

## Desenvolvimento de metodologia para detecção de gotas utilizando câmeras

Sylvio Luiz Mantelli Neto<sup>1,2</sup>  
Luís Gustavo Lorgus Decker<sup>2</sup>  
Eros Comunello<sup>2,3</sup>  
Aldo von Wangenheim<sup>2</sup>  
Yoshiaki Sakagami<sup>2,5</sup>  
Izabelly Carvalho Costa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos SP, Brasil  
sylvio.mantelli@inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Caixa Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis SC, Brasil  
luisgustavo.decker@gmail.com, awangenh@inf.ufsc.br

<sup>3</sup> Universidade do Vale do Itajai – UNIVALI  
<sup>4</sup> Visionlab – Campus Kobrasol  
88220-000 – Florianópolis SC, Brasil  
eros@incod.ufsc.br

<sup>4</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN  
Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ 12630-000 - Cachoeira Paulista SP, Brasil  
izabelly.costa@cemaden.gov.br

<sup>5</sup> Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC  
Av. Mauro Ramos, 950 - Centro 88020-300 - Florianópolis SC, Brasil  
yoshi@ifsc.edu.br

**Abstract.** This paper presents a methodology for evaluation of water drops using cameras and digital image processing. Proper evaluation of water drops is an important validation resource in areas such as propagation models and meteorological radar estimates. A disdrometer using LASER, line scan cameras and so on, are commonly used for that purpose. However these instruments, usually scan a 2-D sampling area. With the advance of technology faster cameras, computers, and newer algorithms for digital image processing are available to make volumetric assessment of drops. Current work develops a method and an apparatus for measuring the diameter of water drops using a low cost fast image acquisition and the asymmetric proportion of drop axis. Results demonstrated that drops are evaluated without moving distortion and geometric depth size calibration, even at terminal velocity.

**Keywords:** Radar, processamento de imagens, gotas

### 1. Introdução

As chuvas são um fenômeno atmosférico comum na vida diária do cidadão. Entretanto, quando ocorrem de maneira contínua e em grande quantidade, associada à falta de planejamento urbano, causam grandes transtornos. Um dos recursos mais importantes já existentes para o monitoramento de eventos em meso escala é a rede de radares instalados no país. Os radares estão sujeitos a uma série de incertezas e necessitam de um procedimento de validação

associado as suas medidas Berenguer (2006), SISMA DEN (2009), Marshall e Palmer (1948), KOZU et al. (2009), Tenorio, Moraes e Kwon (2010). Os pluviômetros não apresentam dados quantitativos acerca do tamanho e intensidade dos hidrometeoros. Estes dados, são importantes para a validação de propagação de antenas Thurai, Schonhuber e Bringi (2006) e radares SISMA DEN (2009, pag. 76) que utilizam por exemplo o método Marshall e Palmer (1948). Em geral, os disdrômetros são utilizados para esta finalidade KOZU et al. (2009), Tenorio, Moraes e Kwon (2010).

Disdrômetros são baseados em diversas tecnologias como por exemplo ópticos Clardy e Tolbert (1961) e os hidrofones Forster (1994). Entretanto as tecnologias comumente utilizadas em equipamentos comerciais são os de impacto Montopoli et al. (2007), Alonge e Afullo (2011), 2-D video Kruger e Krajewski (2002), Marzano e Montopoli (2007a, 2007b) e LASER Loffer-Mang e Joss (1998).

Estes sistemas utilizam sistema de computação embarcado, que são utilizados para avaliar quantitativamente o tamanho, a velocidade e a densidade volumétrica dos hidrometeoros. Outros sistemas utilizam câmeras de uma linha (line scan cameras) para a avaliação dos hidrometeoros Schuur et al. (2001), Thurai e Bringi (2005), mas nenhum destes sistemas utilizada a tecnologia de alta velocidade das imagens para a avaliação dos hidrometeoros. Outro problema é a área de sensibilidade para a análise das gotas que varia por aproximadamente entre  $46\text{cm}^2$  para o equipamento da THIES CLIMA <sup>1</sup> até  $100\text{cm}^2$  para os da Joanneum/ESA <sup>2</sup>. Propõe-se através da presente pesquisa o desenvolvimento de um software de análise das imagens dos hidrometeoros e a construção de um protótipo com câmeras de alta velocidade, para futuramente auxiliar no estabelecimento de um procedimento de validação para os sistemas de radares meteorológicos.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para a realização da parte experimental será utilizada um computador e uma câmera industrial com conexão Internet do tipo GIGABIT, fabricada pela PHOTON FOCUS modelo  $D/L - 2048 \times 1088C - 192 - G2 - 8$ . De acordo com o manual, esta câmera possui a capacidade de adquirir uma imagem a partir de  $13\mu\text{s}$  de tempo de exposição. Para realizar as medidas, a câmera foi alojada dentro de um cilindro de PVC de aproximadamente  $45\text{cm}$  de diâmetro apontada para uma lâmpada em uma configuração de iluminação por contraste conforme ilustrado na figura 1. As gotas atravessam um campo de visualização entre a lâmpada e a câmera onde são avaliadas. A lâmpada possui um bulbo leitoso para homogeneizar a fonte de luz. Pequenas diferenças na superfície da fonte de luz não afetaram a qualidade do processamento da imagem. Devido à fonte de luz não ser pontual, uma região de penumbra se forma ao redor da imagem da gota. A penumbra pode ser facilmente retirada através de algoritmos de processamento de imagem.

Para saber se a câmera é rápida o suficiente para monitorar uma gota em velocidade terminal, sem borrar a imagem durante o seu deslocamento, foi realizada a seguinte avaliação. Uma gota caindo a uma velocidade terminal máxima de  $10\text{m/s}$  Boxel (1997), percorre em  $13\mu\text{s}$ , uma distância de  $130\mu\text{m}$ . Uma área de amostragem estimada de  $10\text{cm}$  monitorada por uma câmera com uma resolução de imagem de  $512 \times 512$  pixels, apresenta uma resolução aproximada de:  $x = 512/100 = 5,12 \text{ pixel/mm}$ . Nesta resolução, a gota se desloca em uma distância aproximada de  $5,12 \text{ pixel/mm} \times 130\mu\text{m} = 0,66 \text{ pixel}$ . Ou seja, o efeito de borramento não é perceptível na imagem, por que na velocidade terminal ela se desloca menos de um pixel para um tempo de aquisição de  $13\mu\text{s}$ .

<sup>1</sup>Thies clima <http://www.thiesclima.com/disdrrometer.html>

<sup>2</sup>Joanneum Research: <http://www.distrometer.at/>



(a) Aparato experimental.

(b) Imagem de referência utilizada para o BGS

Figura 1: Aparato experimental e a imagem de referência, utilizados na presente pesquisa.

Uma informação importante para os sistemas de validação de radares, é o tamanho das gotas, especialmente os radares de dupla polarização. Disdrômetros que utilizam sistema de impacto ou feixe de laser paralelo, utilizam transdutores e/ou métodos de medida das gotas que produzem sinais proporcionais ao tamanho da gota. Entretanto as gotas através das câmeras são avaliadas por um sistema de observação piramidal, sujeito ao efeito de profundidade. Ou seja, a mesma gota observada a uma profundidade maior, aparenta ser menor. Isto causa um problema de calibração na observação das gotas a diferentes profundidades, por que elas são medidas por comparação a um padrão de medida fixo (o metro) . Para contornar este problema foi utilizado um recurso matemático que utiliza a proporção em pixels entre os eixos das gotas de chuva. Este recurso evita utilizar a calibração em milímetros das gotas a partir dos pixels das imagens a diferentes profundidades comparando-as a uma escala milimetrada. Um estudo detalhado acerca da razão entre os eixos foi realizado por Thurai e Bringi (2005). Neste estudo várias equações foram propostas para relacionar o diâmetro das gotas com a proporção entre os eixos. Escolhemos o modelo linear, por apresentar uma relação linear entre as dimensões verticais e horizontais dos eixos é o diâmetro da gota. Invertendo os termos da equação em função da proporção entre eixos sugerida por Thurai e Bringi (2005, eq. (2)), obteve-se a equação 1.

$$D = 16,61 - 16,13P \quad (1)$$

onde:

- D: Diâmetro da gota
- P: é a razão ou proporção entre os eixos em unidades de pixels entre  $\frac{\text{eixo-menor}}{\text{eixo-maior}}$

O volume amostrado pelo aparato foi calculado, tomando como base suas medidas aproximadas. A partir das imagens obtidas estabeleceu-se o seguinte procedimento computacional para a detecção das gotas. Na figura 2 esta ilustrado um esquema do procedimento utilizado para a determinação das gotas de chuva. Na figura 3 estão ilustrados os resultados parciais intermediários obtidos através do procedimento computacional estabelecido.

Conforme pode ser observado na figura 3(a) existe uma região de penumbra ao redor da gota na imagem original, devido a fonte luminosa não ser pontual. A diferença de intensidade entre a penumbra e a gota, permite a remoção fácil da gota sem afetar os resultados do processamento da imagem. Em seguida, realizou-se uma subtração da imagem de fundo (background subtraction ou BGS) utilizada como referência, conforme ilustrada na figura 1(b); obtendo como resultado a imagem ilustrada na figura 3(b). A imagem de referência é uma imagem obtida sem a presença de gotas. O próximo passo é a execução de uma segmentação do tipo Canny (1986) da gota ainda com a região de penumbra 3(c). A região de penumbra é removida a partir do ajuste dos parâmetros de histerese da segmentação Canny. O próximo passo é calcular o centro de massa da imagem, conforme ilustrado na figura 3(d) indicado por um ponto central entre os eixos. Por último, rotacionam-se os dois eixos ortogonais a partir do centro de massa da imagem, buscando-se o ângulo de maximização simultânea do tamanho dos dois eixos 3(e). Ao final do procedimento de maximização, as distâncias entre os eixos em unidades adimensionais de pixel, são utilizadas para determinar o diâmetro da gota a partir do modelo de regressão estabelecido na equação 1.

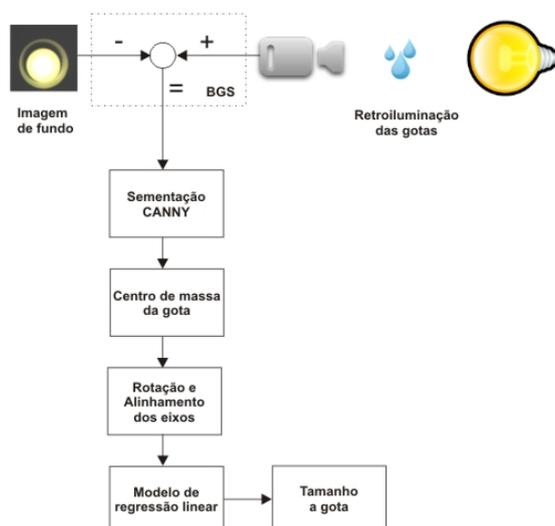


Figura 2: Esquema ilustrando procedimento utilizado para a determinação do tamanho das gotas.

### 3. Resultados e Discussão

Para validar a metodologia proposta no presente trabalho, realizou-se um experimento há várias alturas, aproveitando-se do edifício de 4 andares do prédio INE da UFSC, para testar a capacidade do protótipo montado. De acordo com Boxel (1997, fig. 5) gotas de 3 a 10mm de diâmetro atingem 95% da velocidade terminal a partir de quedas entre 6 a 8m. As seguintes alturas foram medidas através de uma trena a LASER da BOSCH: 1° andar 4,39m, 2° andar 7,66m, 3° andar 10,36m e 4° andar 14,15m. Com isto pode-se afirmar com segurança que uma gota caindo a partir do 3°, andar já atingiu a velocidade terminal. Utilizou-se um conta-gotas comum, para produzir as gotas a várias alturas a partir das janelas do prédio. A câmera foi configurada para adquirir imagens a uma taxa de 700 frames per second (fps). Algumas imagens obtidas a partir do experimento encontram-se na tabela na figura 3.

Vale a pena observar que a cada segundo eram obtidas 700 imagens de 0,26Mp de resolução. Foram geradas milhares de imagens, antes de se obter boas amostras, a partir de um conta-gotas manual para cada andar experimentado. Convém salientar que em um regime normal de

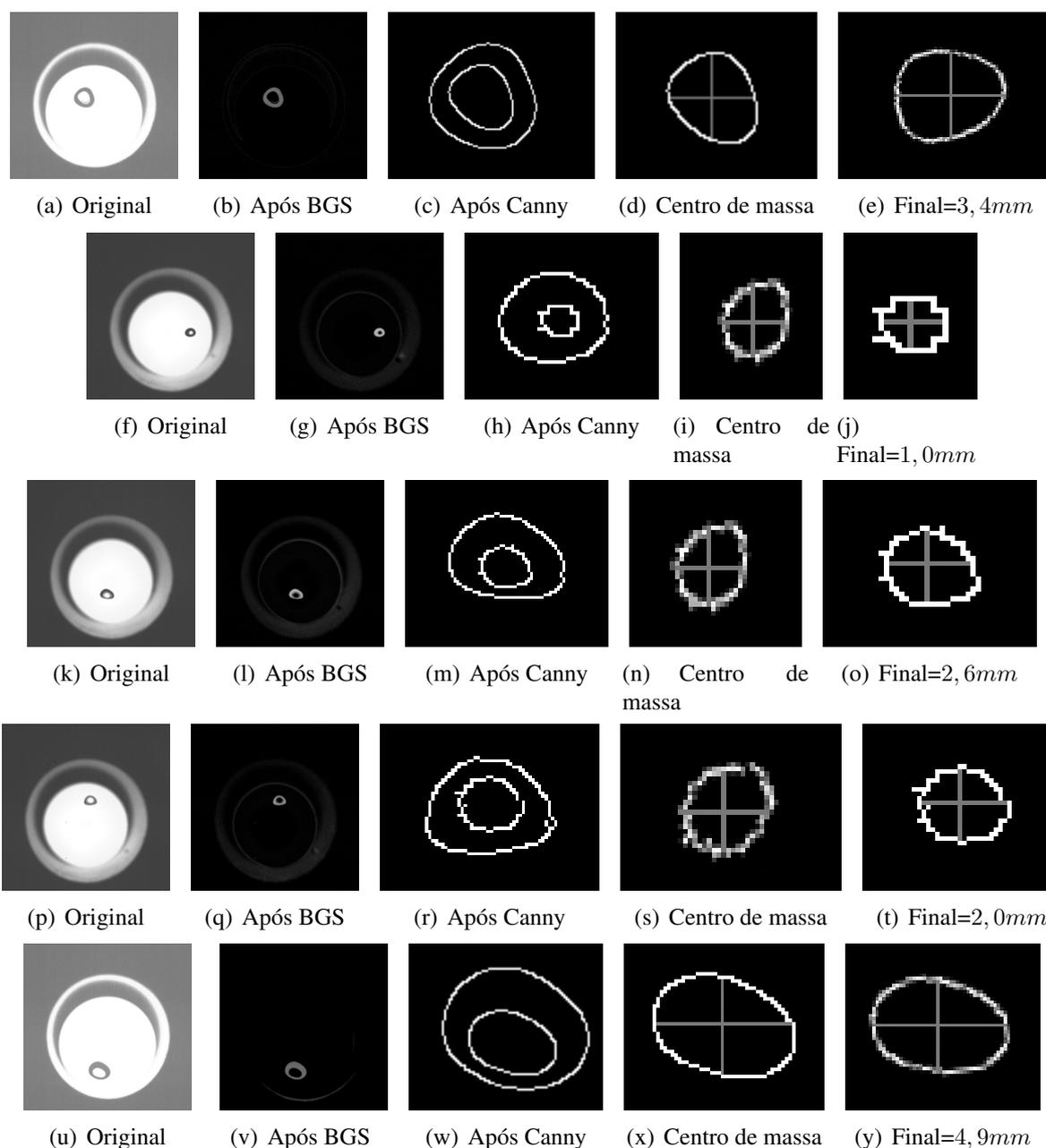


Figura 3: Algumas imagens obtidas a partir do experimento realizado no térreo nas figuras 3(a) a 3(e), primeiro andar nas figuras 3(f) a 3(j), segundo andar nas figuras 3(k) a 3(o), terceiro andar nas figuras 3(p) a 3(t) e quarto andar nas figuras 3(u) a 3(y). As figuras estão em escala arbitrária.

operação, as chuvas serão contínuas o que reduz em muito o número de imagens obtidas por amostragem. A câmera possui *trigger* externo configurável, permitindo que a aquisição das imagens seja controlada por exemplo por um sistema de aquisição de dados somente durante as chuvas.

#### 4. Conclusões

Ao longo do presente trabalho foi construído um aparato experimental e desenvolvida uma metodologia para a avaliação de gotas a partir de imagens de câmeras. Ao invés de utilizar uma câmera com alta taxa de quadros (FPS) de altíssimo custo, optou-se por uma câmera de custo

bem menor mas com grande velocidade de captura. Entretanto o sistema necessita interfaces rápidas do tipo GIGABIT (padrão GigE), disponível somente nos computadores sistemas acima do valor médio existentes no mercado. O aparato experimental construído em PVC, possui baixo custo e é de fácil construção. Foi desenvolvido também um procedimento computacional que avalia o diâmetros das gotas através de câmeras, utilizando a proporção entre os eixos em unidades de pixels ao invés de unidades métricas. O trabalho indicou que a metodologia tem viabilidade para ser utilizada para medir as gotas de chuva e ser utilizada para validar estimativas de radar. O sistema tem a capacidade de registrar e avaliar as gotas de chuva, mesmo em sua velocidade terminal. Durante uma precipitação, as gotas de chuva não precisam ser monitoradas continuamente para uma análise quantitativa; mas podem ser avaliadas através de amostragem de acordo com as tradicionais teorias estatísticas largamente empregadas em diversas áreas.

A metodologia e o aparato desenvolvidos tem condições de serem otimizados e expandidos através da melhoria do sistema de iluminação e de uma investigação adicional para determinação da velocidade terminal das gotas. Como trabalho futuro está sendo desenvolvido um outro experimento, para avaliação simultânea das mesmas gotas pela câmera e um disdrômetro comercial a laser.

## 5. Agradecimentos

O autores agradecem o suporte financeiro dado pelo CNPQ através do projeto universal HIDROCAM número 478694/2001-3, ao Dr. Frederico Angelis do CEMADEN pela sugestão do tema. O desenvolvimento desta pesquisa, também foi realizado no âmbito da Rede Clima (UFSC).

## Referências

- ALONGE, A.; AFULLO, T. Rainfall rate modeling for various rainfall types in south africa. In: EEE AFRICON 2011 - THE FALLS RESORT AND CONFERENCE CENTRE, LIVINGSTONE, ZAMBIA, 13 - 15 SEPTEMBER 2011. *IEEE Africon 2011*. The Falls Resort and Conference Centre, Livingstone, Zambia, 2011.
- BERENGUER, M. F. *Hydrological uses of meteorological radar. Validation of algorithms for rainfall estimation and forecasting*. Tese (Doutorado) — Politécnica de Catalunya, 2006.
- BOXEL, J. H. van. Numerical model for the fall speed of raindrops in a rainfall simulator. In: *Workshop on Wind and Water Erosion*. [S.l.: s.n.], 1997. p. 7785.
- CANNY, J. A computational approach to edge detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, PAMI-8, n. 6, p. 679–698, Nov 1986. ISSN 0162-8828.
- CLARDY, D. E.; TOLBERT, C. W. Electronic disdrometer. *Review of Scientific Instruments*, v. 32, n. 8, p. 916 – 919, 1961.
- FORSTER, J. Rain measurement on buoys using hydrophones, forster, j.; oceanic engineering, ieee journal of volume: 19 , issue: 1, digital object identifier: 10.1109/48.289446, publication year: 1994 , page(s): 23 - 29. *Oceanic Engineering*, v. 19, p. 23 – 29, 1994.
- KOZU, T. et al. Feasibility of raindrop size distribution parameter estimation with trmm precipitation radar. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 87A, p. 53–66, 2009.
- KRUGER, A.; KRAJEWSKI, W. Two-dimensional video disdrometer: A description. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 19, n. 5, p. 602–617, 2002.
- LOFFER-MANG, M.; JOSS, J. J. An optical disdrometer for measuring size and velocity of hydrometeors. *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY*, v. 17, p. 130–140, 1998.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K. The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, n. 5, p. 165–166, 1948.

MARZANO, F.; MONTOPOLI, M. Microwave modelling of rain attenuation fields using disdrometer measurements and stochastic methods. *Antennas and Propagation*, 2007.

MARZANO, F.; MONTOPOLI, M. Microwave modelling of rain attenuation fields using disdrometer measurements and stochastic methods. In: THE SECOND EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 2007. [S.l.], 2007. p. 1 – 5.

MONTOPOLI, M. et al. Processing disdrometer raindrop spectra time series from various climatological regions using estimation and autoregressive methods. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, p. 2268 – 2271, 2007.

SCHUUR, T. J. et al. Drop size distributions measured by a 2d video disdrometer: Comparison with dual polarization radar data. *Journal of Applied Meteorology*, v. 40, p. 1019?1034, 2001.

SISMADEN. *Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, Manual do Usuário*. [S.l.], Julho 2009. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/sismaden/documentos.php>>.

TENORIO, R. S.; MORAES, M. C. d. S.; KWON, B. H. Raindrop distribution in the eastern coast of northeastern brazil using disdrometer data. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 4, p. 415 – 426, Dec 2010.

THURAI, M.; BRINGI, V. N. Drop axis ratios from a 2d video disdrometer. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 22, p. 966?978, 2005.

THURAI, M.; SCHONHUBER, M.; BRINGI, V. Drop shape and size distributions in rain from 2-d video disdrometer and propagation calculations at 20 ghz, antennas and propagation. p. 1–6, 2006.