de medida dos pluviômetros de báscula. Na Figura 7, pode-se observar o grau de comprometimento das medidas geradas pelo Pluviômetro B.

Figura 7 – Perdas de Medição Instantânea para o Pluviômetro B



O pluviômetro C é um equipamento diferente dos anteriores por possuir uma balsa cujo volume deveria refletir um pulso de 0,1 mm. Mesmo novo, a performance deixou bastante a desejar, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Resultado dos Testes Realizados com o Pluviômetro C

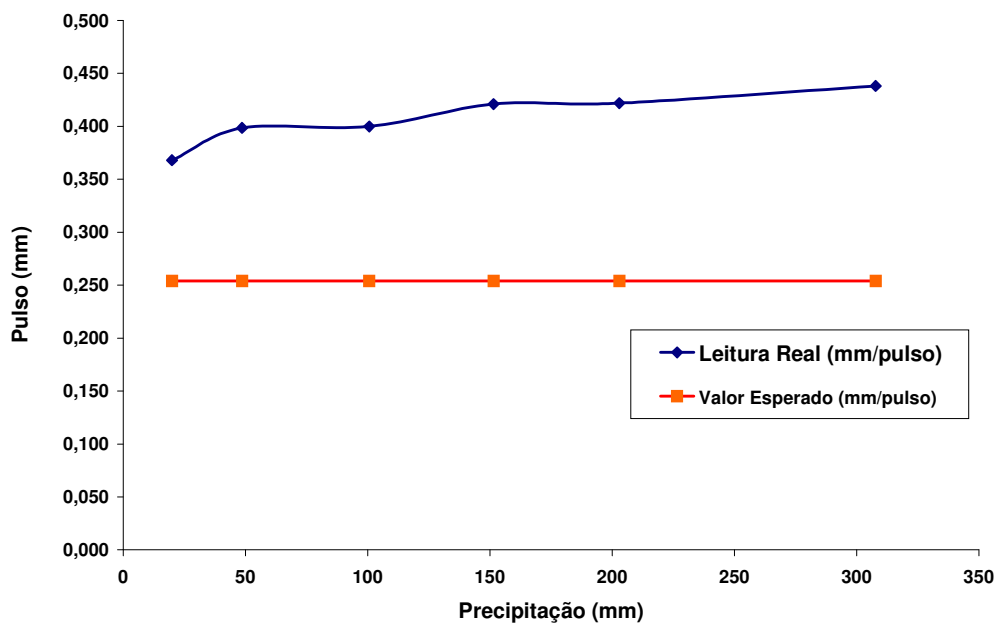
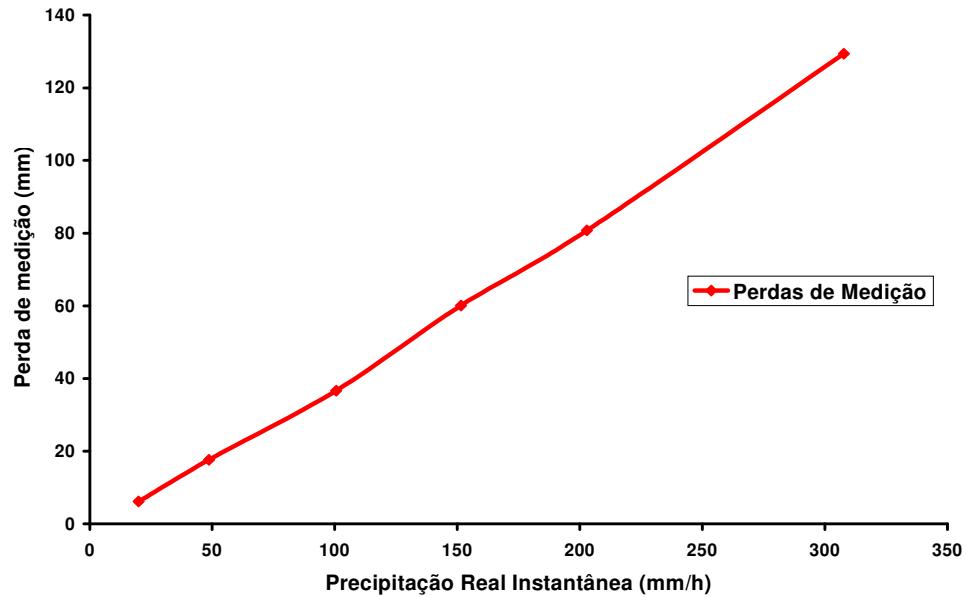


Figura 9 – Perdas de Medição para o Pluviômetro C



Como pode ser observado, precipitações na faixa de 100 mm são sub-medidas em torno de 16mm, o que compromete a qualidade da informação que se desejava produzir.

Por último, foram realizados testes em um pluviômetro considerado como sendo um dos melhores aparelhos disponíveis no mercado, o Pluviômetro D. O aparelho foi retirado da caixa, e estava calibrado pelo fabricante para produzir pulsos a cada 0,2 mm de precipitação. Neste caso, a escala das variações foi menor, o que pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Resultado dos Testes Realizados com o Pluviômetro D

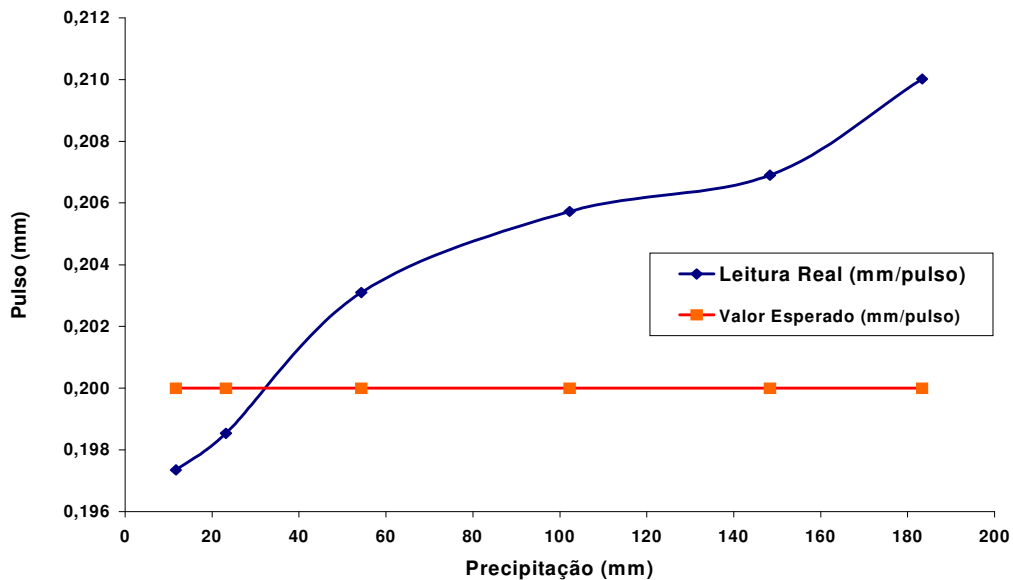
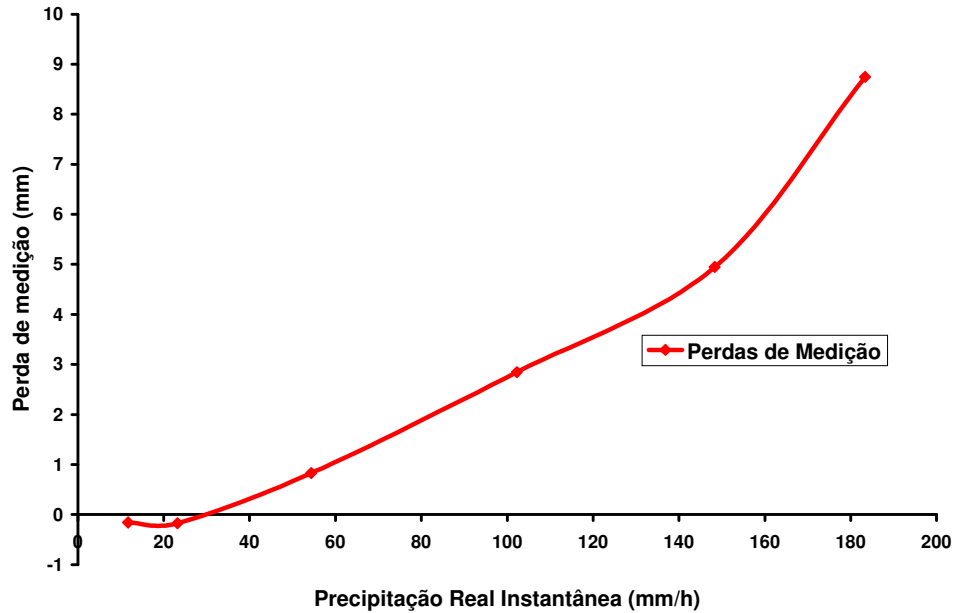


Figura 11 – Perdas de Medição para o Pluviômetro D



Para este caso, também foi observada a tendência para a sub- medição na medida em que a intensidade da precipitação aumenta.

Desta forma, continua havendo diferenças que podem ser mais significativas quando se considera a não utilização anterior do Pluviômetro D, portanto, não existe ainda informação sobre o seu desempenho após alguns meses de exposição às intempéries.

A título de comparação, foi aplicada a mesma precipitação simulada utilizada para verificar o desempenho do equipamento A. O resultado é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Simulação para Precipitação de 7,5mm em 15 minutos

Tempo (min)	Precipitação (mm)	Precipitação Instantânea (mm/h)	Basculada mm/pulso	Pulsos Ocorridos
1	0	0	0,198	0
2	0	0	0,198	0
3	0,1	6	0,198	0
4	0,8	48	0,201	4
5	3,1	186	0,210	15
6	2,2	132	0,207	10
7	0,8	48	0,201	4
8	0,2	12	0,198	1
9	0,1	6	0,198	1
10	0,1	6	0,198	0
11	0,05	3	0,198	1
12	0	0	0,198	0
13	0	0	0,198	0
14	0	0	0,198	0
15	0	0	0,198	0
Total Precipitado		= 7,45 mm		
Precipitação Média		= 30mm/h		
Pulsos Registrados		= 27		
Chuva Registrada		= 7,2 mm		
Perda de Registro (%)		= 3,35%		

Como pode ser observado, apesar da melhora de desempenho, ainda podem ocorrer erros de medida na ordem de 3,35% para um evento de precipitação na faixa de 7,5 mm, o que seria razoável se, no Brasil, eventos com intensidade muito superior a esta não fossem registrados com bastante frequência.

Um quadro comparativo, entre os resultados dos testes com os quatro pluviômetros de balança ensaiados é apresentado na Tabela 3. Estes dados oferecem uma oportunidade de avaliar as dimensões dos erros que podem passar despercebidos aos operadores e usuários deste tipo de equipamento.

Tabela 3 – Quadro Comparativo dos Pluviômetros Ensaçados

	PRECIPITAÇÃO (mm)					
	10	20	50	100	150	180
PLUVIOMETRO	erro %	erro %	erro %	erro %	erro %	erro %
Modelo A	-0,6	-2,6	-3,7	-7,9	-10,9	-11,9
Modelo B	-42,4	-44,8	-56,9	-57,4	-66,3	-68,8
Modelo C	-10,8	-4,8	-9,7	-18,9	-23,9	-39,3
Modelo D	1,5	0,4	-1,8	-2,9	-3,5	-5,0

O modelo D, mais caro, sem uso e construído com materiais mais nobres apresenta o melhor desempenho. O modelo A, apresenta performance razoável, principalmente considerando que foi utilizado em campo por 12 meses. O modelo C, sem uso, apresenta performance inferior ao modelo A, o que indica falta de qualidade no seu processo de fabricação. O modelo B, utilizado em campo por 14 meses, apresenta o pior desempenho, o que representa motivos de preocupação, pois trata-se de um equipamento muito utilizado no Brasil.

5 Conclusão

O desenvolvimento da plataforma de testes dotada de um conjunto de bombas peristálticas de alta precisão permitiu a realização de ensaios mais precisos e com maior reprodutibilidade.

O resultado dos testes efetuados enfatiza que existe necessidade de se observar com mais cuidado o real desempenho dos pluviômetros de balança, em especial aqueles cujo preço seja mais acessível.

Foi observada a tendência à sub-medição em todos os equipamentos analisados, mesmo no caso do Pluviômetro D, que é considerado um dos melhores aparelhos disponíveis no mercado.

Através dos resultados deste estudo, ficou demonstrado o mecanismo pelo qual os erros que ocorrem em momentos de precipitação mais intensa se inserem em processos de medição média, eventos muito comuns no Brasil.

Sugere-se que, conhecida a limitação dos aparelhos, o esquema de aquisição de dados baseado no registro acumulado dos pulsos em um determinado intervalo de tempo seja, na medida do possível, abandonado.

O motivo para tal sugestão baseia-se no fato de que, com o aumento da capacidade de armazenamento dos “dataloggers”, é possível registrar o momento em que ocorre cada um dos pulsos produzidos pelos pluviômetros. Desta forma, existe a possibilidade de correção da informação, podendo ser relacionado o volume provável da caçambada (pulso) com a precipitação média entre pulsos consecutivos.

6 Agradecimentos

Esta pesquisa foi tornada possível pelo apoio do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, do Departamento de Geografia da

Universidade Federal do Paraná e do Laboratório de Engenharia Ambiental Prof. Francisco Borsari Netto – LABEAM/DHS, da Universidade Federal do Paraná.

Bibliografia

BRAGA, S. M. (2005). “Análise do Potencial de Utilização de Sensores Automáticos Hidroambientais: Estudo de Caso da Bacia do Rio Barigui”, dissertação de mestrado, 135p, 2005.

BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. V. S. (2007) Performance de Sensores de Precipitação do Tipo “Tipping Bucket” (Báscula) – Um Alerta para a Ocorrência de Erros, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, no prelo.

FANKHAUSER, R. (1998). “ Influence of Systematic Errors From Tipping Bucket Raingauges on Recorded Rainfall Data” in Water Science and Technology, v. 37, n. 11 pp. 121–129, 1998.

GORDON, J.D. (2003). “Evaluation of Candidate Rain Gages for Upgrading Precipitation Measurement Tools for the National Atmospheric Deposition Program – Water Resources Investigations Report 02-4302 USGS, 2003”. Disponível em: <http://bqs.usgs.gov/precip/reports/Raingage/wri024302.html>, Acessado em 25/04/2004.

HABIB, E., KRAJEWSKI, W.F., KRUGER, A. (2001). “ Sampling Errors of Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements”. In Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 2, p. 159-166, March/April, 2001.

LA BARBERA, P., LANZA L.G., STAGI, L. (2002). “Tipping Bucket Mechanical Errors and their Influence on Rainfall Statistics and Extremes” in Water Science and Technology, v. 45, n. 2, p. 1-10, 2002.

NYSTUEN, J.A. (1999). “Relative Performance of Rain Gauges Under Different Rainfall Conditions” in Journal of Atmospheric and Ocean Technology, v. 16, p. 1025-1043, 1999.

SEVRUK, B. (2002) “WMO Questionnaire on Recording Precipitation Gauges: State-Of-The-Art” in Water Science and Technology, v. 45, n. 2 p. 139–145, 2002.

SRIKANTHAN, R., JAMES, R.A., MATHESON, M.J. (2002). “Evaluation of the Performance of Tipping Bucket Rain Gauge Under Field Conditions” Bureau of Meteorology, Melbourne, 2002.