

Energia cinética da precipitação estimada por radar de tempo ajustado por medida disdrométrica

Mauricio de Agostinho Antonio

Universidade Estadual Paulista – UNESP/IPMet
Caixa Postal 281 – 17045-970 – Bauru – SP, Brasil
mauricio@ipmet.unesp.br

ABSTRACT - In this work, disdrometric measurements of drop size distribution effected during three frontal precipitation events at Botucatu, SP, during the spring, were used to establish functional relationships among parameters associated to drop sizes, such as kinetic energy (E_k) and radar reflectivity (Z). Z was also estimated for precipitation using an weather radar located in Bauru, SP. Correlation between E_k and disdrometric determined Z , for the different events, presented good adjustment featuring a $R^2 = 0,9844$, resulted in the expression $Z = 17.8 E_k^{1,08}$, which was applied to the reflectivity values from the radar, obtained from 3.5 km CAPPI. From this, the pattern of kinetic energy flux associated with the precipitation field in São Paulo, at a 1 km² resolution, can be made available every 7.5 minutes, in the radar quantification range of 240 km. The knowledge of the soil types from areas of interest, associated to the kinetic energy field of the precipitation over those areas, allows the determination of the respective potential of erosion and, thus, take preventive measures to mitigate the effects should an erosion occur.

Palavras-chave: drop size distribution, weather radar, kinetic energy, distribuição de gotas, radar de tempo, energia cinética

1. Introdução

A agricultura, desenvolvida pelos homens desde que deixaram de vagar como nômades, tornou o solo um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. Entretanto, para o uso adequado dos solos, entre outros, é necessário conhecer os fatores variáveis que interferem na intensidade da erosão causada pela precipitação. Tais fatores variam conforme o local e são dependentes das características físicas das precipitações e dos solos de cada região.

O potencial erosivo da precipitação pode ser avaliado conhecendo-se, principalmente, a energia cinética transferida aos solos pelos impactos das gotas de chuva. Estudos relacionando a perda de solos pelo impacto, à características do tamanho das gotas e sua distribuição, e à velocidade terminal dessas gotas, tem demonstrado que a energia cinética é o parâmetro apropriado para indicar a magnitude do potencial erosivo da precipitação.

A energia cinética vem sendo determinada através de modelos empíricos que partem da intensidade das chuvas determinadas com pluviômetros, conforme Wischmeier e Smith (1958), Hudson (1973), Lal (1976), Morgan (1986), entre outros.

Com o advento dos disdrômetros (Joss e Waldvogel, 1967), equipamentos que determinam a distribuição do tamanho de gotas, é possível determinar com bom detalhamento a energia cinética da precipitação, como também estabelecer relações funcionais com a refletividade do radar de tempo, e a intensidade da precipitação, nas várias formas e locais de sua ocorrência (Zawadzki e Agostinho Antonio, 1988).

Neste trabalho estão apresentadas as medidas de energia cinética determinadas para três eventos de precipitação de primavera, em 16, 26 e 30 de outubro de 1997, a partir de um disdrômetro em Botucatu, SP, (Antonio, 1998, 2008). Também, foram relacionados os resultados disdrométricos com a estimativa de refletividade da precipitação dada por um radar de tempo instalado e operado pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista (IPMet/UNESP), em Bauru, SP, permitindo o estabelecimento do campo de energia cinética das precipitações sobre a área de atuação do radar.

2. Metodologia de trabalho

2.1. Dados de disdrômetro

O disdrômetro de impacto é um instrumento que transforma o movimento vertical de uma gota de chuva que atinge uma superfície sensível de um sensor em um pulso elétrico cuja amplitude é função do diâmetro da gota. Daí é calculada a distribuição dos tamanhos das gotas em um volume de ar. Os diâmetros medidos variam de 0,3 mm até 5 mm, onde a medida inferior deve-se aos limites práticos do princípio de medidas, e o limite superior é o qual, acima dele, as ocorrências são bastante raras por causa da quebra das gotas devido à instabilidade das gotas grandes (Distromet, 2004).

A forma prática de representação dos 127 diâmetros de gotas medidos pelo disdrômetro está na combinação de 20 classes de tamanho de gotas, aproximadamente exponencial sobre a extensão dos diâmetros de gotas de chuva.

O disdrômetro estava instalado na área urbana de Botucatu (22,8894° S, 48,4508° W, altitude 838 m), ajustado para integrações de dados a cada um minuto.

2.2. Cálculo da Energia Cinética

A determinação da energia cinética da precipitação, parte da distribuição do tamanho de gotas dadas pelo disdrômetro.

O fluxo total de energia cinética das gotas determinadas em um volume sobre o disdrômetro, num intervalo de tempo considerado, é calculado como:

$$E_k = [(\pi \rho_a) / 12 S \Delta t] \sum D_i^3 n_{Di} v_i \quad (1)$$

Onde: E_k é a energia cinética por unidade de volume, S é a área sensível do disdrômetro, Δt é o intervalo de tempo considerado, e n é o número de gotas de determinado diâmetro.

A forma prática da equação do fluxo de energia cinética, considerando-se os valores e unidades conhecidas, com $S = 50 \text{ cm}^2$, t em minutos, v em m/s, $\rho_a = 1 \text{ g/cm}^3$, D em mm, para E_k em $\text{J/m}^2 \cdot \text{h}$, é:

$$E_k = (\pi / 36 \times 10^3 \Delta t) \sum D_i^3 n_{Di} v_i \quad (2)$$

2.3. Cálculo da Refletividade

A refletividade Z , determinada a partir da distribuição do tamanho de gotas dada pelo disdrômetro, em um determinado intervalo de tempo sobre o disdrômetro, onde um volume está sendo amostrado, é expressa como:

$$Z_i = (1 / S \Delta t) \sum [(n_{Di} D_i^6) / v_i] \quad (3)$$

Onde: S é a área sensível do coletor do disdrômetro, Δt é o intervalo de tempo de integração considerado, D_i é o diâmetro da gota i , v_i é a velocidade terminal da gota de

diâmetro i , e n_{Di} é o número de gotas de diâmetro i . A velocidade terminal das gotas é estimada segundo a proposta de Gunn e Kinzer (1949).

A forma usual da equação da refletividade, considerando-se os valores e unidades conhecidos, como $S = 50 \text{ cm}^2$, Δt em minutos, v_i em m/s, para Z em mm^6/m^3 , é dada por:

$$Z = (1 / 50 \Delta t) \Sigma [(n_{Di} / v_i) D_i^6] \quad (4)$$

A refletividade de radar é expressa como uma função logarítmica:

$$Z_{dB} = 10 \log Z \quad (5)$$

2.4. Dados de Radar

Os dados do radar de tempo de Bauru ($22,3583^\circ \text{ S}$, $49, 0272^\circ \text{ W}$, altitude 624 m) utilizados no trabalho são os valores de refletividade (expressos em dBZ), obtidos com CAPPI (Indicador de Posição no Plano com Altitude Constante) de altitude 3,5 km, até um raio de 240 km do equipamento.

Os conjuntos de dados foram coletados a cada 7,5 minutos, a partir de varreduras sucessivas da antena com elevações crescentes, e representam a precipitação média em um volume com representação em área de 1 km X 1 km. Isto é, todo o campo de quantificação do radar sobre os 240 km de raio está representado por uma matriz de células de 1km^2 .

3. Resultados e discussão

3.1. Dia 16 de outubro de 1997

A precipitação do dia 16 de outubro de 1997, selecionada nesta avaliação, foi registrada no solo em Botucatu com início às 16:19 h e término às 18:30 h. No intervalo totalizou 3,0 mm em 129 minutos.

O sistema precipitante em questão tratava-se de chuva estratiforme associada a uma frente fria que atuava na região, com deslocamento de oeste para leste, sobre o Estado de São Paulo.

Os valores máximos observados de energia cinética e de refletividade da chuva, determinada a cada minuto pela distribuição do tamanho de gotas dados pelo disdrômetro, estiveram, respectivamente, ao redor de $62 \text{ J/m}^2.\text{h}$ e 31 dBZ, sendo que tais valores foram verificados logo no início da precipitação.

A evolução dos valores determinados para a energia cinética e para refletividade, no episódio de chuva do dia 16, está apresentada na Figura 1. Observa-se uma simetria entre as distribuições temporais dos parâmetros, calculadas a cada minuto.

A correlação entre os parâmetros E_k e Z , no caso dessa chuva frontal, apresentou pequena dispersão e o coeficiente de correlação obtido foi $R^2 = 0,9854$. A equação da curva de melhor ajuste entre os pares de dados, é:

$$Z = 13,5 E_k^{1,13} \quad (6)$$

As imagens geradas com os dados do radar de tempo de Bauru mostraram que o sistema de precipitação atingiu a região de Botucatu às 16:23 h, tendo permanecido atuando na área até 18:23 h.

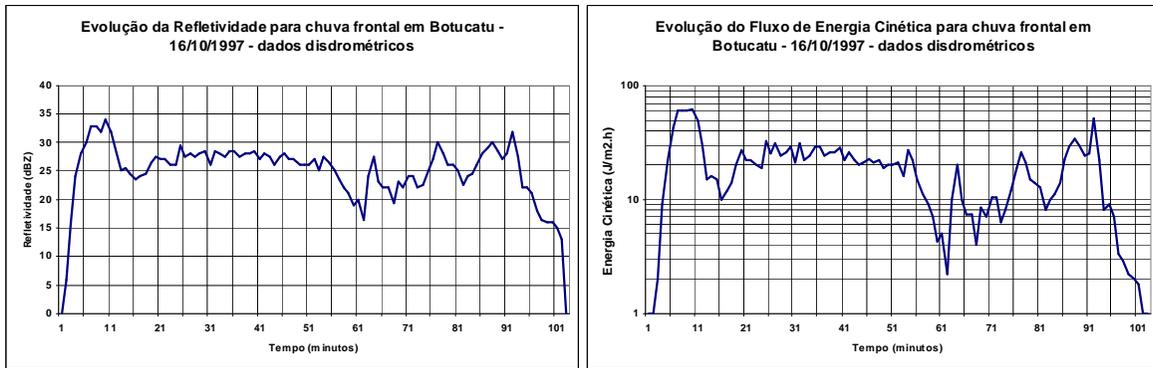


Figura 1. Evolução dos valores de Fluxo de Energia Cinética e Refletividade para a chuva em Botucatu, SP, em 16/10/1997, com dados disdrométricos (resolução de 1 minuto).

3.2. Dia 26 de outubro de 1997

A precipitação do dia 26 de outubro de 1997, foi registrada no solo em Botucatu com início às 10:32 h e término às 13:22 h. No intervalo totalizou 6,3 mm em 170 minutos.

O sistema precipitante também tratava-se de chuva estratiforme associada a uma frente fria que atuava na região, com deslocamento de oeste para leste, sobre o Estado de São Paulo.

Os valores máximos observados de energia cinética e de refletividade da chuva, determinada a cada minuto pela distribuição do tamanho de gotas dados pelo disdrômetro, estiveram, respectivamente, ao redor de $150 \text{ J/m}^2 \cdot \text{h}$ e $36,5 \text{ dBZ}$

A evolução dos valores determinados para a energia cinética e para refletividade, no episódio de chuva do dia 26, está apresentada na Figura 2. Também nesse caso, observa-se uma simetria entre as distribuições temporais dos parâmetros, calculadas a cada minuto.

A correlação determinada entre os parâmetros E_k e Z , apresentou pequena dispersão com $R^2 = 0,9833$. A equação da curva de melhor ajuste obtida entre os pares de dados, é:

$$Z = 20 E_k^{1,05} \quad (7)$$

Os valores de máxima refletividade registrados pelo radar de tempo de Bauru sobre a posição do disdrômetro em Botucatu foram da ordem de $28,8 \text{ dBZ}$.

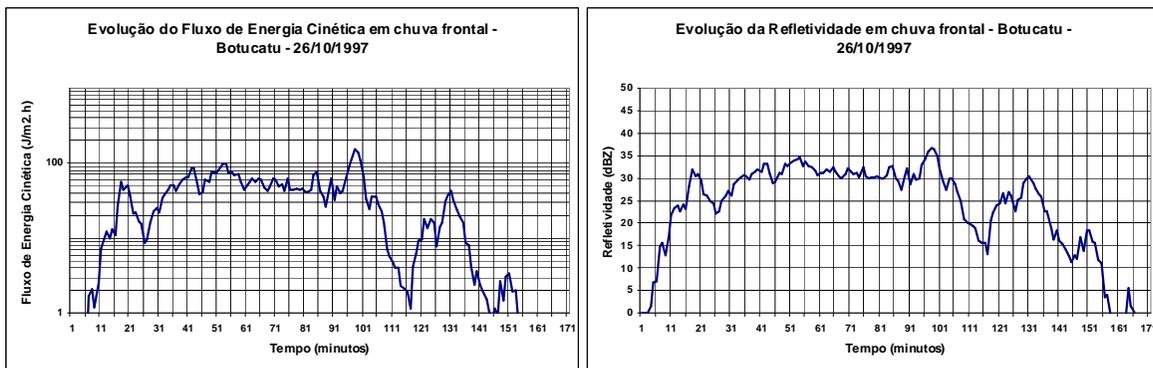


Figura 2. Evolução dos valores de Fluxo de Energia Cinética e Refletividade para a chuva em Botucatu, SP, em 26/10/1997, com dados disdrométricos (resolução de 1 minuto).

3.3. Dia 30 de outubro de 1997

A precipitação do dia 30 de outubro de 1997, selecionada para avaliação, foi registrada em Botucatu com início às 22:02 h e término às 23:48 h.

O sistema precipitante em questão tratava-se de chuva associada a uma área de instabilidade que atuava no Estado, com deslocamento aproximado de noroeste para sudeste.

Os valores máximos observados de energia cinética e de refletividade da chuva, determinada a cada minuto dados pelo disdrômetro, estiveram, respectivamente, ao redor de $650 \text{ J/m}^2 \cdot \text{h}$ e 44 dBZ, verificados logo no início da precipitação.

A evolução dos valores determinados para a energia cinética e para refletividade, no episódio de chuva do dia 30, está apresentada na Figura 3.

A correlação determinada entre os parâmetros E_k e Z , apresentou pequena dispersão com $R^2 = 0,9904$. A equação da curva de melhor ajuste entre os pares de dados, é:

$$Z = 17 E_k^{1,09} \quad (8)$$

Ao longo do dia 30, as informações do radar mostravam a atuação de uma área de instabilidade no Estado de São Paulo com sistemas precipitantes, de início com características convectivas, e depois estratiformes, que se deslocavam no sentido aproximado de noroeste para sudeste. Esses sistemas iniciais se caracterizavam por apresentarem núcleos de refletividades bastante altos, superando os 50 dBZ.

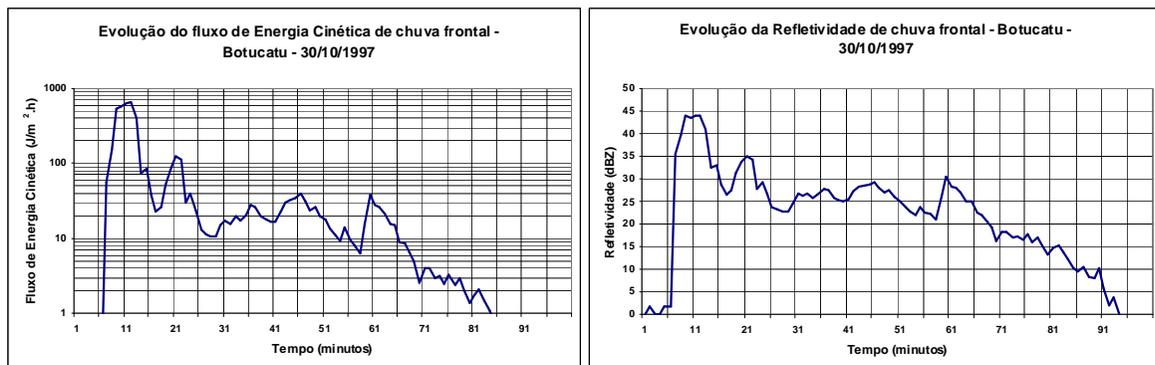


Figura 3. Evolução dos valores de Fluxo de Energia Cinética e Refletividade para a chuva em Botucatu, SP, em 30/10/1997, com disdrométricos (resolução de 1 minuto).

3.4. Energia Cinética Determinada por Radar

Tomando-se conjuntamente os valores derivados dos dados de disdrômetro dos três sistemas de precipitação observados em 16, 26 e 30 de outubro de 1997, procedeu-se à determinação da equação da curva entre os pares de valores de energia cinética e refletividade, obtidos de cada minuto de registro. A Figura 4 mostra a distribuição de valores encontrados. Com um coeficiente de correlação $R^2 = 0,9844$, obteve-se a curva de melhor ajuste para os pares de dados, derivados de disdrômetro, como sendo:

$$Z = 17,8 E_k^{1,08} \quad (9)$$

Com aplicação da equação (9) encontrada no campo de refletividades do radar em um raio de alcance de 240 km, pode-se obter o Fluxo de Energia Cinética, representando, então, os valores “instantâneos” do campo de Energia Cinética sobre a área.

A Figura 5 apresenta a distribuição do Fluxo de Energia Cinética do campo de chuvas dos dias 16 de outubro de 1997, 16:46 h, 26 de outubro, 10:53 h, e 30 de outubro, 22:31 h, para o raio de 240 km. A aplicação da equação de conversão (9), de refletividade do radar em fluxo de energia cinética pode ser efetuado em qualquer dos CAPPiS gerados pelo radar, atualizados a cada 7,5 minutos.

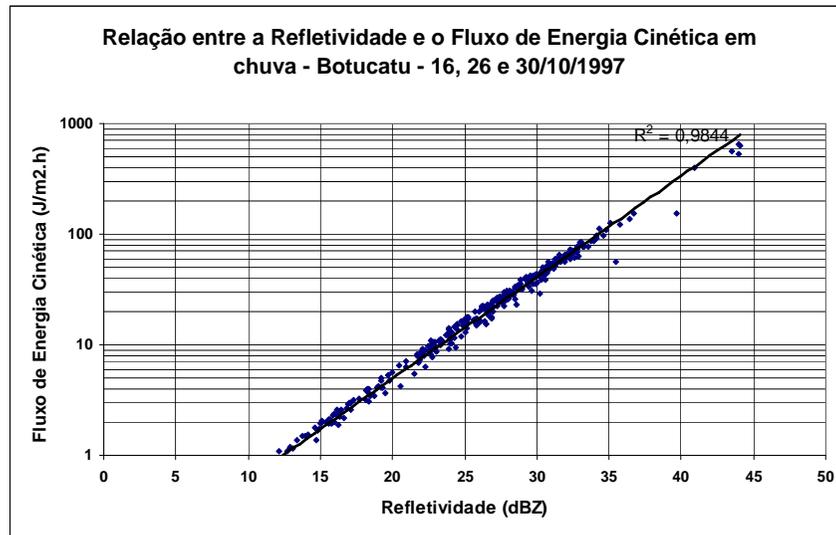


Figura 4. Correlação entre os parâmetros do Fluxo de Energia Cinética versus Refletividade para as chuvas dos dias 16, 26 e 30 de outubro de 1997, a partir dos dados disdrométricos, em Botucatu, SP, com resolução de 1 minuto.

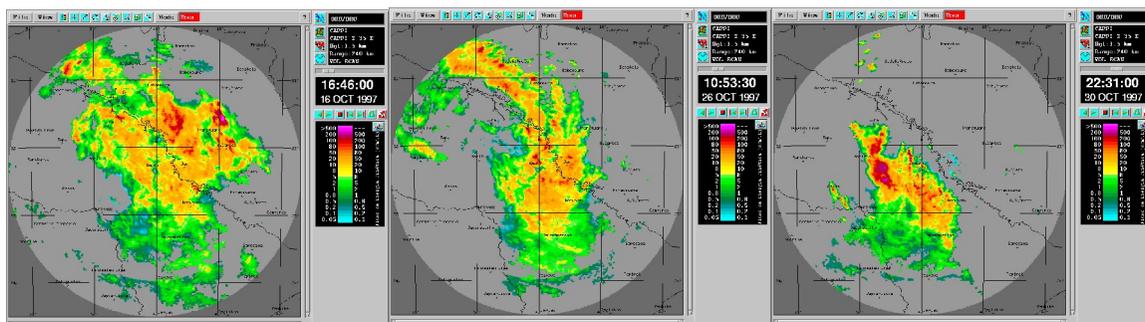


Figura 5. Exemplos do campo do Fluxo de Energia Cinética das chuvas de 16, 26 e 30 de outubro de 1997, dados pelo radar de Bauru, com raio de 240 km, CAPPi de 3,5 km. Valores em $J/m^2.h$. As linhas horizontais e verticais referenciam latitude e longitude. As linhas contínuas indicam as divisas estaduais e, na direção sudeste-noroeste, o Rio Tietê.

A integração temporal dos dados de CAPPi do radar convertidos em fluxo dá, a cada hora inteira, o campo de Energia Cinética da precipitação sobre o alcance quantificado do radar de tempo, de 240 km de raio.

Como exemplo do resultado da integração horária obtida a partir das observações da precipitação com o radar de tempo de Bauru, apresenta-se a Figura 6 com o campo de Energia Cinética (em J/m^2) do dia 30 de outubro de 1997, no período entre 21:00 h e 22:00 h.

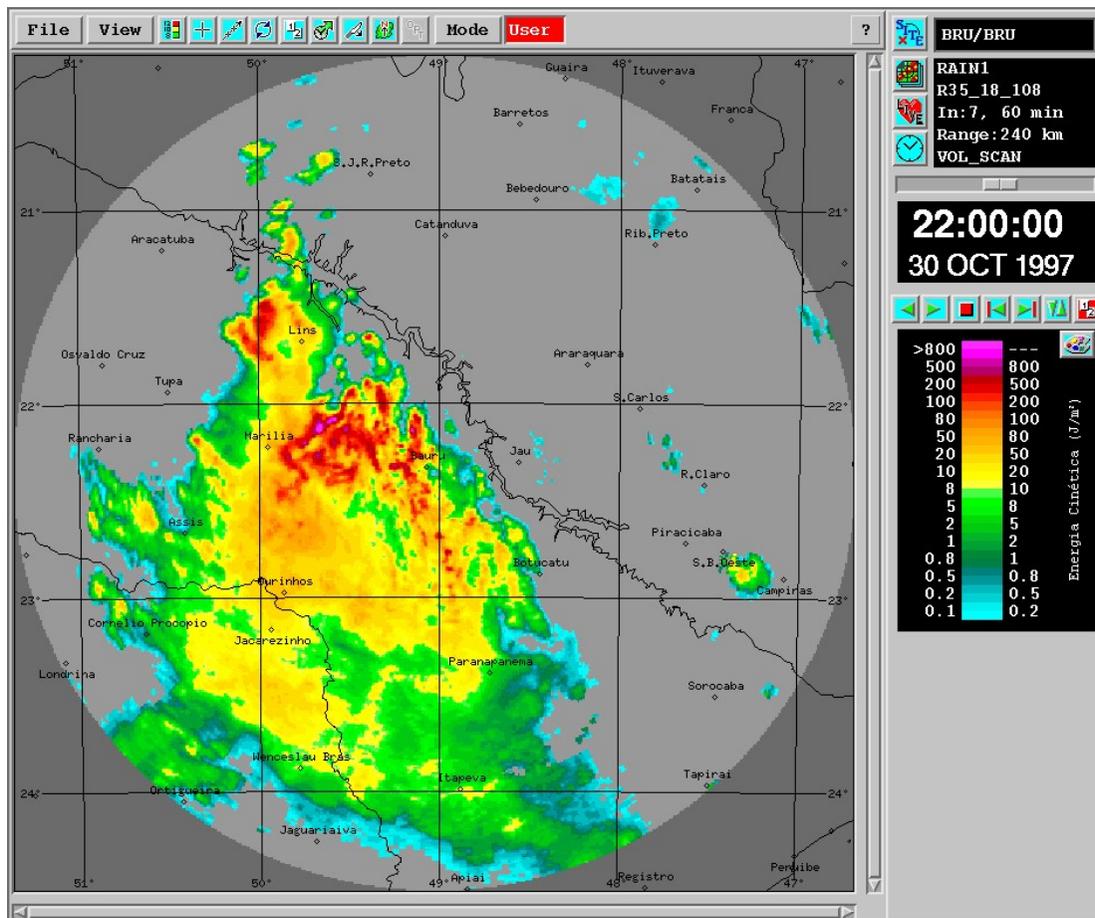


Figura 6. Exemplo do campo integrado do Fluxo de Energia Cinética da precipitação de 30/11/1997, entre 21:00 h e 22:00 h, dado por observações do radar de tempo de Bauru. Energia Cinética expressa em J/m^2 . As linhas horizontais e verticais referenciam latitude e longitude. As linhas contínuas indicam as divisas estaduais e, na direção sudeste-noroeste da imagem, o Rio Tietê.

4. Conclusões

Considerando-se que no processo de erosão do solo, o desprendimento das partículas do solo se dá principalmente pela ação do impacto das gotas de chuva na superfície de um solo descoberto, é importante conhecer o valor do fluxo de energia cinética da precipitação ocorrendo na área sob observação. Quando se determina a energia cinética a partir da intensidade da precipitação medida na superfície por pluviômetros, não se garante o valor da energia cinética obtida uma vez que, tanto a intensidade da chuva como a energia cinética, são dependentes diretamente da distribuição do tamanho das gotas, o que por sua vez é também determinante do fator de refletividade do radar. Entretanto, as medidas do pluviômetro e do disdrômetro são pontuais.

Somente os radares de tempo apresentam, detalhadamente, a descrição do campo de precipitação sobre uma área, o que permite, então, a determinação do campo de energia cinética das chuvas sobre extensas regiões, como nestes casos usando o radar de Bauru, com resolução de 1 km^2 .

A partir do conhecimento do campo “instantâneo” de energia cinética das chuvas, e sabendo os tipos de solos de áreas de interesse, é possível estabelecer o potencial erosivo de

uma precipitação que se aproxima e dessa maneira, permitir o estabelecimento de ações de prevenção e minimização ao efeito de erosão que a precipitação apresenta.

Também a disponibilidade do campo de energia cinética das precipitações sobre extensas áreas, a cada hora, cobrindo o raio de 240 km do radar, abre a possibilidade de se estender a avaliação dos efeitos das precipitações.

Para estabelecimento de valores estatisticamente representativos das relações entre energia cinética e refletividade, devem ser tomados episódios de precipitação por disdrômetro de descrevam os diferentes tipos de precipitação, relacionados às diferentes estações do ano, uma vez que as distribuições do tamanho de gotas, variam sazonalmente com os diferentes tipos de precipitação.

Agradecimentos

O autor reconhece o trabalho de recuperação de dados do radar desenvolvido pela Técnica Geórgia Pellegrina, e o suporte do Analista Carlos Alberto de A. Antonio no tratamento das imagens de radar.

Referências Bibliográficas

Antonio, M.de A. **Técnica de ajuste em tempo real de medidas de chuva com radar**. 1998. Botucatu. 156 p. Tese (Doutoramento em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1988.

Antonio, M. de A. Radar de tempo como estimador da energia cinética da precipitação em São Paulo: estudo de casos com medidas disdrométricas. In: Simpósio Brasileiro de Controle de Erosão (SBCE), 8., 2008, São Paulo. Submetido.

Distromet Ltd. **User's Guide for DISTRODATA**. Genebra. 2004, 18p.

Gunn, R., Kinzer, G. D. The Terminal Velocity of Fall for Droplets in Stagnant Air. **Journal of Meteorology**, v. 6, p. 243-248, 1949.

Hudson, N. W. **Soil Conservation**. Ithaca: Cornell University Press. 320 p.

Joss, J., Waldvogel A. Ein Spektrograph fuer Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. **Pure and Applied Geophysics**, v. 68, p. 240-246, 1967.

Lal, R. Erodibility and Erosivity. In: Lal, R. **Soil erosion research methods**. Ankeny: SWCS, 1988. p. 141-160.

Morgan, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation**. New York: Longman Scientific & Technical, 298 p., 1986.

Zawadzki, I., Agostinho Antonio, M. de. Equilibrium raindrop size distributions in tropical rain. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 45, p. 3452-3459, 1988.