

ISSN 0104-1347

## Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas

Uncertainties in tipping bucket rain gauges measurements used in  
automated weather stations

Paulo Cesar Sentelhas<sup>1</sup> e Paulo Henrique Caramori<sup>2</sup>

**Resumo** - Com o objetivo de identificar as inconsistências e quantificar os erros associados ao uso operacional de pluviômetros de báscula em estações meteorológicas automáticas, avaliou-se a relação entre as chuvas diárias medidas por pluviômetros convencionais e de báscula, com diferentes resoluções e áreas de captação, em Londrina, PR, e em Piracicaba, SP, utilizando-se uma série de dados de aproximadamente 5 anos. Verificou-se que existe tendência de sub-medidas nos sensores eletrônicos, com erros médios da ordem de 14%, no pluviômetro com báscula de maior resolução (0,1mm), e de 2% no de menor resolução (0,2mm). Apesar da maior exatidão do sensor de menor resolução, houve uma menor precisão de suas medidas. Os erros negativos predominaram em 81,7% dos eventos de chuva no caso do sensor com resolução de 0,1mm e em 65,6% dos eventos no sensor de menor resolução (0,2mm), demonstrando haver maior predominância do componente aleatório nos erros deste último. Observou-se, ainda, que em 5% dos eventos houve erros associados a outros fatores, além da intensidade das chuvas, da resolução do equipamento e da sua área de captação, sendo, neste caso, a ação do vento a hipótese mais provável, em razão desses erros terem ocorrido em dias sem chuva no pluviômetro convencional.

**Palavras-chave:** precipitação, erros de medida, resolução de medida.

**Abstract** - This study investigated the errors and uncertainties associated with rainfall measurements with tipping bucket rain gauges, and the influence of the depth resolution (0.1 and 0.2mm) on these uncertainties. The errors were analyzed by the relationship between rainfall data obtained from standard and automatic gauges in two locations: Londrina, State of Paraná, and Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, using approximately 5 years of daily data. The analysis showed that the amount of water collected with tipping bucket rain gauges was smaller than the amount collected with standard gauges in 81.7% and 65.6% of the events for a gauge resolution of 0.1 and 0.2mm respectively. On the average, a difference of about 14% was observed for high resolution gauge and of about 2% for the 0.2mm resolution gauge. It was also observed that in 5% of the rainy days, the errors were related to other factors than rainfall intensity, resolution, and gauge collection area. The most likely hypothesis for that is the wind action over the sensor, since there was no rainfall measured in the standard gauges in these days.

**Key words:** rainfall, measurement error, depth resolution.

### Introdução

Com a consolidação da automatização da aquisição de dados meteorológicos, o emprego de estações automáticas, por razões que vão desde sua

ampla capacidade de amostragem até a possibilidade de sua operação em regiões remotas, tem tido grande expansão (TANNER, 1990; SENTELHAS et al.,

<sup>1</sup>Setor de Agrometeorologia, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: [pcsentel@esalq.usp.br](mailto:pcsentel@esalq.usp.br).

<sup>2</sup>Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Londrina, PR, Brasil. E-mail: [caramori@pr.gov.br](mailto:caramori@pr.gov.br).

1997). No entanto, a substituio das estaes meteorolgicas convencionais pelas automáticas exige cuidados, especialmente no que se refere  homogeneizao da série de dados (SENTELHAS et al., 1997; SEIBERT & MORN, 1999).

A substituio dos pluvimetros convencionais, cuja funo  medir a quantidade de chuva, por pluvimetros automáticos, os quais medem, além da quantidade, o horário, a durao e a intensidade da chuva, tem resultado em alguns problemas, especialmente quando os pluvimetros utilizados so os de báscula (*rain tipping bucket gauges*). Esse tipo de sensor automático de medida da chuva tem sido o mais empregado devido ao baixo custo e  simplicidade de sua operao (TANNER, 1990; FANKHAUSER, 1997).

Os problemas associados aos pluvimetros de báscula esto associados aos erros no total da chuva medida, os quais esto diretamente relacionados  intensidade da precipitao,  resoluo da báscula e  área de captao, assim como devido  ao de ventos intensos (SEIBERT & MORN, 1999).

Com relao a esses erros, os decorrentes da resoluo da báscula so os mais comuns e sua origem reside na incapacidade do sistema em computar a chuva na mesma intensidade com que ela ocorre, o que irá depender também da área de captao do pluvimetro. SENTELHAS et al. (1997), avaliando os dados de chuva provenientes de um pluvimetro tipo Paulista e de um pluvimetro de báscula (resoluo de 0,1 mm), instalados em Piracicaba, SP, observaram que para um período de 13 meses a chuva total foi cerca de 145mm menor no sensor automático, o que representou um erro de 9,4%. De acordo com TANNER (1990), erros acima de 10% podem ocorrer com freqncia, especialmente nos sensores de maior resoluo. Em razo disso, a WMO (1983) recomenda que pluvimetros de báscula tenham uma resoluo mínima de 0,2 mm, porém so comuns nas estaes automáticas pluvimetros com resoluo de 0,1 mm.

Resultados relatados por TANNER (1990), indicam que a ordem de magnitude dos erros provocados pelos pluvimetros de báscula varia de acordo com a relao entre intensidade da chuva, resoluo do equipamento e sua área de captao. O referido autor cita que pluvimetros com diâmetro de 30,5 cm e resoluo de 0,2 mm so os que oferecem medidas com melhor preciso e exatido, o que também foi comprovado pelos estudos realizados por

FANKHAUSER (1997, 1998), em análises envolvendo pluvimetros com diferentes combinaes entre capacidade da báscula (0,1, 0,254 e 0,5 mm) e tipo de calibrao (constante, linear e quadrática).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar as inconsistências e quantificar os erros associados ao uso operacional de pluvimetros de báscula em estaes meteorolgicas automáticas, com diferentes resolues (0,1 e 0,2mm).

## Material e métodos

No presente trabalho foram utilizados dados diários de chuva obtidos simultaneamente em pluvimetros convencionais e de báscula em duas localidades brasileiras, onde operam conjuntamente uma estao meteorolgica convencional (EMC) e outra automática (EMA):

- Londrina, PR (Lat.: 2322'S; Long.: 5110'W e Alt.: 585m), na estao meteorolgica pertencente ao IAPAR/SIMEPAR.
- Piracicaba, SP (Lat.: 2242'S; Long.: 4738'W e Alt.: 546m), na estao meteorolgica pertencente  ESALQ/USP.

Os dados diários de chuva utilizados correspondem a uma série de aproximadamente cinco anos: de junho de 1997 a março de 2002 para Londrina e de janeiro de 1997 a maio de 2002 para Piracicaba.

Os tipos de pluvimetro utilizados para a medida da chuva e suas características so apresentados na Tabela 1 e na Figura 1.

Para a comparao dos dados obtidos com os dois tipos de sensores utilizou-se a análise de regresso, considerando-se a reta passando pela origem ( $a = 0$ ), o erro absoluto médio (EAM), o erro máximo positivo ( $E_{mx^+}$ ) e o erro máximo negativo ( $E_{mx^-}$ ). Para a determinao dos erros, o pluvimetro convencional foi tomado como referência.

## Resultados e discusso

A Figura 2 mostra a relao entre os dados diários de chuva obtidos pelos pluvimetros convencionais e de báscula nas localidades de Londrina (Figura 2a) e de Piracicaba (Figura 2b). Observa-se que a combinao da resoluo do equipamento com a

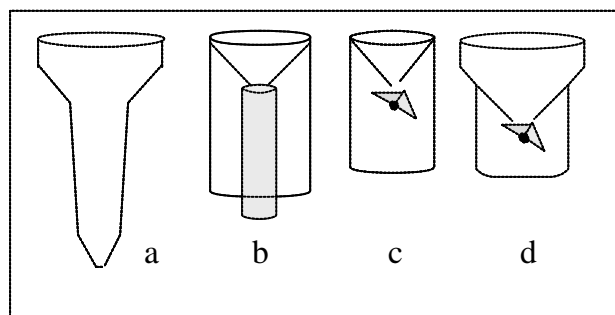
**Tabela 1.** Tipos e características dos pluviômetros empregados na medida da chuva em Londrina, PR, e em Piracicaba, SP, Brasil.

| Local          | Pluviômetro  | Modelo/Marca   | Área (cm <sup>2</sup> ) | Precisão/Resolução (mm) |
|----------------|--------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Londrina, PR   | Convencional | Ville de Paris | 400                     | 0,1                     |
|                | Báscula      | Sutron         | 314                     | 0,2                     |
| Piracicaba, SP | Convencional | Paulista       | 327                     | 0,1                     |
|                | Báscula      | Texas Elect.   | 460                     | 0,1                     |

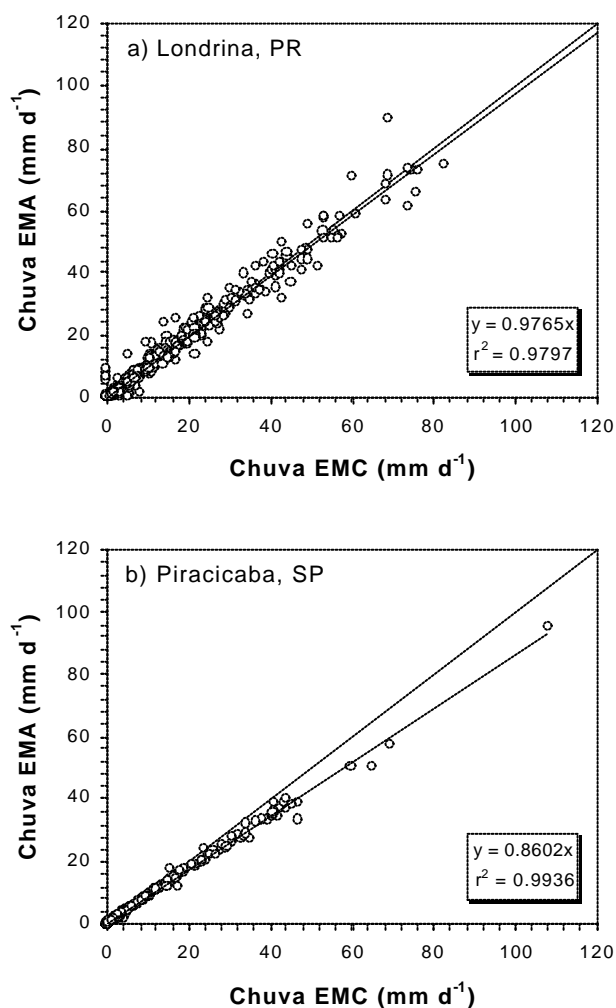
sua área de captação, diferente entre os pluviômetros de báscula utilizados (Tabela 1), resultou em significativas diferenças nas relações apresentadas.

Em Piracicaba, onde o pluviômetro tinha maior área de captação e resolução de 0,1mm, a relação mostrou haver tendência clara de erro sistemático na medida da chuva, sendo que o pluviômetro de báscula promoveu um erro médio da ordem de 14%, com valores inferiores na EMA. Em Londrina, onde o pluviômetro de báscula tinha menor área de captação e resolução de 0,2mm, a relação mostrou a mesma tendência, porém, com erro médio da ordem de 2%. Isso concorda em parte com os dados apresentados por TANNER (1990) e por FANKHAUSER (1997, 1998), que indicam ser os pluviômetros de báscula de menor resolução os que fornecem medidas mais exatas. Por outro lado, discorda dos referidos autores em razão da diminuição da precisão das medidas, com o valor de  $r^2$  sendo maior no pluviômetro de menor resolução.

Além disso, apesar do pluviômetro de menor resolução, utilizado em Londrina, apresentar um menor erro absoluto médio, a magnitude dos erros máximos foi bastante elevada (Tabela 2), com o  $Emáx^+$  chegando a mais de  $20mm d^{-1}$  e o  $Emáx^-$  sendo igual a  $12,3mm d^{-1}$ . No caso do sensor de maior resolução,

**Figura 1** Pluviômetros convencionais: Ville de Paris (a) e Paulista (b); e de báscula: Sutron (c) e Texas Electronics (d), utilizados neste estudo.

utilizado em Piracicaba, a ordem de magnitude do  $Emáx^+$  foi muito menor ( $2,6mm d^{-1}$ ), enquanto o  $Emáx^-$ , de  $15,1mm d^{-1}$ , se manteve com a mesma ordem de magnitude do valor observado em Londrina. Nas duas condições, a predominância foi de erros negativos (Tabela 3), ou seja, com os valores de chuva obtidos na EMC maiores do que os obtidos na EMA.

**Figura 2** Relação entre a chuva diária medida por pluviômetro convencional (EMC) e de báscula (EMA), em a) Londrina, PR, e b) Piracicaba, SP.

**Tabela 2** Erro absoluto médio (EAM), erro máximo positivo ( $Emáx^+$ ) e erro máximo negativo ( $Emáx^-$ ) das chuvas obtidas pelo pluviômetro de balança em relação ao convencional, em Londrina, PR, e em Piracicaba, SP.

| Local          | EAM  | $Emáx^+$ $Emáx^-$     |       |
|----------------|------|-----------------------|-------|
|                |      | (mm d <sup>-1</sup> ) |       |
| Londrina, PR   | 1,26 | +20,5                 | -12,3 |
| Piracicaba, SP | 1,45 | +2,6                  | -15,1 |

Essa maior frequência de erros negativos cometidos pelos pluviômetros de balança está associada à incapacidade do sistema em medir a chuva na mesma intensidade com que ela ocorre. Desse modo, os erros, em termos absolutos, são diretamente proporcionais à intensidade da chuva, especialmente no pluviômetro com balança de 0,1 mm.

Deve-se salientar, ainda, que uma pequena parte dos erros observados não pode ser creditada à intensidade da chuva e à relação entre a resolução da balança e a área de captação do pluviômetro, mesmo porque esses erros ocorreram em dias sem observação de chuva nos pluviômetros convencionais, como pode ser observado na Figura 2. De acordo com SEIBERT & MÓREN (1999), esses erros são oriundos da ação de ventos com forte intensidade, que promovem a movimentação da balança sem que haja deposição de água sobre elas. No conjunto de dados analisados, esse tipo de erro foi da ordem de 5% dos eventos, tanto no pluviômetros de maior resolução, o qual apresentou erros de no máximo 0,5mm d<sup>-1</sup>, como no de menor resolução, no qual os erros variaram de 0,2 a 9,6mm d<sup>-1</sup>.

Finalmente, há a necessidade de se atentar para as diferenças proporcionadas pelos pluviômetros de balança, o que depende de suas especificações, especialmente no tocante à homogeneização da série

**Tabela 3.** Frequência relativa de erros (positivos, nulos e negativos) na medida da chuva com o pluviômetro de balança em relação ao convencional, em Londrina, PR, e em Piracicaba, SP.

| Local          | Erro (Chuva EMA – Chuva EMC) 5 |      |          |
|----------------|--------------------------------|------|----------|
|                | Positivo                       | Nulo | Negativo |
| Londrina, PR   | 27,4                           | 7,0  | 65,6     |
| Piracicaba, SP | 10,7                           | 7,6  | 81,7     |

de dados de chuva, quando da substituição das estações meteorológicas convencionais pelas automáticas.

## Conclusões

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

- As medidas da chuva com os pluviômetros de balança estão sujeitas a erros significativos, dependendo, basicamente, da resolução do sensor, associado ao volume da balança. Sensores com resolução de 0,1 mm promovem erros sistemáticos ( $b = 0,860$ ), porém com medidas mais precisas ( $r^2 = 0,994$ ), o que possibilita a sua correção, enquanto que sensores com resolução de 0,2mm promovem erros aleatórios, com medidas mais exatas ( $b = 0,976$ ), mas de menor precisão ( $r^2 = 0,979$ ), não sendo passíveis de correção.
- A maior frequência de erros negativos cometidos pelos pluviômetros de balança está associada à incapacidade do sistema em medir a chuva na mesma intensidade com que ela ocorre.
- Erros devido à ação dos ventos intensos são passíveis de ocorrência quando se emprega o pluviômetro de balança.

## Referências bibliográficas

- FANKHAUSER, R. Measurements properties of tipping bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation. **Water Science Technology**, Amsterdam, v. 36, n. 8-9, p. 7-12, 1997.
- FANKHAUSER, R. Influence of systematic errors from tipping bucket rain gauges on recorded rainfall data. **Water Science Technology**, Amsterdam, v. 36, n. 11, p. 121-129, 1998.
- SEIBERT, J.; MORÉN, A.S. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 98-99, n. 1, p. 341-348, 1999.
- SENTELHAS, P.C. et al. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221. 1997.
- TANNER, B.D. Automated weather stations. **Remote Sensing Reviews**, Abingdon, v. 5, n. 1, p. 73-98. 1990.
- WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva: WMO. 1983. (Boletim nº.8).

