

ACURÁCIA NA MEDIÇÃO DA ALTURA DE PRECIPITAÇÃO EM PLUVIÔMETROS DE BÁSCULA

Adilson Pinheiro¹, Jürgen Döring², Vander Kaufmann³, Joana Sartoretto Leão⁴ e Marilice Nascimento⁵

Resumo: A precipitação se constitui em um importante fenômeno do ciclo hidrológico, gerando efeitos expressivos nos processos ambientais associados ao escoamento da água, como erosão dos solos, transporte de poluentes de origem difusa e inundações em áreas ribeirinhas. A acurácia de sua quantificação implica no desempenho da estimativa dos seus efeitos. Diferentes modelos de pluviômetros estão disponíveis para medição da altura de precipitação como os tradicionais com leituras manuais e os automáticos. Três pluviômetros (um manual, um de báscula convencional e um de báscula de compensação) foram instalados e monitorados por um período de 250 dias visando avaliar a acurácia da medição da altura da precipitação neste trabalho. Os pluviômetros automáticos registraram a altura para intervalos de 5 min e no manual foram realizadas duas leituras diárias. A altura total medida no pluviômetro de compensação apresentou uma diferença de 0,4% em relação àquela medida no pluviômetro manual. No pluviômetro convencional, a altura medida apresentou uma submedição de 13%. Idêntico resultado de submedição foi obtido para a altura máxima diária. No entanto, quando analisada em relação às intensidades máximas horárias e de 5 min, uma submedição de 21% foi obtida no pluviômetro convencional. As medições efetuadas nos pluviômetros automáticos refletiram na curva da frequência acumulada das alturas de precipitação, mas não apresentaram influência nas relações das alturas de precipitação para diferentes durações.

Palavras-chave: Pluviometria. Incerteza de medição. Monitoramento hidrológico.

1 Introdução

A precipitação é um importante fenômeno do ciclo hidrológico, responsável por diferentes repercussões nos sistemas ambientais. O escoamento superficial, gerado em condições de chuvas intensas e/ou prolongadas provoca a desagregação e o transporte de partículas do solo e a formação de ondas de cheias em bacias hidrográficas de diferentes escalas espaciais e uso e ocupação do solo. A precisão da estimativa da magnitude de fenômenos hidrológicos induzidos pela precipitação depende da qualidade de sua medida.

Os pluviômetros, medidores da altura da precipitação, têm evoluído ao longo do tempo, facilitando a realização da medida. Os pluviômetros manuais permitem a quantificação da altura ocorrida entre duas leituras. Eles requerem a ação de um operador para realização da medida da

altura da precipitação. Os pluviógrafos de báscula efetuavam, no passado, o registro da evolução temporal da altura da precipitação em gráficos, que posteriormente necessitavam ser lidos por um operador ou, mais recentemente, por sistemas automáticos, a partir de sua digitalização. Nas últimas décadas, a quantidade de operações da báscula é controlada por sistemas eletrônicos, constituindo os pluviômetros automáticos. Ainda, têm-se os pluviômetros de pesagem, nos quais a altura da precipitação é quantificada através da pesagem do volume de água armazenada (CIACH, 2003; COLLI et al., 2014) e os disdrômetros a laser, que quantificam as dimensões e a frequência de gotas da chuva (TOKAY et al., 2014).

No Brasil, a rede de monitoramento hidrológico efetua a medida da precipitação uma vez a cada dia, normalmente, as 7h00 (ANA, 2014). Os pluviômetros automáticos

¹ E-mail: pinheiro@furb.com.br

FURB - Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. CAMPUS II - Complexo Tecnológico. Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca. CEP 89.030-000 - BLUMENAU - SC, Brasil

² E-mail: juergen.doering@landw.uni-halle.de

³ E-mail: ambitec.amb@gmail.com

⁴ E-mail: joana.egq@gmail.com

⁵ E-mail: engsegmarilice@gmail.com

permitem medir as alturas de precipitação para diferentes intervalos de tempo, podendo ser de curtas a longas durações. Com estas duas grandezas da precipitação podem ser determinadas a intensidade das chuvas, a qual influenciará nos caminhos seguidos pela água no ciclo hidrológico. Em áreas urbanas, chuvas intensas provocam enchentes, que podem gerar danos sociais, econômicos e ambientais significativos devido à inundação de áreas vulneráveis (TUCCI, 2007).

Nos últimos anos diferentes modelos de pluviômetros automáticos têm sido desenvolvidos, sobretudo do tipo de balança. Estes são aparelhos mecânicos, onde a água da chuva é capturada em um funil, sendo ela conduzida para um mecanismo basculante. Ao acumular certo volume de água, o mecanismo se desequilibra, basculando lateralmente, despejando a água coletada e emitindo um pulso eletrônico que será registrado no "datalogger" (BRAGA; FERNANDES, 2007).

As medidas de precipitação podem ser afetadas por diversos fatores, que acarretam erros (MOLINI; LANZA; BARBERA, 2005; SEVRUKA; ONDRÁS; CHVÍLAC, 2009). Devine e Mekis (2008) citam como fontes de erros na medida da altura da precipitação em pluviômetros o vento, umedecimento do funil, evaporação, retenção e 'splash' da gota. Eles avaliaram a precisão das medições efetuadas em campo com o uso de diferentes modelos de pluviômetros instalados no Canadá, tendo obtidos erros médios de 14,6% nos pluviômetros de balança. Nos pluviômetros manuais, o erro de medição foi de 0,2%, que foi considerada como medida exata. Braga e Fernandes (2007) avaliaram, em laboratório, a precisão da medição efetuada com diferentes tipos de pluviômetros automáticos de balança. Eles obtiveram erros médios variando entre 2,2 e 63%. Os maiores erros foram observados para chuvas intensas.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar a acurácia da medida da altura de precipitação efetuada em três equipamentos pluviométricos instalados em campo, em uma bacia localizada no extremo oeste do estado de Santa Catarina.

Neste artigo, a acurácia é entendida como sendo o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro). Ela envolve tanto efeitos sistemáticos quanto aleatórios. De acordo com Monico et al. (2009), a acurácia difere da precisão, a qual envolve apenas efeitos

aleatórios. A precisão pode ser definida como o grau de conformidade entre as séries de observações da mesma variável aleatória, e que a dispersão da distribuição de probabilidade é um indicador da precisão.

2 Material e métodos

O experimento foi montado na área do viveiro florestal da Prefeitura Municipal de São João do Oeste, localizada na região do extremo oeste de Santa Catarina. O viveiro situa-se no interior da bacia do arroio Fortaleza (área de drenagem de 64,28 km²), onde está instalada uma rede de monitoramento hidrológica quali-quantitativa. O experimento é composto por três pluviômetros, sendo um manual e dois automáticos de balança (Figura 1). Os pluviômetros foram instalados na altura de 1,50 m, sobre uma base metálica, afastados de obstáculos com ângulos de inclinação inferiores a 45°. Os dispositivos eletrônicos são alimentados com sistema fotovoltaico, no qual a energia fica armazenada em bateria.

A precipitação na região é bem distribuída ao longo do ano, com altura variando entre 1430 e 2020 mm, com dias de chuvas entre 118 e 146 (THOMÉ, ZAMPIERI; BRAGA, 1999). Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfa, correspondendo a clima subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente (temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C).

O pluviômetro manual é tipo *Ville de Paris*, comumente utilizado na rede de monitoramento convencional da Agência Nacional de Águas (ANA), com área de captação de 400 cm². O volume de água captada é transferido para uma proveta graduada, onde é realizada a medida da altura ocorrida entre duas leituras diárias. Estes valores foram anotados pelos operadores do viveiro.

Como automáticos foram utilizados os pluviômetros de balança, denominados de convencional e de compensação. O primeiro é fabricado em plástico ABS, com área de coleta de 214 cm² e resolução de 0,2 mm. O fabricante indica que a precisão é de 4% para intensidade de precipitação entre 0,2 e 50 mm/h e de 5% para intensidade entre 50 e 100 mm/h. O número de pulsos foi registrado em *datalogger*, em intervalos de 5 min. O segundo é construído em alumínio extrudado, apresentando área de captação

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 1, p. 38-44, jan./jun. 2014

de 324,3 cm² (8" de diâmetro). Ele possui um módulo eletrônico micro processado responsável por compensar a altura da precipitação, em função da intensidade da chuva. O pluviômetro foi calibrado em laboratório, com altura de precipitação por

basculada variando entre 0,236 e 0,330mm. O modelo de compensação ajustado é descrito por uma função polinomial. Os pulsos são registrados em um *datalogger* com saída SDI-12, estabelecido para registro em intervalos de tempo de 5 min.

Figura 1 - Instalação dos pluviômetros no viveiro florestal em São João do Oeste, SC



Fonte: Autores (2014)

A instalação dos pluviômetros foi realizada em instantes de tempo diferentes. O pluviômetro de balsa convencional foi instalado em 17 de junho, o pluviômetro de compensação em 8 de julho e o manual em 8 de setembro, todos em 2013. As comparações foram finalizadas em 15 de março de 2014, tendo sido realizadas em períodos simultâneos de monitoramento. Assim, o período de análise compreendeu 250 dias para os pluviômetros automáticos de balsa e 188 dias para o pluviômetro manual.

3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos das séries de alturas de precipitação registradas nos três pluviômetros. As alturas de precipitação total e médias registradas em 188 dias foram semelhantes no pluviômetro manual e no pluviômetro de compensação. A altura total medida no pluviômetro de compensação

apresentou uma diferença de 0,4% em relação àquela medida no pluviômetro manual. No pluviômetro de balsa convencional, a altura medida correspondeu a 87%, representando uma submedição de 13%. Idêntico resultado de submedição foi obtido para a altura máxima diária. No entanto, quando analisado em relação às intensidades máximas horárias e de 5 min, a submedição obtida no pluviômetro de balsa convencional foi de 21%.

A equação de intensidade, duração e frequência da região (estação pluviométrica de Chapecó) estabelecida por Back, Henn e Oliveira (2011) mostra que as intensidades médias máximas horárias medidas representam períodos de retorno de 3,8 anos no pluviômetro de balsa convencional e 12,8 anos no pluviômetro de compensação. O uso dos resultados obtidos no pluviômetro convencional no dimensionamento de sistema de drenagem superficial implicaria em um subdimensionamento da estrutura hidráulica (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos das séries de alturas de precipitação (mm)

Parâmetro	Manual	Convencional	Compensação
Total (mm)	1139,1	995,8	1143,6
Média diária (mm)	22,8	19,9	22,9
Mediana diária (mm)	13,2	12,6	14,0
Máximo diário (mm)	118,5	103,8	120,5
Intensidade horária máxima (mm/h)		47,7	57,9
Intensidade máxima em 5 min (mm/h)		132,0	159,6

Fonte: Autores (2014)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 1, p. 38-44, jan./jun. 2014

Na Figura 2 são apresentadas as alturas acumuladas de precipitação registradas nos pluviômetros automáticos. Para o período de 250 dias, a altura total medida no pluviômetro de balsa convencional foi de 1293,2 mm e no de compensação de 1463,3 mm, correspondendo a uma diferença de 13%. A diferença ocorre de forma regular em função da altura de precipitação conforme é mostrado na Figura 3, onde foram relacionadas alturas diárias medidas no pluviômetro manual e aquelas medidas nos pluviômetros automáticos. As relações

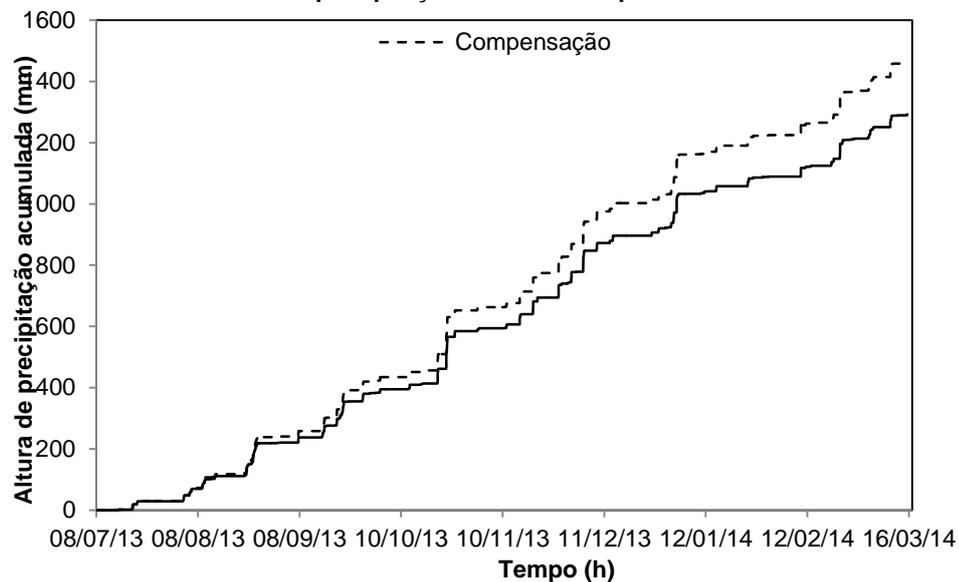
obtidas podem ser expressas por funções lineares, como:

$$h_{\text{conv}} = 0,8583h_{\text{man}} + 0,3631 \quad (R^2 = 0,993)$$

$$h_{\text{comp}} = 0,988h_{\text{man}} + 0,3624 \quad (R^2 = 0,994)$$

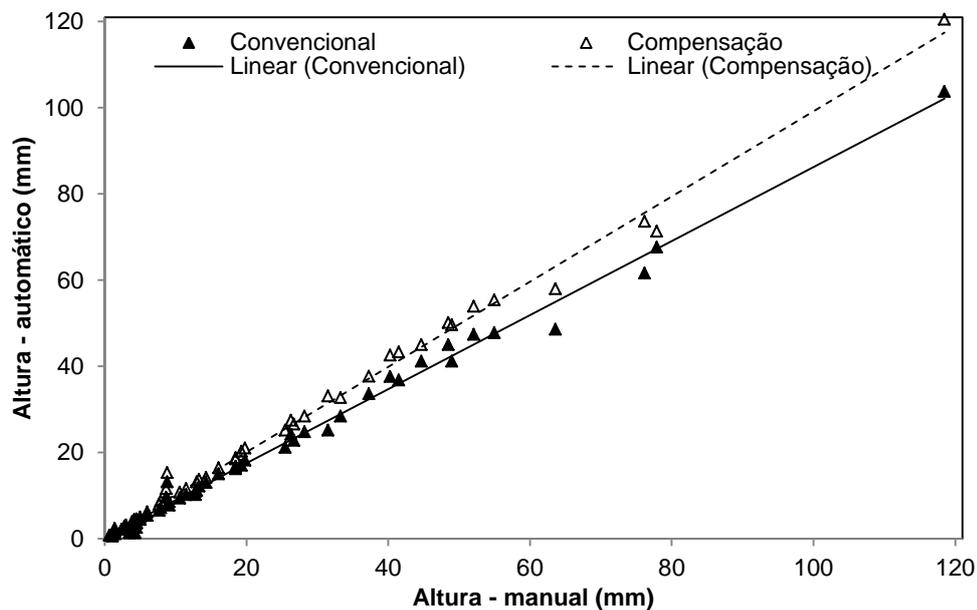
onde h_{conv} é a altura de precipitação medida no pluviômetro de balsa convencional (mm), h_{comp} é a altura de precipitação medida no pluviômetro automático de compensação (mm) e h_{man} é a altura de precipitação medida no pluviômetro manual (mm).

Figura 2 - Alturas acumuladas de precipitação medidas nos pluviômetros automáticos de balsa



Fonte: Autores (2014)

Figura 3 - Relação entre as alturas diárias de precipitação do pluviômetro manual e os pluviômetros automáticos de balsa



Fonte: Autores (2014)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 1, p. 38-44, jan./jun. 2014

Para as leituras de 5 min, a relação entre as alturas nos pluviômetros de báscula convencional e de compensao pode ser expressa por:

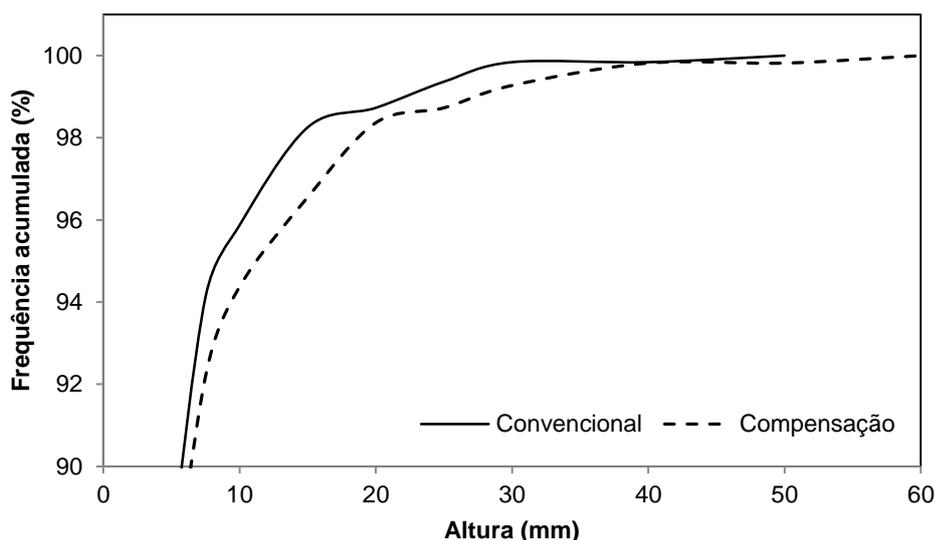
$$h_{\text{comp}} = 1,156h_{\text{conv}} + 0,0053 \quad (R^2 = 0,994)$$

Nota-se que os coeficientes de determinao de Pearson so elevados, indicando uma elevada correlao entre as alturas de precipitao medidas nos dois pluvimetros. O coeficiente angular da equao indica a diferença produzida pela medida da altura da precipitao em cada pluvimetro. A relao entre os pluvimetros de báscula mostra que aquele de

compensao apresenta valores 15,6% superior ao convencional. Assim, a equao ajustada poderia ser utilizada na correo das alturas de precipitao medidas em intervalos de 5 min.

As diferenças de medio obtidas nos pluvimetros de báscula podem ser visualizadas na curva de distribuio de frequência, como  mostrado na Figura 4. A série amostral  curta, dificultando uma análise mais precisa, mas configura um padro que pode ser encontrado na construo da curva de frequência acumulada das alturas de precipitao medidas nos pluvimetros de báscula.

Figura 4 - Frequências acumuladas das alturas de precipitao medidas nos pluvimetros automáticos de báscula



Fonte: Autores (2014)

Por outro lado, quando  feita a relao entre as alturas de precipitao para diferentes duraes, as diferenças entre os pluvimetros de báscula no fica evidenciado. Na Tabela 2 so apresentadas as relaes entre as alturas de precipitao correntemente empregadas na discretizao de alturas diárias, como no estudo realizado

por Back, Oliveira e Henn (2012) para diversas estaes pluviométricas do estado de Santa Catarina. As relaes obtidas com os pluvimetros de báscula so similares entre si. Para a relao de 5 min/h, elas foram levemente inferior aquelas dos demais estudos e, para a relao 1h/24h, foram mais elevadas.

Tabela 2 - Relao entre alturas para diferentes duraes de chuva

Durao	Pluvimetro de báscula convencional	Pluvimetro de báscula de compensao	Back, Oliveira e Henn (2012) ¹	DNOS (CETESB, 1986)
5 min/1 h	0,23	0,23	0,24	0,25
1 h/24 h	0,46	0,48	0,37	0,42

¹ Estaao Chapec

Fonte: Autores (2014)

4 Conclusões

O funcionamento mecânico dos pluviômetros de báscula pode influenciar na altura da chuva medida. A comparao das séries de precipitao medidas com pluviômetros de báscula convencional e de compensao demonstrou que a diferença pode ser de 13% no total diário ou período longo. No entanto, para curtas duraes, como horárias e de 5 min, pode ocorrer submedio de 21%. As submedies

realizadas nos pluviômetros de báscula convencional afetam a construo da curva de frequência acumulada, com conseqüente impacto negativo nas estimativas de chuvas intensas, adotadas em projetos de drenagem urbana e de conservao dos solos.

Correes das alturas de chuva medidas em pluviômetros de báscula so necessárias. Elas podem ser efetuadas a partir da calibrao dos equipamentos em laboratório ou pela calibrao com pluviômetros automáticos de compensao.

5 Accuracy in measuring the rainfall in tipping bucket pluviometers

Abstract: *Rainfall is an important phenomenon of the hydrological cycle, generating significant effects on environmental processes associated with flow of water as soil erosion, transport of pollutants from non-point sources and flooding in riverine areas. The accuracy of quantification implies in performance of estimate of its effects. Different pluviometers models are available for measuring the rainfall as the traditional, with manual readings, and the automatic. In this work three pluviometers (one manual, one conventional tipping bucket and one compensation tipping bucket) were installed and monitored for a period of 250 days, aiming evaluate the accuracy of rainfall measurement by the tipping bucket pluviometers. Automatic pluviometers made records each 5 min intervals and at the manual pluviometers there were two daily readings. The total rainfall measured at the compensation pluviometer presented a difference of 0,4% compared to that measured in the manual pluviometer. In the conventional pluviometer there was a sub-metering in total rainfall of 13%. Identical result was obtained for the maximum daily rainfall. However, when analyzed with respect to the hourly and 5 min maximum intensity measured in the conventional pluviometer, the sub-metering was 21%. Measurements made at the automatic pluviometers reflected in the rain cumulative frequency curve, but showed no influence on the relations of rainfall for different durations.*

Keywords: Pluviometry. Measurement uncertainty. Hydrological monitoring.

6 Referências

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Sistema de informaes hidrológicas, in <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informa_coeshidrologicas/redehidro.aspx>. Acesso em: 20 ago. 2014.

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 35, n. 6, p. 2127-2134, 2011.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relaes entre precipitaes intensas de diferentes duraes para desagregao da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012.

BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. V. S. Performance de sensores de precipitao do tipo 'tippingbucket' (báscula): um alerta para a ocorrência de erros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12, n. 1, p. 197-204, 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 3. ed. So Paulo: CETESB, 1986. 464 p.

CIACH, G. J. Local random errors in tipping-bucket rain gauge measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**. v. 20, n. 5, p. 752-759, 2003.

COLLI, M. et al. Measurement accuracy of weighing and tipping-bucket rainfall intensity gauges under dynamic laboratory testing. **Atmospheric Research**. v. 144, p. 186-194, 2014.

DEVINE, K. A.; MEKIS, . Field accuracy of canadian rain measurements. **Atmosphere Ocean**. v. 46, n. 2, p. 213-227, 2008.

MOLINI, A.; LANZA, L.G.; BARBERA, P. Improving the accuracy of tipping-bucket rain records using disaggregation techniques. **Atmospheric Research**. v. 77, n. 1-4, p. 203-217, 2005.

MONICO, J. F. G. et al. Acurcia e preciso:

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 1, p. 38-44, jan./jun. 2014

revido os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 15, n. 3, p. 469-483, 2009.

SEVRUKA, B.; ONDRÁS, M.; CHVÍLAC, B. The WMO precipitation measurement intercomparisons. **Atmospheric Research**. v. 92, n. 3, p. 376-380, 2009.

TOKAY, A.; WOLFF, D. B.; PETERSEN, W. A. Evaluation of the new version of the laser-optical disdrometer, OTT Parsivel. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**. v. 31, n. 3, 2014.

THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H. J. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999, 1010 p.. CD-ROOM

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. 428 p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. ABRH/RHAMA, Porto Alegre. p. 393, 2007.

7 Agradecimentos

Ao CNPq e ao International Bureau of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), processo n. 01DN12055, pelo financiamento do projeto de cooperação internacional “*Comparação da precisão dos diferentes tipos de lisímetros nas condições ambientais do Brasil e Alemanha*”.