

## Performance de Sensores de Precipitação do Tipo “Tipping Bucket” (Báscula) – Um Alerta para a Ocorrência de Erros

Sergio Michelotto Braga, Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes

*Depto. Hidráulica e Saneamento – UFPR*

*sergio.dhs@ufpr.br, cris.dhs@ufpr.br*

*Recebido: 03/08/06 – revisado: 07/11/06 – aceito: 13/12/06*

---

### RESUMO

*Medidores do tipo “tipping bucket (TBs)” são largamente utilizados em estações meteorológicas e hidro-ambientais para registrar detalhes da precipitação. A investigação da condição de funcionamento de equipamentos utilizados na Bacia experimental do Rio Barigüi revelou erros substanciais de medida. Levantamento bibliográfico indica haver consideráveis fontes de incerteza nas medições produzidas pelos TBs. Ensaios em laboratório confirmaram tendência a sub-medição, em especial durante eventos intensos. Os resultados obtidos indicam haver necessidade de ampliar o estudo, para que performance real deste tipo de equipamento no Brasil seja melhor compreendida.*

*Palavras-chave: Precipitação; “tippingbucket”; estações meteorológicas.*

---

### INTRODUÇÃO

Sensores de precipitação do tipo basculante, normalmente conhecidos por seu nome em Inglês “Tipping Bucket (TB)”, são largamente utilizados em estações de monitoramento hidroambientais e meteorológicas.

Seu princípio de medição deriva de um equipamento totalmente mecânico inventado no século XVII (Automatic Weather Stations, 2001), que registrava o número de vezes em que a precipitação atmosférica, coletada através de um funil, conseguia preencher o volume de um dispositivo basculante. Este reservatório era concebido para desequilibrar quando cheio, despejando o líquido acumulado e, como conseqüência, se preparando para um novo ciclo de acumulação. Hoje em dia, os equipamentos produzem pulsos elétricos a cada “basculada”, sendo então esses pulsos registrados em dataloggers. No entanto, o princípio de despejo de líquido, em quantidades controladas, provocado pela alteração do centro de gravidade do recipiente coletor, é o mesmo.

Recentemente, em virtude da importância da utilização dos TBs nas redes automáticas de aquisição de dados pluviométricos – são equipamentos baratos e resistentes – o seu desempenho tem sido estudado de maneira mais detalhada, como nos casos que seguem: Fankhauser (1998) estudou a

performance destes equipamentos em ambiente urbano simulando as características construtivas de diversos modelos; Sevruck (2002) publicou o resultado 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 o programa americano de deposição atmosférica. Finalmente, La Barbera et al, (2002) procurou avaliar erros mecânicos associados ao uso de TBs.

Esse novo interesse decorre da utilização dos dados produzidos pelas redes automáticas dotadas de TBs na calibração de sistemas mais avançados de medição, como os radares meteorológicos e sistemas baseados em satélites. Em especial, destacamos o estudo de Habib et al, (2001) que procurou quantificar erros na avaliação de variações pluviométricas de pequena escala, demonstrando que a magnitude dos erros aumenta bastante quando se procura melhorar a resolução de 15 minutos para 1 minuto.

A principal contribuição deste artigo é de explorar os erros potenciais na medição da precipitação em estações automáticas dotadas de pluviômetros do tipo “tipping bucket”, dando ênfase à per-

formance dos equipamentos nas condições hidrometeorológicas brasileiras.

## ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS TBS

A tentativa de refinar a calibração dos novos equipamentos, os quais podem gerar informações em tempo real, esbarra na necessidade de registros pluviométricos produzidos com base em intervalos de tempo mais curtos, pois somente dessa forma é possível aprimorar a comparação entre as precipitações médias registradas pela rede pluviométrica e os valores quase instantâneos obtidos pela interpretação das imagens de radar. Por esse motivo, alguns estudos recentes procuram acessar o desempenho dos TBS. Entre eles, ressalta-se o estudo de Ciach (2003), que procurou quantificar erros aleatórios produzidos pelos TBS.

Para cumprir esse objetivo, Ciach (2003) utilizou-se de 15 TBS do mesmo modelo, os quais foram instalados de maneira idêntica em um campo de testes localizado no Estado de Oklahoma USA, de forma que suas leituras individuais pudessem ser comparadas com a média de todas as medidas, média essa considerada pelo autor "uma boa aproximação da precipitação ocorrida".

Ao se referir aos erros aleatórios produzidos pelos TBS aquele pesquisador afirma que "*para a maioria das séries históricas disponíveis atualmente, os erros aleatórios aqui analisados são desconhecidos e geralmente ignorados pelos usuários*" (Ciach, 2003). No Brasil, talvez, essa afirmação possa ser estendida para todas as demais fontes de erros associados ao uso de TBS, mesmo quando operados em escalas de tempo de 15 ou 30 minutos.

O esquema de coleta de informações foi baseado no registro do instante de cada basculada, sendo a precipitação média calculada individualmente para cada intervalo entre dois registros subsequentes. Os dados obtidos foram, também, transformados em séries de pulsos (basculadas), registrados em intervalos de tempo fixos.

Os resultados das análises demonstraram que existem motivos para preocupação quanto à confiabilidade dos dados produzidos por TBS, especialmente quando se quer quantificar precipitações de pequena intensidade (menores que 10mm/h) em pequenos intervalos de tempo (abaixo de 15 minutos), dado o grau de dispersão dos valores registrados pelos equipamentos.

Em outro experimento, Habib et al (2001) chegam a conclusão semelhante ao simular o desempenho de um TB, partindo de uma série obtida através de um medidor ótico de precipitação, de alta resolução.

Já Nystuen (1999) faz a comparação entre vários tipos de medidores de precipitação, comparando os resultados com um equipamento ótico de alta resolução. Na seção dedicada aos TBS, demonstra que esses equipamentos apresentam tendência a subestimar medidas quando da ocorrência de precipitações mais intensas, em especial a partir de 150 mm/h.

Estudos anteriores haviam demonstrado a influência de vários fatores no processo de medição de precipitação por TBS. Tinha sido observado, por exemplo, que a ocorrência de ventos acima de 4 m/s podem produzir medidas subestimadas ao arrastar respingos para fora do funil. O mesmo efeito também pode ser produzido, em menor escala, pela formação de película d'água sobre o funil e sua conseqüente evaporação (Sevruk, 1996).

As limitações da tecnologia ficam ainda mais evidentes quando se observa, após leitura atenta de alguns dos manuais de equipamentos em operação, que o grau de precisão dos equipamentos é garantido apenas para precipitações menores que 1"/h (25,4 mm/h), acima do que "a unidade fará leituras inferiores, se propriamente calibrada" (Global Water RG200 Manual, 1997; Global Water RG600 Manual, 1999)

O mesmo pode ser deduzido do processo indicado pela Campbell Scientific Inc. para "calibração em campo" dos TBS que são por ela fornecidos – recomenda-se que 1 Pint de água seja gotejado por sobre o funil do TB, fazendo-se uso de uma lata perfurada, o que deveria produzir 100 pulsos com uma variação de 3% para cima ou para baixo. O processo de gotejamento deve durar "pelo menos 45 minutos", e há instruções expressas de que "se o volume se escoar em menos de 45 minutos, o orifício da lata é muito largo" (Campbell Scientific, 1998).

Em ambos os casos, cada pulso representa aproximadamente ¼ de mm (0,254 mm). Nos TBS da Global Water um máximo de 100 pulsos/h representaria uma precipitação de 25,4 mm/h, enquanto para os equipamentos da Campbell Scientific, 125 pulsos representariam cerca de 32 mm/h.

Para citar apenas um exemplo da limitação dos equipamentos, na bacia experimental do rio Barigüi, em Curitiba – PR já foram registrados níveis de precipitação acima de 30 mm (120 pulsos) em intervalos de 30 minutos – o dobro da precipitação

máxima recomendada (Braga, 2005). Como em outros lugares do Brasil são registradas chuvas ainda mais intensas, é imperativo que se produzam estudos que possam aferir confiabilidade à medidas que se supõe precisas.

Além disso, os estudos que visam aumentar a resolução das redes baseadas em TBs mostraram que, não raramente, existem momentos (minutos) em que a precipitação observada pode ultrapassar 200 mm/h (Habib, 2001), o que ultrapassa, em muito, a especificação para as quais os equipamentos foram desenvolvidos.

### ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE TBs

Os motivos expostos podem, em conjunto ou individualmente, explicar os resultados iniciais dos testes realizados com o TB modelo RG 200, fabricado pela Global Water, instalado na estação Parque Barigüi e removido para estudos após 14 meses de utilização; testes esses que serão descritos a seguir (Braga, 2005).

O equipamento foi conectado a um data-logger modelo GL300 e nivelado com auxílio de um nível comum. Um dispositivo foi montado para gotear água de maneira controlada sobre o funil, de forma a simular a precipitação.



Figura 2a – Ensaio do medidor de precipitação

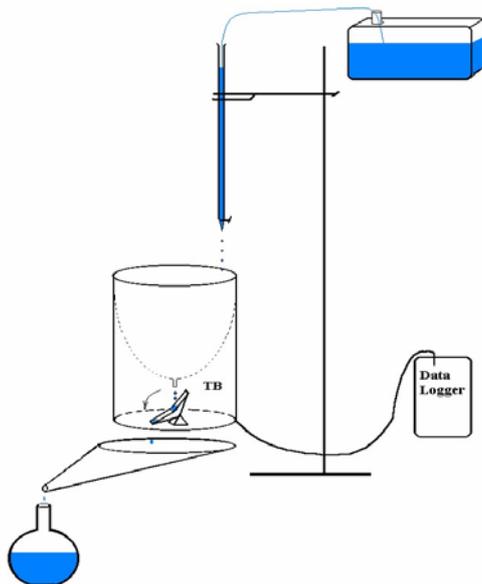


Figura 1 – Esquema dos ensaios do medidor de precipitação



Figura 2b – Detalhe dos ensaios do medidor de precipitação

Utilizou-se uma bureta comum, marca Pirex, com capacidade para 100 ml, fixada a uma haste de suporte. Um reservatório auxiliar (bombona com capacidade para 5 litros) foi instalado em posição adequada para que, por sifonamento, realimentasse a proveta ao longo dos experimentos, mantendo o nível dessa praticamente inalterado durante o gotejamento.

Entretanto, como o objetivo do gotejador é o de simular diversas intensidades de precipitação atmosférica, é necessário que a velocidade de gotejamento seja mantida constante ao longo dos experimentos.

Bombas peristálticas são os equipamentos mais adequados para produzir vazões pequenas e constantes ao longo do tempo, mas como não havia disponibilidade desse equipamento, foi proposto e testado um sistema que, como ficou provado ao longo dos experimentos, é também bastante preciso e confiável, sendo mais facilmente reproduzível em ambiente de laboratório.

Por último, decidiu-se pela utilização de água deionizada, posto que a pequena torneira de vidro que controla o gotejamento da bureta tende a entupir-se em caso da utilização de água comum, alterando por consequência a velocidade de gotejamento. A água gotejada, após passar pelo TB, era coletada e conduzida a um recipiente de acumulação - balão volumétrico de fundo chato, marca Pirex, com capacidade para 1 litro. Ao final de cada ensaio, o volume coletado era cuidadosamente medido, sendo anotado o tempo total do ensaio e registrado o número de pulsos gerados pelo TB. Detalhes do ensaio e um esquema de construção podem ser observados nas Figuras 1 e 2a e 2b..

## RESULTADOS

A análise prévia do TB utilizado nos ensaios não indicava qualquer alteração que pudesse comprometer o processo de medição. O equipamento foi lavado, secado, nivelado e mantido na mesma posição ao longo dos experimentos.

Entretanto, logo nos primeiros ensaios ficou claro que o equipamento estava registrando um volume maior que os 0,254 mm a cada pulso, diferentemente do informado pelo fabricante. Decidiu-se então realizar uma bateria de testes para verificar, detalhadamente, a resposta do aparelho.

Os testes foram divididos em três grupos, a saber: **Análise 1**, na qual foi avaliada a resposta do

sensor nas condições em que se encontrava após 12 meses de operação em campo; **Análise 2**, na qual foi avaliada a resposta do sensor após a realização de procedimentos de manutenção; **Análise 3**, na qual foi avaliada a resposta de um equipamento novo.

### Análise 1 – Avaliação com sensor em condições de campo:

Considerando que o gotejamento era feito em um único ponto do funil, na meia altura da peça e como Curitiba apresenta alta umidade relativa do ar, por serem os ensaios de curta duração e realizados em ambiente fechado, não foi necessário efetuar controle de evaporação. Os resultados desses experimentos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resposta do sensor de precipitação RG200

Volume gotejado (ml)	Tempo (s)	Chuva simulada (mm/h)	Nº de Pulsos	Pulso médio (mm)	Erro %
1000,8	1815	92,84	149	0,3141	23,7
1004,3	1823	92,75	148	0,3174	24,9
1003,9	2708	62,41	150	0,3130	23,2
1013,2	2743	62,19	148	0,3202	26,0
1006,8	2729	62,11	147	0,3203	26,1
1002,7	3914	43,13	155	0,3025	19,1
1005,3	3903	43,37	158	0,2976	17,2
1001,9	4209	40,08	153	0,3062	20,6
1007,0	9316	18,20	160	0,2943	15,9
Precipitação média por Pulso = 0,3095 mm			Valor do Pulso Indicado pelo Fabricante = 0,254 mm		

A princípio, o que se destaca é a diferença significativa entre o valor da precipitação informado pelo fabricante e o valor médio real, obtido a partir dos experimentos. Esses últimos demonstraram claramente que cada pulso corresponde a cerca de 0,31mm, enquanto se esperava obter algo em torno de 0,25, uma diferença de mais de 20% por pulso.

Se esse equipamento fosse utilizado em campo sem que essa diferença fosse levada em conta, o resultado seria a sub-avaliação sistemática da precipitação ocorrida. No caso do sensor em questão, se 1000 mm fossem precipitados, o equipamento responderia com cerca de 3230 pulsos, o que seria interpretado pelo usuário como sendo equiva-

lentes a uma precipitação de cerca de 820 mm – uma sub-medição média da ordem de 18%.

Entretanto, essa não é a única conclusão que pode ser obtida a partir dos dados apresentados na Tabela 1. Observa-se que a resposta do sensor é dependente da intensidade da precipitação, fato compatível com a afirmação de Habib et al (2001).

De forma muito interessante, é possível observar a tendência de aumento da medida de precipitação por unidade de pulso, na medida em que a chuva simulada se torna mais intensa, como indica a Figura 3.

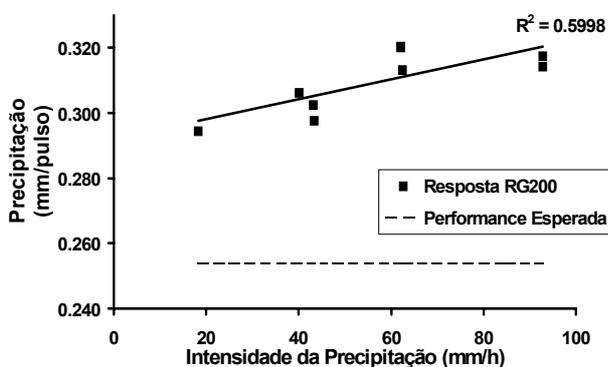


Figura 3 – Performance do sensor RG 200

Cabe ressaltar claramente uma piora da performance do sensor para intensidades mais significativas (80-100 mm/h).

### Análise 2 – O efeito da manutenção

Decidiu-se então pela realização de um procedimento de limpeza nas peças móveis do equipamento, que foram cuidadosamente desmontadas, lavadas com água corrente, secadas sem contato físico e, finalmente, re-montadas na base do equipamento.

Os ensaios, conforme descritos anteriormente, foram repetidos, na esperança de que os valores dos pulsos, em milímetros, viessem a se aproximar do que fora determinado pelo fabricante. Infelizmente, o que ocorreu foi exatamente o oposto, indicando que o procedimento de limpeza, de alguma forma não detectada, contribuiu para a piora

do desempenho do equipamento. Na Tabela 2, são apresentados os resultados dos testes no sensor RG200, após o procedimento de limpeza.

Tabela 2 – Resposta do sensor RG200 após a realização de procedimento de limpeza

Volume gotejado (ml)	Tempo (s)	Chuva simulada (mm/h)	Nº de Pulsos	Pulso médio (mm)	Erro %
1000,0	3158	53,31	113	0,4139	62,9
1003,2	3323	50,83	114	0,4116	62,0
1024,0	3410	50,56	116	0,4128	62,5
1006,0	3551	47,70	115	0,4091	61,1
Precipitação média por Pulso = 0,4118 mm			Valor do Pulso (Fabricante) = 0,254 mm		

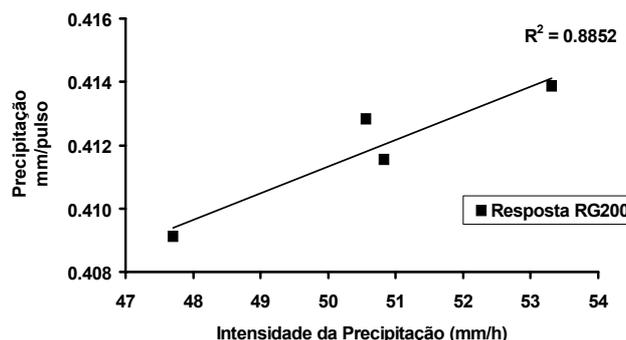


Figura 4 – Performance do sensor RG200 após o procedimento de limpeza

Nesse caso a precipitação média que seria anotada para cada pulso registrado deveria ser de 0,4118 mm, o que difere em mais de 60% dos 0,254 mm indicados pelo fabricante. Entretanto, mesmo com a pequena quantidade de experimentos realizados, foi possível observar, novamente, a tendência de aumento do volume basculado quando a precipitação é mais intensa. Na Figura 4, esse efeito é facilmente observável.

### Análise 3 – Avaliação de um sensor novo

Para efeitos de comparação, um TB modelo RG 600, também produzido pela Global Water Inc., novo e sem uso, foi ensaiado utilizando-se os mesmos procedimentos já descritos. Os resultados dos experimentos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resposta do sensor RG600, sem uso

Volume gotejado (ml)	Tempo (s)	Chuva simulada (mm/h)	Nº de Pulsos	Pulso médio (mm)	Erro %
1009,3	4881	22,95	120	0,2594	2.1
1004,8	4395	25,38	116	0,2671	5.2
1009,4	4165	26,90	118	0,2638	3.9
1027,3	2342	48,69	131	0,2418	-4.8
1010,3	2188	51,26	125	0,2492	-1.9
1002	2123	52,39	120	0,2575	1.4
1008,7	2133	52,50	120	0,2592	2.0
1009,8	1922	58,32	119	0,2617	3.0
1026,9	1943	58,67	127	0,2493	-1.8
1008,6	1873	59,78	118	0,2636	3.8
1010,7	1845	60,81	118	0,2641	4.0
1012,4	1800	62,44	116	0,2691	6.0
1010,8	1788	62,76	117	0,2664	4.9
1023,5	1801	63,09	121	0,2608	2.7
Precipitação média por Pulso = 0,2595 mm		Valor do Pulso Indicado pelo Fabricante = 0,254 mm			

Dessa vez, os valores observados nos experimentos diferem pouco do esperado, sendo que a média apresenta-se deslocada em relação ao previsto pelo fabricante em apenas 2,2%. Entretanto, é possível observar, novamente, a tendência de registro de volumes ligeiramente maiores quando a intensidade da precipitação aumenta. Essa tendência é melhor observada na Figura 5.

Embora os ensaios tenham produzido resultados mais próximos dos esperados 0,254 mm/pulso, observa-se, claramente, a tendência de sub-medição de precipitações intensas para o equipamento novo em questão.

Os valores médios da precipitação por pulso ficaram entre 0,2418 e 0,2691 mm. Para precipitações de cerca de 60mm/h, a sub-medição já atinge cerca de 6%, isto com um equipamento novo, cali-

brado em fábrica, em perfeitas condições de uso e ensaiado em laboratório, sem a presença de movimentação de ventos ou outras interferências.

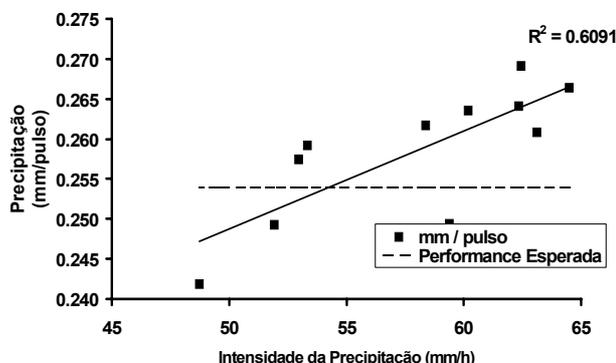


Figura 5 – Performance do sensor RG600, sem uso

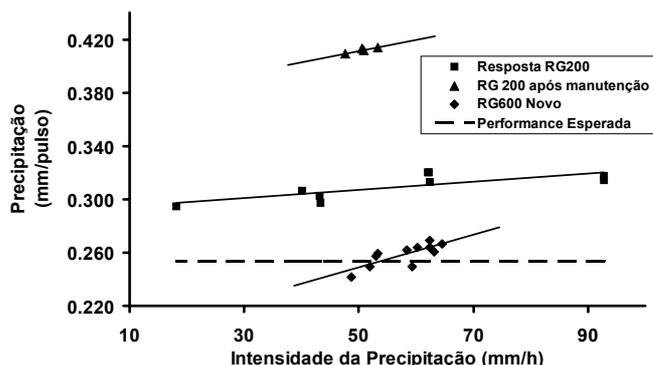


Figura 6 – Performance dos pluviômetros nos testes realizados

Por outro lado, não foi possível localizar nas estações em funcionamento próximas, um equipamento do mesmo modelo que pudesse ser retirado de operação para a realização de testes comparativos. Portanto, somente com a realização de experimentos nos quais a performance desse tipo de equipamento pudesse ser avaliada frequentemente, seria possível verificar o efeito da exposição do equipamento às intempéries.

Entretanto, os resultados obtidos para o sensor RG200 podem ser um indicativo de que há problemas bastante sérios na produção de dados pluviométricos baseados na tecnologia dos TBs.

Para melhor visualização do problema, a Figura 6 apresenta conjuntamente os resultados dos ensaios anteriormente descritos. Torna-se evidente a tendência a submedição em casos de precipitação mais intensa e fica demonstrada a distancia existente entre o que se pretende medir e o que é efetivamente medido pelos equipamentos.

## CONCLUSÃO

O resultado das experiências em laboratório confirma as incertezas que a literatura reporta sobre a utilização da tecnologia do monitoramento eletrônico baseada em TBs. Os erros significativos observados em medidas da precipitação precisam ser acessados e compreendidos pela comunidade científica pois podem produzir impactos significativos em estudos hidrometeorológicos muito difundidos recentemente. São necessários estudos comparativos que visem o aprofundamento do conhecimento sobre a performance dos diversos modelos de TBs existentes no mercado, em especial quando sujeitos a precipitação intensa.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao apoio do LACTEC-CEHPAR, através da pessoa de Eloy Kavisky e recursos FINEP-CTHIDRO.

## REFERÊNCIAS

- Automatic Weather Stations” Meteorological Service of Canada (2001). Disponível em : [http://www.msc-mc.ec.gc.ca/education/imres/42\\_instruments/4\\_2\\_1\\_8\\_autowxstations\\_e.cfm](http://www.msc-mc.ec.gc.ca/education/imres/42_instruments/4_2_1_8_autowxstations_e.cfm) Acessado em: 18/02/2005
- 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.
- CAMPBELL SCIENTIFIC TE525 MANUAL (1998). Disponível em:<http://www.campbellsci.com/documents/manuals/te525.pdf>, Acessado em 17/07/2003
- CIACH, G. (2003). “Local Random Errors in Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements” in Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 20, n. 5, pp. 752-759, May, 2003.
- 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.
- GLOBAL WATER RG 200 MANUAL, (1997). Disponível em: <http://www.globalw.com/downloads/RG/RG200manual.pdf>,
- GLOBAL WATER RG600 MANUAL, (1999). Disponível em: <http://www.globalw.com/downloads/RG/RG600manual.pdf>, Acessado em: 15/07/2003.
- 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.
- SEVRUK, B. (1996). “Adjustment of Tipping-Bucket Precipitation Gauge Measurements” in Atmospheric Research, v. 42, p. 237-246, 1996.
- 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. Acessado em: 15/07/2003.

### *Performance of Tipping Bucket- Type Precipitation Sensors: Warning About Possible Errors*

#### **ABSTRACT**

*Tipping bucket rain gauges are widely used in meteorological and hydrometric automatic stations to measure precipitation. The performance evaluation carried out in the Barigui experimental river basin revealed substantial measurement errors. Recent research suggested a few possible sources of uncertainty, especially when there are*

*heavy rains. The results of laboratory tests, which confirmed underestimation of measurement under simulated heavy rain conditions, indicated that it is urgently necessary to widen the scope of this study in order to improve understanding of the performance of tipping bucket rain gauges in Brazil.*

*Key-words: Tipping Bucket; precipitation; meteorological stations.*