

ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA APLICADA À CHUVA, MEDIDA POR RADAR METEOROLÓGICO, NAS REGIÕES DE ASSIS E PIRACICABA, SP

Zildene Pedrosa de Oliveira EMIDIO ¹ & Paulo Milton Barbosa LANDIM ²

- (1) Instituto de Pesquisas Meteorológica (IPMet), Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus de Bauru. Avenida Luis Edmundo Carrijo Coube, 14-01 – Vargem Limpa. CEP 17033-360. Bauru, SP. Endereço eletrônico: pedrosa@ipmet.unesp.br
(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 151 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: plandim@rc.unesp.br

Introdução
Áreas de Estudo
Metodologia
Resultados e Discussão
Conclusão
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho apresenta os resultados obtidos através da aplicação da técnica de análise de superfície de tendência com regressão polinomial de primeiro grau (superfície linear), cujo objetivo foi detectar as anomalias na distribuição da chuva medida pelo radar meteorológico Doppler, banda S, localizado em Bauru, no período de 21 de outubro de 2004 a 29 de abril de 2005 (dividido em períodos decendiais) através do mapeamento e identificação dos resíduos positivos e negativos nas áreas de estudo, quadrículas de Assis e Piracicaba. Foram testadas três relações Z-R do radar para quantificação da chuva em área pelo radar e a equação específica escolhida foi a $Z = 32R^{1,65}$. Pelos resultados encontrados, conclui-se que a metodologia aplicada indicou a distribuição espacial da chuva acumulada pelo radar, identificando e localizando as regiões onde houve excesso e falta de chuva durante cada período analisado, possibilitando desta forma, um indicativo das áreas onde houve maior impacto pluvial e conseqüentemente mais propícias a danos ambientais.

Palavras-chave: análise de superfície de tendência, radar meteorológico, relação Z-R, chuva.

ABSTRACT – Z.P. de O. Emidio & P.M.B. Landim - Trend surface analysis applied to rainfall, measured by meteorological radar in the regions of Assis and Piracicaba, SP. This paper presents the results from lineal trend surface analysis technique application. The purpose was to detect positive and negative anomalies in the rain measure distribution obtained by the meteorological radar Doppler, band S, located in Bauru, during the period of 21 of October/2004 to 29 of April/2005 in the areas of Assis and Piracicaba. Using three Z-R radar relations for rain quantification was chosen the specific equation $Z = 32R^{1,65}$, as the best one. The results showed that the applied methodology was able to indicate the space distribution of the rain accumulated, identifying and locating the regions where there was rainy excess and rainy lack during each analyzed period. Such results indicate areas with larger pluvial impact and consequently more favorable for environmental damages.

Keywords: Trend surface analysis, weather radar, Z-R relation, rain.

INTRODUÇÃO

A análise de superfície de tendência (*Trend Surface Analysis*) é um método de interpolação que permite, a partir dos dados georreferenciados originais, tanto a obtenção de um mapa mostrando a tendência regional, como um mapa com as flutuações locais, representadas pelos valores residuais.

Superfícies de tendência podem ser usadas para interpolar valores, extrapolar a seqüência de dados, inferir sobre a presença de tendências ou estimar características de interesse sobre os dados (Vieira, 1998). Dependendo do número de dados disponíveis, podem ser calculadas superfícies de qualquer dimensão.

Segundo Landim & Corsi (2001) a análise da superfície de tendência é um método pelo qual uma

superfície teórica contínua é ajustada por critérios de regressão por mínimos quadrados, aos valores da variável dependente Z_i , tendo como variáveis independentes as coordenadas Norte-Sul (Y) e Leste-Oeste (X). Para a aplicação desta técnica, a equação matemática utilizada para o ajuste da superfície, baseia-se nos polinômios não-ortogonais, sendo o ajuste incrementado pela adição de termos adicionais à equação polinomial.

Neste trabalho a variável Z_i , de interesse, é a precipitação, ou seja, a chuva medida pelo radar meteorológico Doppler, banda S, localizado em Bauru/SP e operado pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas - IPMet da UNESP.

O estudo da distribuição das precipitações é muito importante, tendo em vista que os padrões e regimes da precipitação determinam o clima, a produtividade e desenvolvimento de uma região, assegurada aos setores econômicos da agricultura, indústria, turismo, comércio, energia, transportes e etc.

A precipitação em forma de chuva é normalmente coletada através de pluviômetros e a sua determinação sobre uma área é normalmente um dos parâmetros mais variáveis e os mecanismos pelos quais a chuva num ponto pode ser convertida em chuva em área tem sido discutidos em diversos estudos, Pluviômetro mede a água efetivamente precipitada que ocorre exatamente sobre o equipamento. O radar mede a água potencialmente precipitável.

Várias metodologias existem para quantificação da chuva, embora possam divergir em suas medidas, pois elas podem representar a chuva medida apenas em um ponto ou em uma área. O pluviômetro mede a chuva em um ponto, o radar em uma área. Através do radar meteorológico é possível quantificar a precipi-

tação de forma quase contínua, tanto no tempo (por exemplo, a cada 5 minutos) quanto no espaço (por exemplo, a cada 500 m) (Pessoa, 2000).

A importância da aplicação da tecnologia de radar meteorológico para medição da precipitação atmosférica consiste, principalmente, no refinamento dado às informações da chuva ocorrida em uma área, onde as medidas são feitas com alta resolução espacial e temporal e em tempo real.

Neste contexto, foi aplicada a técnica de análise de superfície de tendência com regressão polinomial de primeiro grau (superfície linear) com o objetivo de detectar as anomalias na distribuição da chuva medida pelo radar meteorológico, no período de 21 de outubro de 2004 a 29 de abril de 2005, que abrange a estação chuvosa no Estado de São Paulo. Isso foi possível pelo mapeamento e identificação dos resíduos positivos (excesso de chuva) e negativos (falta de chuva) nas áreas de estudo, ou seja, as regiões de Piracicaba e Assis, as quais foram submetidas a diferentes impactos pluviais.

ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo abrangem as regiões de Piracicaba e Assis, que foram delimitadas através das Cartas Pedológicas Semidetalhadas do Estado de São Paulo elaboradas no Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, correspondentes às quadrículas de Piracicaba e Assis, na forma de quadrículas 30' x 30' de latitude e longitude, na escala de 1:100.000, com dimensões de 50 km x 50 km.

As coordenadas das quadrículas foram ajustadas à grade do radar meteorológico Doppler, localizado no

IPMet em Bauru/SP (Lat 22°21'28" S e Lon 49°01'36" W, altitude de 620 m) e correspondem: Assis (a) 22°30' S, 50°29' W; (b) 22°30' S, 49°59' W; (c) 22°57' S, 50°28' W e (d) 22°57' S, 49°59' W; Piracicaba (a) 22°30' S, 48°00' W; (b) 22°29' S, 47°30' W; (c) 22°57' S, 47°29' W e (d) 22°57' S, 47°59' W. A Figura 1 mostra que à distância em linha reta do radar de Bauru para Assis (centro da quadrícula), fica em torno de 124,17 km, e que para Piracicaba, fica um pouco maior, em torno de 161,07 km.

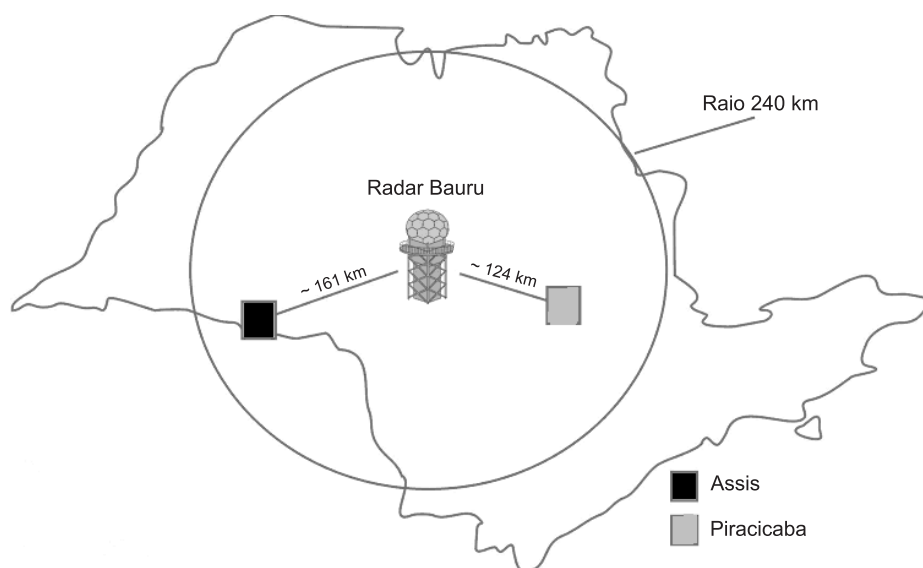


FIGURA 1. Representação do radar e das áreas de estudo.

METODOLOGIA

O radar meteorológico é um instrumento que emite para atmosfera impulsos de energia eletromagnética muito breves (na ordem dos micro-segundos) em comprimentos de onda localizados na região de micro-ondas, possuindo forte potência.

As imagens geradas pelo radar Doppler, banda S, amostram as precipitações num raio de 240 km, executando um ciclo de varreduras de 360°, com várias elevações da antena.

Normalmente, essa amostragem ocorre em intervalos de 15 minutos, gerando a quantificação da chuva em áreas de 1 km² num plano de altura constante acima da superfície terrestre, chamado CAPPI (*Constant Altitude Plan-Position Indicator*). Para condições de tempo severo, sujeito a chuvas com extrema intensidade (tempestades), o tempo de amostragem é reduzido para cada 7,5 minutos.

Neste trabalho foram totalizados cerca de 20.000 arquivos de imagens geradas pelo radar de Bauru, através do produto CAPPI, com altura de 3,5 km e amostradas pelo radar a cada 7,5 ou 15 minutos, durante o período de estudo (21 de outubro de 2004 a 29 de abril de 2005). Em seqüência, foi utilizado um programa computacional que extraía dos arquivos de CAPPI, apenas as informações do radar das áreas delimitadas pelas quadriculas de Assis e Piracicaba e convertia a refletividade da chuva nessas áreas, para taxa de precipitação ou intensidade de chuva através das equações Z-R do radar.

O processo de medida de chuva mostra que a partir do espectro de gotas em sistemas de precipitação, tem-se adotado uma relação empírica entre o fator de refletividade do radar (Z) e a intensidade (ou taxa) de precipitação (R). Esta relação é expressa pela equação (1):

$$Z = aR^b \quad (1)$$

onde, Z é o fator de refletividade do radar, R é a taxa de precipitação (mm/h) e, a e b são constantes estimadas. Z é comumente expresso em mm⁶/m³ ou em decibéis (dBZ), sendo:

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \log Z(\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}) \quad (2)$$

Portanto, é conveniente expressar, que a refletividade Z em decibéis é dez vezes o logaritmo na base 10, e assim uma refletividade de 10⁵ mm⁶ m⁻³ se torna 50 dBZ.

Os valores de a e b calculados de Z e R, variam significativamente, pois dependem da origem e tipo das precipitações, da distribuição as gotas de chuva e seu tamanho, localização geográfica, condições meteorológicas etc.

Não existe nenhuma relação Z-R universal, entretanto a relação Z-R mais comumente conhecida e mais utilizada, inclusive pelo radar de Bauru, é a relação Z-R de Marshall & Palmer (1948).

Existem várias relações Z-R experimentais na literatura, com grande variabilidade nos coeficientes a e b, a qual foi decorrente da variação da distribuição do tamanho da gota, para cada tipo de precipitação e localidade, observando que para processos convectivos mais intensos, o valor de a aumenta e o valor de b diminui.

Para determinar a chuva média em área com o radar, foram utilizadas como teste as seguintes equações Z-R:

$$\text{Eq. de Marshall-Palmer} \rightarrow Z = 200R^{1,6} \quad (3)$$

$$\text{Eq. de Jones} \rightarrow Z = 486R^{1,37} \quad (4)$$

$$\text{Eq. de Calheiros (RVC)} \rightarrow Z = 32R^{1,65} \quad (5)$$

A equação de Marshall-Palmer (1948) foi usada primeiramente junto com a equação de Jones (1956), tendo em vista que a equação de Jones é aplicada para chuvas convectivas e foi utilizada para a acumulação da chuva no horário das 15:00h às 18:00h, e a de Marshall-Palmer para chuvas estratiformes, nos demais horários do dia. Em segundo, aplicou-se a equação de Marshall-Palmer e por último, a equação de Calheiros, denominada de RVC*. Estas duas últimas relações foram aplicadas para todos os tipos de chuva e em todos os horários (*comunicação pessoal, 2007).

Para quantificação da chuva, foi utilizado um novo programa que permitiu que as chuvas fossem integradas em períodos decenais, totalizando 19 períodos, sobre pixels do radar, com resolução de 1 km x 1 km. O programa flexibilizou a escolha do período a ser contabilizado, através da entrada da data e horário de início e término do período de acumulação da chuva, o qual teve padronizado em dois caracteres o ano, mês, dia e hora (aammddhh).

Foram geradas matrizes de chuva média com radar (grades: 51 x 51 pixels) com 2.601 pixels, para cada área (Assis e Piracicaba) e cada período decenal. Após foi aplicada a técnica da análise superfície de tendência (*Trend Surface Analysis*) através da regressão polinomial de primeiro grau (superfície linear), na avaliação das três variáveis: coordenadas geográficas (X e Y) e chuva do radar (Z*). A equação utilizada foi a seguinte:

$$Z^* = a + bXi + cYi \quad (6)$$

Os valores com os desvios do ponto em relação à superfície calculada foram encontrados pela variável

dependente (Z^*) em relação ao valor predito (Z^*i) indicado através da linha de regressão de acordo com a seguinte equação:

$$\lambda_{ii} = (Z^* - Z^*i) \quad (7)$$

Para a confecção das superfícies de tendência e dos respectivos mapas de resíduos, utilizou-se o

programa SURFER[®], versão 7, que dispõe de diversos métodos para a interpolação de dados, entre eles, o da Mínima Curvatura que foi utilizado na confecção do mapa de valores residuais. É considerado como é um método suavizador (spline) que fornece resultado gráfico razoável para uma rápida avaliação do comportamento espacial da variável (Landim et al., 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais obtidos da quantificação da chuva média em área pelo radar meteorológico de Bauru, utilizando as três equações Z-R citadas para cada período decendial nas áreas de Assis e Piracicaba são apresentados na Tabela 1. Também foi acrescentado o total médio da chuva obtida em postos pluviométricos pertencentes aos municípios localizados dentro e nas proximidades da limitação da área de cada quadrícula, durante todo o intervalo de análise.

A chuva coletada pelos pluviômetros, assim como a do radar, foi medida diariamente e acumulada a cada 10 dias. Como foram utilizados dados de 9 pluviômetros para a quadrícula de Assis e de 11 para a quadrícula de Piracicaba, estimou-se a chuva média em cada área, pelo método dos polígonos de Thiessen (Figura 2).

De acordo com os dados dos pluviômetros (Thiessen) apresentados na Tabela 1 durante todo o intervalo de análise, o período 10° foi o mais chuvoso e o mais seco foi o período 14°, nas duas áreas.

No processo de quantificação da chuva média em área com o radar, a utilização de três equações Z-R permitiu a comparação dos respectivos resultados aos obtidos pelos pluviômetros, pelo método de Thiessen, nas duas áreas de estudo. Desse modo, foi possível determinar a equação que melhor representou a distribuição das chuvas no raio da pesquisa e que foi utilizada para a análise de superfície de tendência.

Pelos resultados, observou-se que quando comparada à chuva quantificada pelo método de Thiessen com chuva quantificada pelo radar para cada equação Z-R, a equação RCV é que apresentou melhores resultados em ambas regiões.

Os totais obtidos pelas equações de MP&J e MP ficaram muito abaixo aos obtidos por Thiessen e pela equação RVC em todos os períodos decendiais, apresentando desvios maiores que 100% em vários períodos. Nota-se ainda, que ocorreu uma subestimação da chuva em períodos mais chuvosos e superestimação em períodos mais secos pelas equações, mas a RVC, os totais foram mais próximos aos computados pelo método de Thiessen.

A Figura 3A e B, representa a curva de massa da chuva que foi traçada com os valores da chuva obtida

pelos três equações do radar e pelo método de Thiessen. Considerou-se a relação mais representativa, aquela equação que apresentasse a curva mais próxima à obtida pelos dados dos pluviômetros (método de Thiessen), admitindo-se estes como “verdade terrestre”, embora seja sabido que em geral isto não acontece, pois pluviômetros assim como o radar, também apresentam erros de medição, porém em menor escala que o radar.

A curva da relação RVC mais uma vez foi a mais próxima, acompanhando a tendência da curva de Thiessen praticamente em todos os períodos, exceto no período 5° para os dados de Piracicaba. Nas duas outras equações (MP&J e MP), as curvas ficaram muito abaixo, mostrando um significativo desvio com relação à chuva acumula por Thiessen em todo o intervalo analisado, conforme já havia sido detectado nos resultados anteriores.

A necessidade da escolha de uma equação Z-R para representar a distribuição das chuvas no raio da pesquisa, foi sentida inicialmente nos primeiros resultados obtidos pela relação de Marshall-Palmer & Jones que indicaram uma forte subestimação da chuva comparada com o pluviômetro (Emídio & Antonio, 2007). Tal fato confirmou a importância de se dispor de uma equação Z-R específica que incorpora o efeito da distância ao radar e outras características, como a estação do ano ou o período do dia, entre outras, para a adequada representação do campo espacial de chuva por radar (Calheiros & Zawadzki, 1987; Antonio & Andrade, 2007).

Entre os aspectos de erros inseridos as medidas com radar, sabe-se que a relação Z-R será mais representativa com relação à chuva que cai sobre uma área, quanto mais densa for a rede de pluviômetros na mesma. Além disso, outro aspecto refere-se à distância chuva-radar, pois por melhor que seja a relação determinada com base em um posto meteorológico, à medida que se vai distanciando desse posto, a precisão da relação Z-R diminui (Huff, 1966).

O programa estatístico XLSTAT 2008.3 foi utilizado para avaliar cada equação Z-R e a análise se deu através do cálculo de valores médios, desvio padrão

e coeficientes de correlação de Pearson (R) e de determinação (R²).

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2A e 2B, Figuras 4 (a, b, c) e 5 (a, b, c), onde nota-se um alto desvio padrão para o Thiessen nas duas áreas. As relações entre o método de Thiessen e as equações analisadas, em ambas as áreas, apresentaram resultados muito similares, tendo o R para Thiessen x RVC o maior valor absoluto, com coeficientes em torno de 70% para

Assis e em torno de 60% para Piracicaba.

Com os dados de chuva contabilizados pelo radar através da equação RVC, foi realizada a análise de superfície de tendência por regressão polinomial de 1º grau da variável, com os dados espacializados em um modelo de grade de 51 x 51, totalizando 2.601 pontos. Os mapas dos respectivos resíduos (resultado da diferença da regressão polinomial e os valores medidos) foram interpolados pelo método da mínima curvatura.

TABELA 1. Chuva média acumulada (mm/periodo) por Thiessen e pelas equações de Z-R; MP&J (Marshall-Palmer & Jones); MP (Marshall-Palmer) e RVC (Calheiros) nos 19 períodos decendiais para as áreas das quadrículas de Assis e Piracicaba.

Períodos	ASSIS				PIRACICABA			
	THIESSEN	MP&J	MP	RVC	THIESSEN	MP&J	MP	RVC
1º	86.8	22.7	23.7	70.8	35.7	10.5	12	36.2
2º	41.9	8.5	20.5	28.2	14.5	6.3	6.8	19.9
3º	104.1	23.5	24.9	74.3	98.2	20.6	24.2	73
4º	32.8	8.4	9.6	28.6	26.8	11.7	13.8	40.8
5º	58.7	27.7	30.2	88.6	19.4	21.6	25.1	73.3
6º	11.9	9.5	10.4	30.5	28.5	14.9	17	50
7º	90.8	30.6	33.1	98.1	93.8	32.5	37.1	106.1
8º	82.8	23.1	26.7	79.3	86.0	34.2	38.2	113.7
9º	131.5	22.6	25.3	74.4	66.9	16.3	18.6	55.1
10º	213.3	38.7	44.4	132.6	107.9	29.4	31.9	94
11º	47.6	8.1	10.2	30.6	77.5	15.3	17.3	51.5
12º	0.2	0.6	0.7	2.2	2.4	3.7	4	11.9
13º	23.7	19.3	23.2	68.3	32.7	25.7	28.3	83.7
14º	0.9	2.8	3.2	9.3	0.1	1.2	1.3	3.7
15º	63.8	19.8	22.3	65.8	70.7	28.3	30.7	92.4
16º	53.2	16.3	17.3	51.1	71.0	22	25.4	75.6
17º	12.7	7.3	9	26.7	31.0	12.5	15.4	45.1
18º	8.6	3.4	4.2	13.5	1.7	3.6	5.9	7.9
19º	27.4	18.8	19.5	57.3	12.7	13.3	13.5	40.7

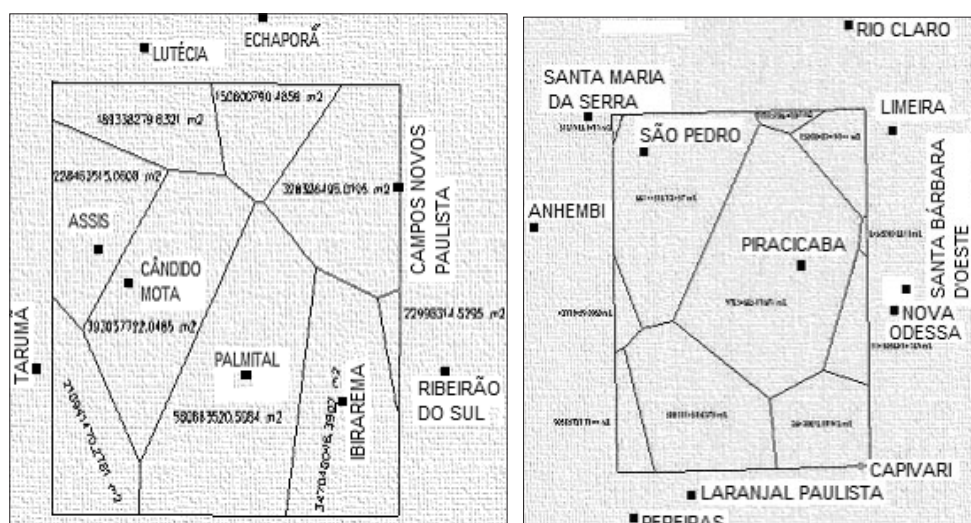


FIGURA 2. Traçado dos polígonos de Thiessen nas regiões das quadrículas de Assis (a) e Piracicaba (b), para determinação das áreas de influências dos pluviômetros.

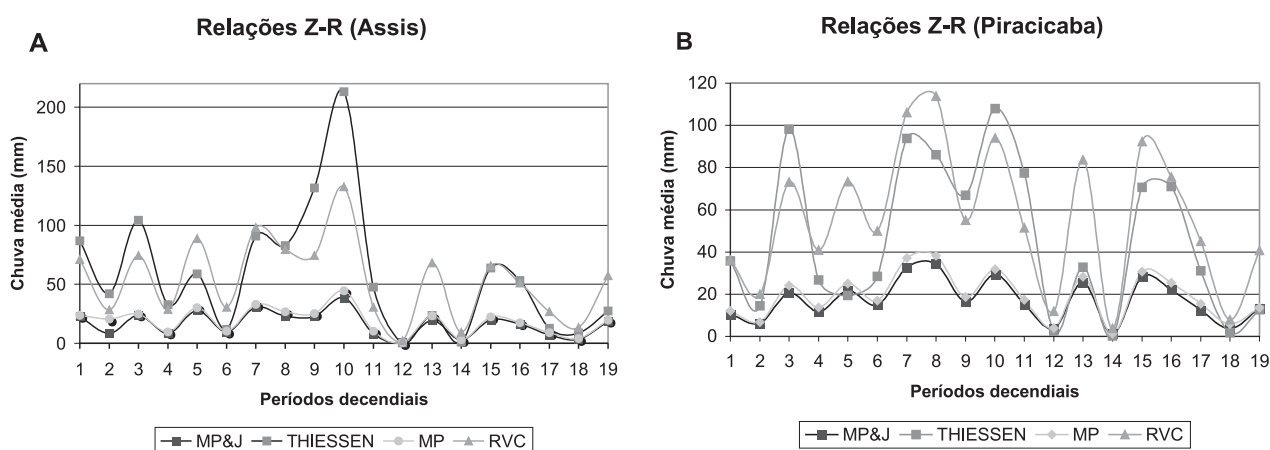


FIGURA 3. A. Curva da chuva média em área/periodo: Thiessen X equações Z-R, na região de Assis. B. Curva da chuva média em área/periodo: Thiessen X equações Z-R, na região de Piracicaba.

TABELA 2 A. Análise estatística entre o método de Thiessen e as equações Z-R, para Assis.

Variável	Observações	Observ. com dados faltantes	Observ. sem dados faltantes	Mínimos	Máximos	Média	Desvio Padrão
MP&J	19	0	19	0.60	38.70	16.41	10.42
THIESSEN	19	0	19	0.20	213.30	57.51	53.00
MP	19	0	19	0.70	44.40	18.86	11.31
RVC	19	0	19	2.20	132.60	54.22	34.08

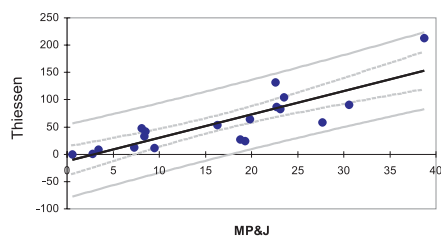
Matriz de Coeficiente de Correlação de Pearson (R)				
	MP&J	THIESSEN	MP	RVC
MP&J	1	0.84	0.97	1.00
THIESSEN	0.84	1	0.85	0.86
MP	0.97	0.85	1	0.98
RVC	1.00	0.86	0.98	1

TABELA 2 B. Análise estatística entre o método de Thiessen e as equações Z-R, para Piracicaba.

Variável	Observações	Observ. com dados faltantes	Observ. sem dados faltantes	Mínimos	Máximos	Média	Desvio Padrão
MP&J	19	0	19	1.20	34.20	17.03	9.96
THIESSEN	19	0	19	0.10	107.90	46.18	35.80
MP	19	0	19	1.30	38.20	19.29	10.99
RVC	19	0	19	3.70	113.70	56.56	33.06

Matriz de Coeficiente de Correlação de Pearson (R)				
	MP&J	THIESSEN	MP	RVC
MP&J	1	0.80	1.00	1.00
THIESSEN	0.80	1	0.80	0.81
MP	1.00	0.80	1	1.00
RVC	1.00	0.81	1.00	1

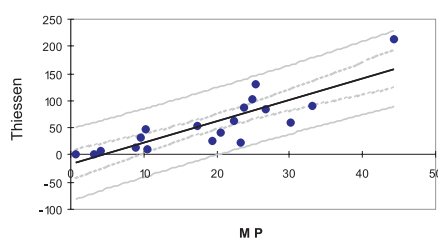
Regressão de THIESEN por MP&J
(R²=0,713)



● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -2,908+4,292*MP&J
(a)

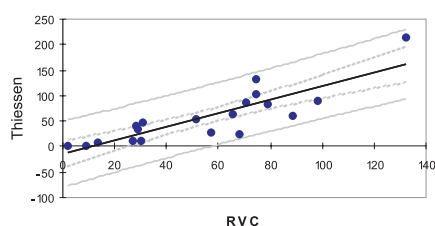
Regressão de THIESEN por MP
(R²=0,725)



● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -17,769+3,990*MP
(b)

Regressão de THIESEN por RVC
(R²=0,735)

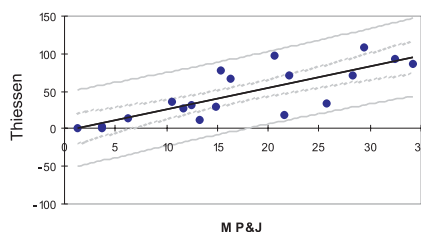


● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -14,790+1,333*RVC
(c)

FIGURA 4. (a) Relação do método de Thiessen com MP&J; (b) Thiessen com MP; (c) Thiessen com RVC, para Assis.

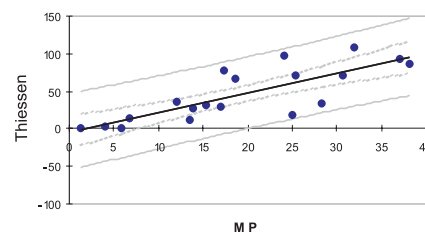
Regressão de THIESEN por MP&J
(R²=0,635)



● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -2,612+2,865*MP&J
(a)

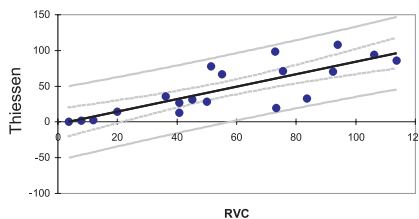
Regressão de THIESEN por MP
(R²=0,643)



● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -4,182+2,6111198*MP
(b)

Regressão de THIESEN por RVC
(R²=0,652)



● Ativas — Modelo
- - - Int. de conf. (Média 95%) — Int. de conf. (Obs. 95%)

Thiessen = -3,282+0,874*RVC
(c)

FIGURA 5. (a) Relação do método de Thiessen com MP&J; (b) Thiessen com MP; (c) Thiessen com RVC, para Piracicaba

Os resultados encontrados nas análises efetuadas para as duas áreas de estudo (quadrícula de Assis e quadrícula de Piracicaba) foram efetuados nos 19 períodos decendiais, mas são apresentados apenas três períodos representativos de todo o intervalo de análise: período 10°, considerado como período mais chuvoso de todo intervalo; período 14, considerado como o período mais seco e período 1°, onde os totais de chuva obtidos pelo pluviômetro e pelo radar- RVC, foram bastante semelhantes.

Os resultados são apresentados em seqüência, iniciando pela região da quadrícula de Assis (Figuras 6a a 8b) e prosseguindo com a região da quadrícula de Piracicaba (Figuras 9a a 11b).

Através das análises em cada área, verificou-se que existe uma grande variação nos resultados obtidos, principalmente na questão dos resíduos, a qual se dá em função da própria variabilidade espacial e temporal que ocorre na distribuição da chuva. Na escala correspondente, os resíduos positivos (indicando excesso de chuva) estão ilustrados em tons mais claros e os negativos (indicando a falta de chuva) em tons mais escuros, sendo separados pela linha esbranquiçada que representa os valores iguais a zero.

- 1° período (21/10 a 31/10/04) – Na Figura 6a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva estão na direção SW (sudoeste) da quadrícula; na Figura 6b, os resíduos positivos concentram-se numa faixa orientada de W (oeste) a E (leste) e na porção NW (noroeste), observando que nestas regiões ocorreram maior quantidade de chuva durante o período analisado nos municípios localizados nas mesmas. No restante da área da quadrícula, os resíduos são negativos,

indicando a ausência de chuva.

- 10° período (19/01 a 29/01/05) – Na Figura 7a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva estão na direção SE da quadrícula; na Figura 7b, os resíduos positivos com concentração de núcleos de chuvas mais elevados nas porções NW e E. Os resíduos negativos estão no restante da quadrícula.
- 14° período (28/02 a 10/03/05) – Na Figura 8a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva estão na direção NW quadrícula; na Figura 8b, os resíduos positivos estão concentrados na porção SW, onde localizam-se os núcleos mais intensos. No restante da área, os resíduos são negativos.
- 1° período (21/10 a 31/10/04) – Na Figura 9a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva ocorrem na direção NW da quadrícula; na Figura 9b, os resíduos positivos concentram-se entre as porções W, NE e E da quadrícula. No restante da quadrícula, os resíduos são negativos.
- 10° período (19/01 a 29/01/05) – Na Figura 10a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva estão na direção SW da quadrícula; na Figura 10b, os resíduos positivos concentram-se nas porções NW, N e NE. Os resíduos negativos estão mais significativos nas porções NW e SW.
- 14° período (28/02 a 10/03/05) – Na Figura 11a, a distribuição da chuva e o sentido dos maiores totais de chuva estão na direção SW da quadrícula; na Figura 11b, os resíduos positivos estende-se desde a porção SW a NE e também, a porção E. No restante da área, os resíduos são negativos.

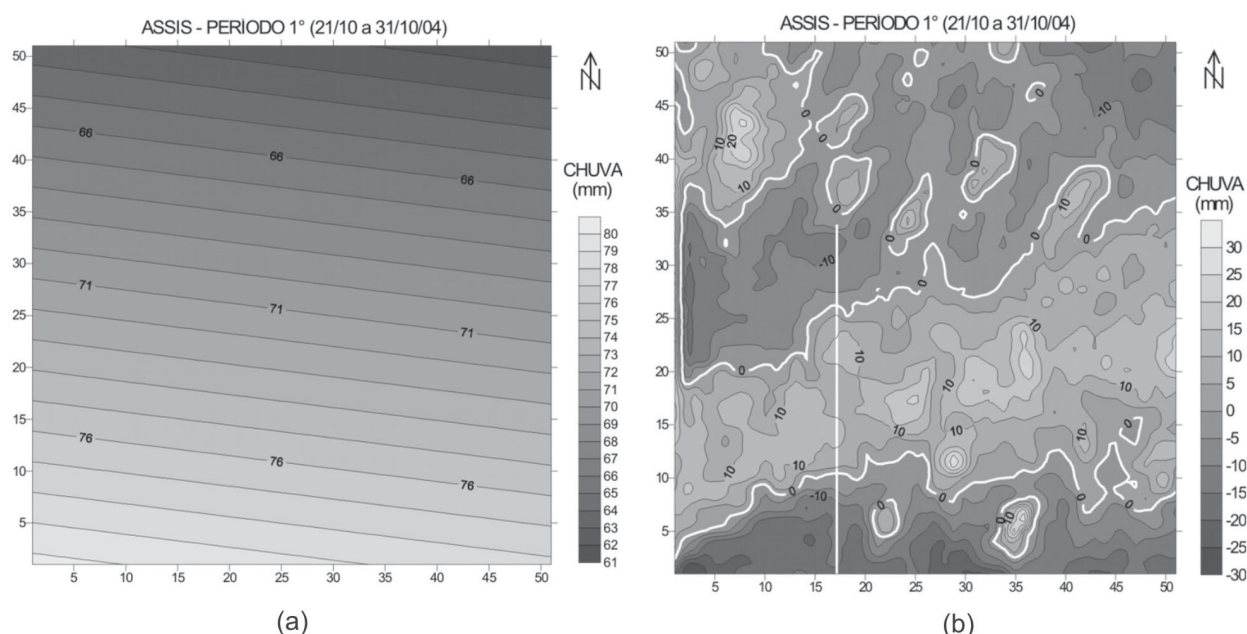


FIGURA 6. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

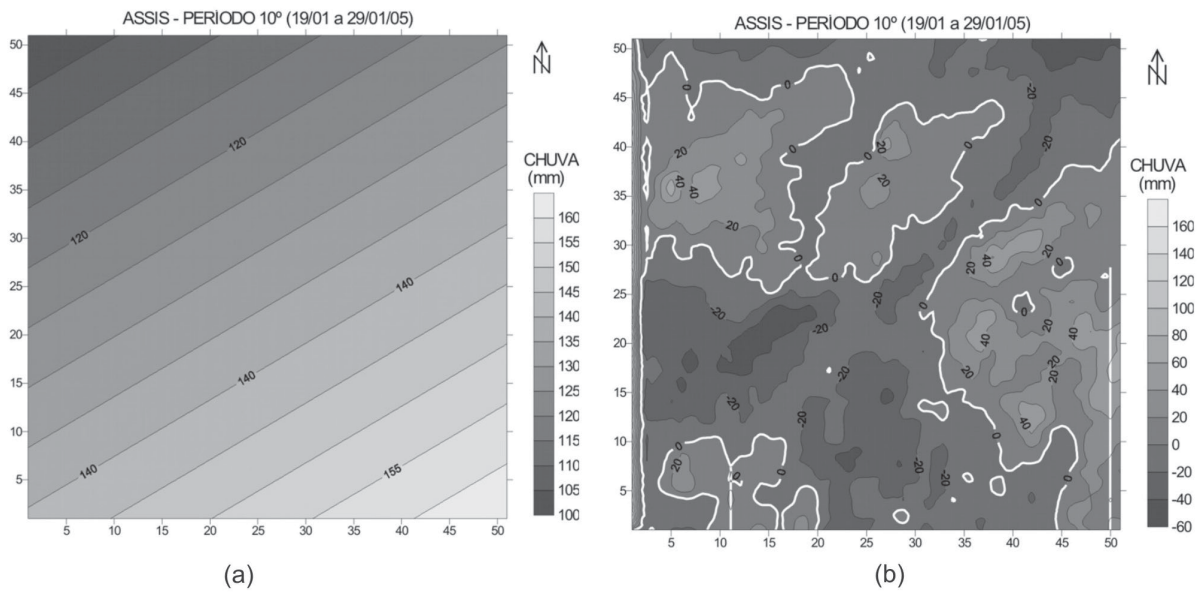


FIGURA 7. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

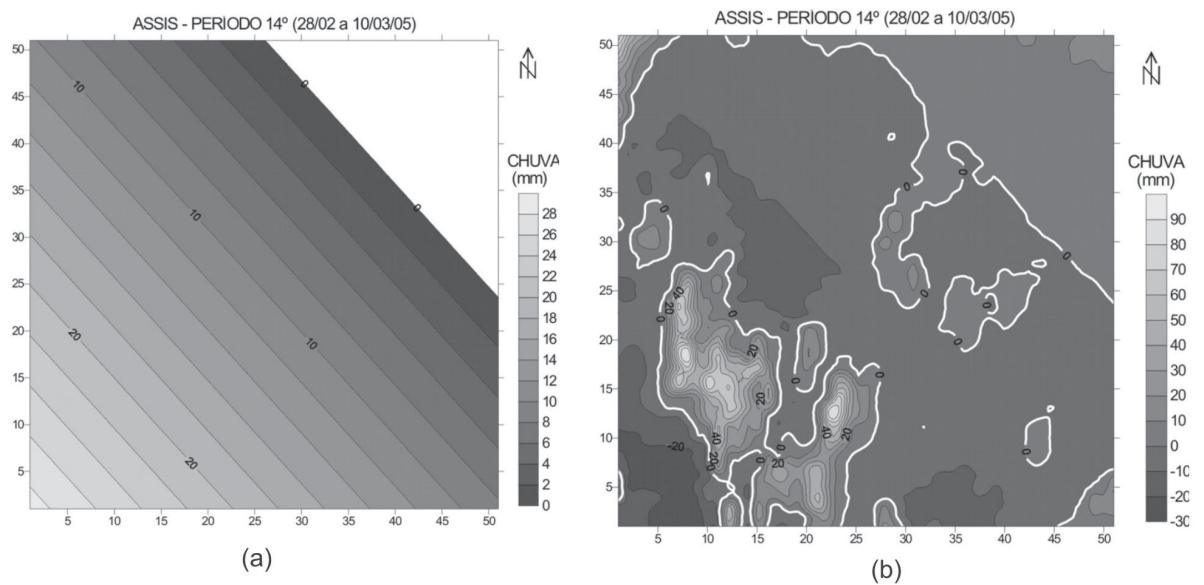


FIGURA 8. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

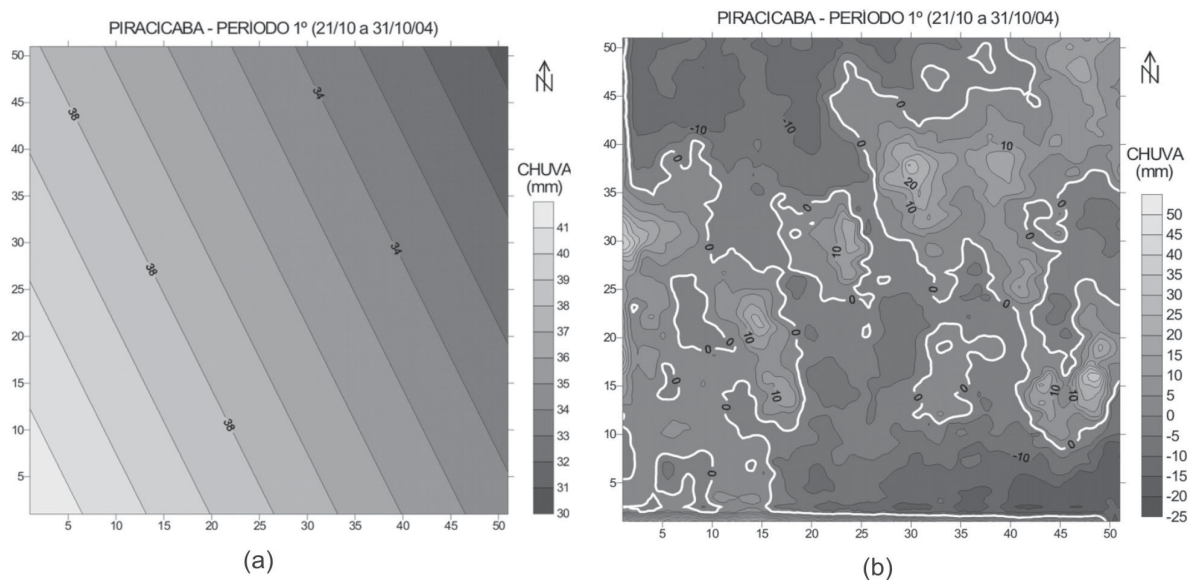


FIGURA 9. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

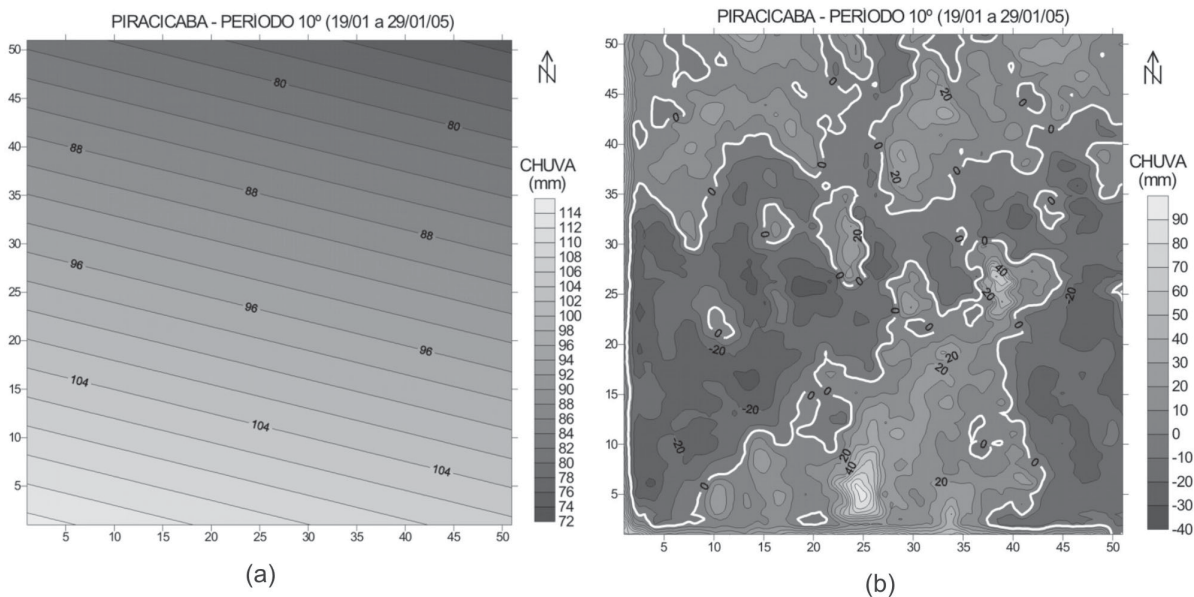


FIGURA 10. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

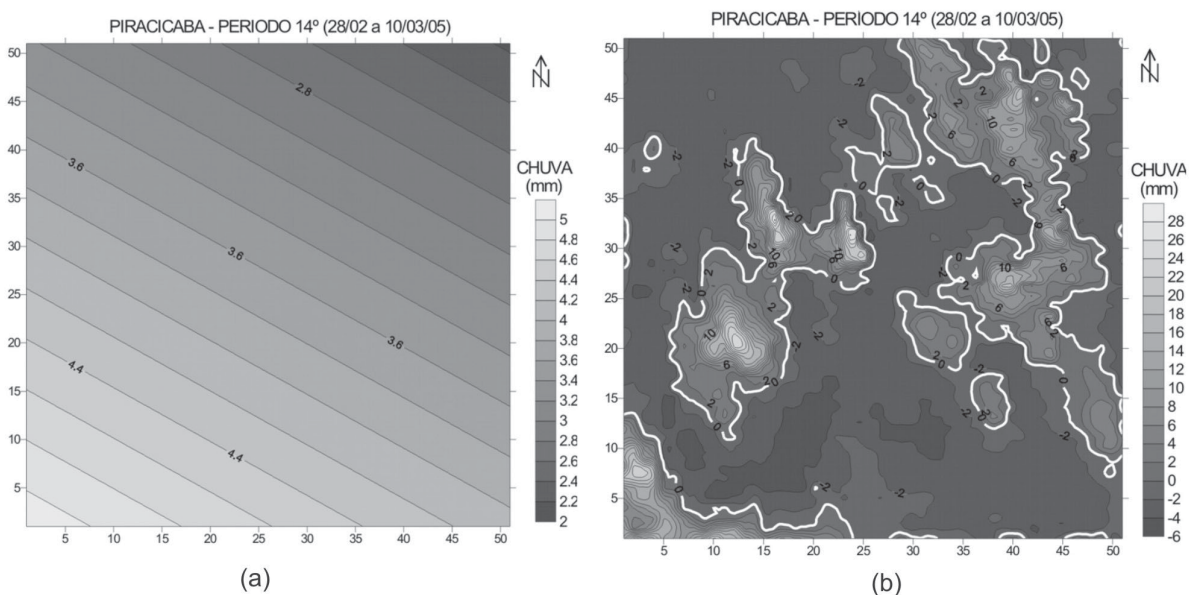


FIGURA 11. (a) Superfície de tendência -1° grau; (b) Mapa de resíduos.

CONCLUSÕES

De maneira geral, quando se comparam dados de radar e pluviômetro observa-se sempre uma diferença nos resultados, que pode estar associada à amostragem nas medidas dos instrumentos, ao erro proveniente aos princípios físicos de medidas de sensoriamento remoto, ou a necessidade da escolha de uma relação Z-R específica que incorpore o efeito da distância ao radar e outras características, como a estação do ano ou o período do dia, entre outras, para melhor representação do campo espacial de chuva por radar.

No processo de quantificação de chuva média em área com o radar meteorológico permitiu como teste,

a aplicação de três equações Z-R a fim de comparar os resultados obtidos com os dos pluviômetros (método de Thiessen) e escolher a equação que melhor represente a distribuição das chuvas no raio da pesquisa. As equações utilizadas foram a de Marshall-Palmer, a de Jones e a de Calheiros (RVC).

Os resultados encontrados pelas equações de Marshall-Palmer e de Marshall-Palmer com Jones, foram bastante divergentes, não reproduzindo verdadeiramente o volume precipitado sobre a rede pluviométrica, apresentando desvios de significativa magnitude quanto aos totais da chuva quantificada pelo

método de Thiessen e uma subestimação da chuva em períodos mais chuvosos e superestimação em períodos mais secos.

A equação RVC foi a que apresentou os melhores resultados, com totais mais próximos aos encontrados por Thiessen e com isso foi utilizada para a análise de superfície de tendência.

Pelos resultados encontrados, conclui-se que a

metodologia aplicada indicou a distribuição espacial da chuva acumulada pelo radar em toda a extensão da área da quadricula de estudo, identificando e localizando as regiões onde houve excesso e falta de chuva durante cada período analisado, possibilitando desta forma, um indicativo preliminar das áreas onde houve maior impacto pluvial e conseqüentemente mais propícias a danos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em “Geociências e Meio Ambiente” da UNESP/Campus Rio Claro, ao IPMet/UNESP/Bauru, ao CIAGRO/IAC e ao DAEE pela colaboração e disponibilidade dos dados meteorológicos de radar e de pluviômetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTÔNIO, M.A.; ANDRADE, J.P.M. Inundações em São Carlos, SP: avaliação de chuvas com radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 3255-3262.
2. CALHEIROS, R.V. & ZAWADZKI, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 26, p. 118-132, 1987.
3. EMÍDIO, Z.P.O. & ANTÔNIO, M.A. Chuva média decenal em área: teste por radar e pluviômetros para uso na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. CD-ROM.
4. HUFF, F.A. The adjustment of radar estimates of storm mean rainfall with rainguage data. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROGY, 12, 1966, Norman. **Proceedings...** Norman: American Meteorological Society, 1966, p. 168-203.
5. JONES, D.M.A. **Rainfall drop-size distribution and radar reflectivity**. Urban Meteorology Laboratory: State Water Survey, Illinois, n. 6, 20 p., 1956.
6. LANDIM, P.M.B. & CORSI, A.C. Cálculo de superfícies de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER® 6: **Texto didático 05**. Rio Claro: UNESP, 11 p., 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 11mar2008.
7. LANDIM, P.M.B.; MONTEIRO, R.C.; CORSI, A.C. Introdução à confecção de mapas pelo *software* SURFER®: **Texto didático 08**. Rio Claro: UNESP, 21 p., 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 01out2003.
8. MARSHALL, J.S. & PALMER, W.M.K. The distributions of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, Lancaster, v. 5, p. 165-166, 1948.
9. PESSOA, M.L. Hidrometeorologia com radar. In: TUCCI, C.E.M. (Org.), **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, Editora da Universidade, UFRGS, 2ª ed., 943 p., 2000.
10. VIEIRA, M.B. **Vetorização e análise de tendência de cartas de lineamentos geológicos**. Belo Horizonte, 1998. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais.

*Manuscrito Recebido em: 7 de maio de 2008
Revisado e Aceito em: 8 de abril de 2009*

