

Proposta de um Método Alternativo para Determinação da Precipitação Média Sobre uma Área Utilizando Distâncias Invertidas

Roger Vigley Girardi*, Joel Avruch Goldenfum*,
André Luiz Lopes da Silveira*, Fernando Dornelles*

vigleygirardi@gmail.com, joel@iph.ufrgs.br, andre@iph.ufrgs.br, fds_eng@yahoo.com.br

Recebido: 08/12/09 – revisado: 14/04/10 – aceito: 14/02/12

RESUMO

Este artigo apresenta uma nova técnica para determinação de precipitação média numa área, denominada como método das Distâncias Invertidas (DI). O objetivo foi encontrar um método que aliasse simplicidade de realização, como o método da Média Aritmética, porém que produzisse resultados mais precisos em aproximação com métodos mais complexos. O princípio do método é que as estações são tão mais representativas para uma área quanto mais próximas estejam desta. Desta forma, estabeleceu-se como referência de distância para as estações o centro da bacia, definido como o ponto médio do seu comprimento longitudinal. Transformando a distância entre este centro e as estações em distâncias ponderadas, inverteu-se o fator de multiplicação. Ou seja, a precipitação da estação mais próxima foi multiplicada pela distância da estação mais distante e assim sucessivamente. Este método foi testado nas bacias do Donato (1 km²) e Turcato (19 km²), no município de Pejuçara, RS, devido à existência de uma rede de monitoramento de precipitações do Projeto Potiribu, desenvolvido na região pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (Castro et al., 2000, e Goldenfum et al., 2008). Como referência, foram traçadas as isoietas nas duas bacias e calculadas as precipitações médias em cada uma delas através de interpolação por krigagem. Para comparação do método das Distâncias Invertidas foram calculadas também as precipitações pelos métodos dos polígonos de Thiessen, da Média Aritmética, Inverso da Potência da Distância, Inverso do Quadrado da Distância e Inverso da Distância. Os resultados mostraram uma forte correlação entre todos os métodos e o método das isoietas, entretanto com diferenças entre os índices utilizados na análise de resíduos. Dentre os índices utilizados, que foram o desvio padrão da regressão, desvio padrão das diferenças e desvio padrão das diferenças absolutas, destacaram-se como similares ao método das Isoietas: o método do Inverso da Distância, para a bacia do Donato, e o método das Distâncias Invertidas, para a bacia do Turcato. Dada a irregularidade da distribuição espacial das estações, a qual foi mais sensível para a bacia do Donato, em função de seu tamanho menor, concluiu-se que o método testado apresentou resultados coerentes com os demais métodos para a bacia menor (Donato) e uma melhor aproximação com o método de referência para a bacia maior (Turcato).

Palavras-chave: Hidrologia. Métodos de precipitação média. Métodos de chuva média.

INTRODUÇÃO

A precipitação média sobre uma área é informação essencial a ser definida nos estudos hidrológicos (TABIOS e SALAS, 1985, PARDO-IGÚZQUIZA, 1998, PRICE et al., 2000, SEN e HABIB, 1998, DORNINGER et al., 2008), sendo corrente analisar a distribuição média espacial da chuva a partir de várias estações, pois monitoramentos pontuais não são bons representantes de uma área ou uma bacia hidrográfica (BAYRAKTAR et al., 2005).

A determinação da precipitação média sobre uma área pode ser feita a partir de métodos grá-

ficos, geoestatísticos e interpoladores (DALY et al., 1993; PARAJKA, 2001; HOFIERKA et al., 2002; KOHNOVÁ et al., 2007). Recentemente, métodos tradicionais têm sido associados ao uso do radar e de satélite na tentativa de respostas mais rápidas e de boa acurácia (GRIMES et al., 1999; SUN et al., 2003, SOKOL, 2003; GERSTNER e HEINEMANN, 2008; HABERLANDT, 2007). Também têm sido realizadas experiências computacionais e com estruturação de SIGs na espacialização da precipitação (GUENNI e HUTCHINSON, 1998; SEN e ELJADID, 2000; NA-OUM e TSANIS, 2004; HANCOCK e HUTCHINSON, 2006; DORNINGER et al., 2008).

Alguns problemas se evidenciam na determinação da chuva média, conforme sejam as necessidades de exatidão: o tamanho da área e periodicidade da chuva (HABERLANDT, 2007), a distribui-

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS

ção das estações (SEN e ELJADID, 2000; HOFIERKA et al., 2002; MOULIN et al., 2008) e a complexidade do terreno (DALY et al., 1993; PRICE et al., 2000; SEN e HABIB, 2000; BAYRAKTAR et al., 2005; ARORA et al., 2006; DORNINGER et al., 2008). Muitos autores afirmam que os métodos que se adaptam melhor a situações onde a influência da altitude e a irregularidade do terreno são importantes são os geoestatísticos, especialmente aqueles que utilizam as técnicas de krigagem (PARDO-IGÚZQUIZA, 1998; GRIMES et al., 1999; HOFIERKA et al., 2002; SUN et al., 2003; HABERLANDT, 2007; MOULIN et al., 2008). Mas, segundo Bethlahmy (1976) e Bayraktar et al. (2005), os métodos mais utilizados para determinação da chuva média são Isoietas, Thiessen e Média Aritmética. Destes, o único que pode incorporar o efeito orográfico é o método das Isoietas, enquanto que Thiessen é indicado quando esse efeito é desprezível e as estações de monitoramento da chuva são mal distribuídas (BETHLAHMY, 1976).

Entretanto, tanto o método das Isoietas quanto o de Thiessen exigem um certo esforço laboral ao serem utilizados, conforme as tecnologias e dados à disposição, pois envolvem construção de polígonos através dos quais se estabelecem as médias de precipitação. Esse esforço pode não ser significativo num ambiente computacional automatizado, mas torna-se importante em procedimentos manuais ou análises preliminares, mesmo em meio digital. Já o método das Médias Aritméticas é simples, assim como são simplificados os resultados que produz, pois não leva em conta a relação das distâncias e posição das estações.

Desta forma, introduz-se o motivo deste artigo, que é propor uma nova alternativa de determinação da chuva média sobre uma área que alie simplicidade de realização com exatidão de resultados. O método elaborado para isso foi definido como método das Distâncias Invertidas (DI). Por conseguinte, os objetivos deste trabalho serão apresentar este método e comparar seus resultados com outros métodos de determinação de precipitação média (métodos de Thiessen, da Média Aritmética, do Inverso da Distância, Inverso da Potência e Inverso do Quadrado da Distância) tendo o método das Isoietas com interpolação por krigagem como referencial, visto que este é um dos mais utilizados quando se deseja maior exatidão (BETHLAHMY, 1976; FIEDLER, 2003; BAYRAKTAR et al., 2005). O método de referência pertence a um grupo diferente do método das Distâncias Invertidas e outros métodos comparados, como Thiessen (grupo das médias ponderadas). Preferiu-se assim justamente para

evitar pré-definir que existe um método melhor dentro do grupo do método testado.

Para verificação dos erros e avaliação dos resultados, foi utilizada uma técnica que subtrai da correlação (R) os resultados de análises de desvio padrão e resíduos.

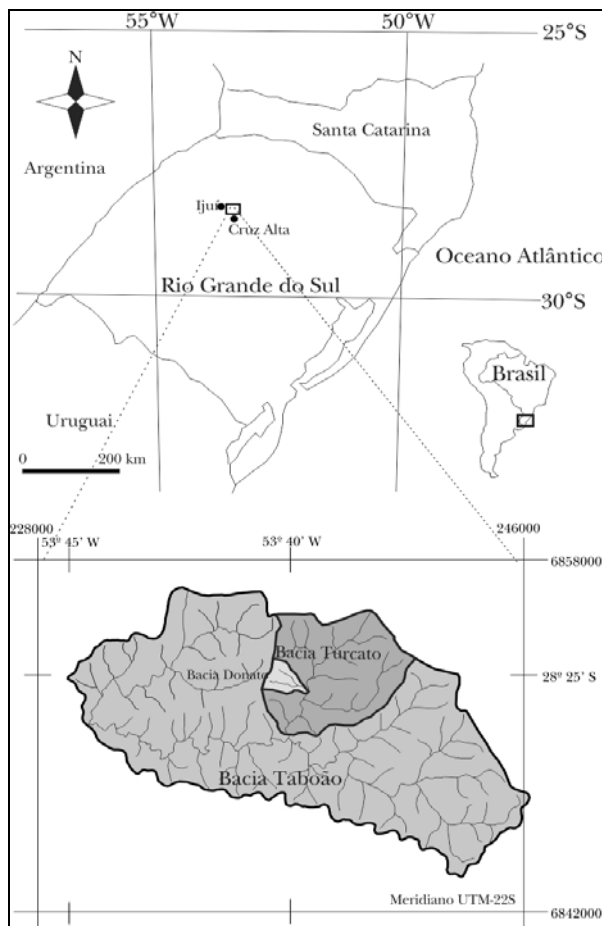


Figura 1 - Localização das bacias de estudo.

ÁREAS-ALVO

As áreas-alvo são as sub-bacias dos arroios Turcato (19,4 km²) e Donato (1,1 km²), embutidas na sub-bacia do arroio Taboão (105 km²) (Figura 1).

Essas fazem parte da bacia do rio Potiribu, que está localizada no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, numa posição central do derrame basáltico sulamericano. O relevo é suave ondulado, com colinas que podem se estender até centenas de metros de comprimento, com declividades médias entre 3 e 10 graus e altitudes, na sub-bacia do Taboão, variando de 300 a 500 metros. A região é ocupada por atividades agrícolas extensivas.

As sub-bacias fazem parte dos estudos da “Rede de pesquisa em bacias representativas e experimentais no bioma da mata atlântica, na região sul do Brasil”, anteriormente denominado MATASUL e agora CLIMASUL, financiado pelo MCT-FINEP/CT-Hidro desde 1989 (GOLDENFUM et al., 2008). Em função do projeto, cerca de 21 estações pluviométricas e pluviográficas foram instaladas nas áreas da bacia, abrangendo superfície de aproximadamente 119 km². Desta forma, estabeleceu-se uma boa cobertura de estações, embora a distribuição espacial das mesmas não seja regular. A amplitude de altitude entre as estações pluviométricas e pluviográficas não ultrapassa 100 metros.

MATERIAS E MÉTODOS

Apresentação do Método das Distâncias Invertidas

Para aplicação desse método, no presente caso, foi definida uma situação simplificada, que consistiu em identificar a precipitação média nas sub-bacias do Donato e Turcato, tendo como ponto de referência o centro de cada uma, sendo este definido como o ponto médio de uma linha reta entre a foz e a borda superior da bacia, aproximadamente seguindo o curso do rio principal (Figura 2a). Nesse critério, o centro da bacia é o centro do eixo da mesma, mas outros pontos podem ser adotados (centro de massa, por exemplo). Nessa situação, o método pode ser utilizado sem apoio de geoprocessamento. Entretanto, também pode ser aplicado como interpolador automático através de algoritmos inseridos em programas computacionais de uso corrente para esse fim, usando triangulação ou poligonização (Figura 2b). Neste caso, ao invés de determinar a precipitação média em um único ponto de referência, pode-se gerar isolinhas de precipitação média, melhorando a exatidão.

No presente estudo, medem-se distâncias (d) de cada estação utilizada até o ponto central da bacia, definido conforme acima. As distâncias, então, são transformadas em distâncias ponderadas (dP). Isso é feito através de uma regra de três, onde a soma das distâncias das estações até o ponto de referência assume peso 1 ($\sum dP_i = \sum (d_i / \sum d_i) = 1$). Em seguida, multiplica-se o valor da precipitação observada na estação mais próxima pela distância ponderada da estação mais distante do centro da bacia, e assim sucessivamente com as demais estações (Figura 3). Bethlahmy (1976) também usou a ponderação direta para a determinação da precipitação média a partir de várias estações, entretanto usando ângulos formados pela posição das estações em relação aos

vértices dos eixos maior e menor da bacia, transformando a soma dos ângulos em 1.

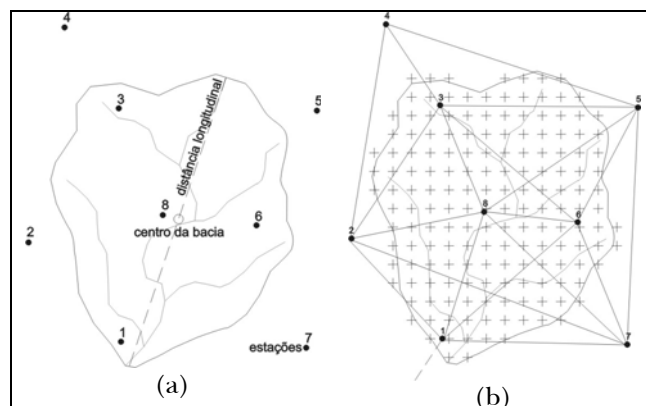


Figura 2 - Esquemas de determinação de precipitação média, a partir do centro da bacia (a); ou malha de interpolação com arranjos possíveis (b).

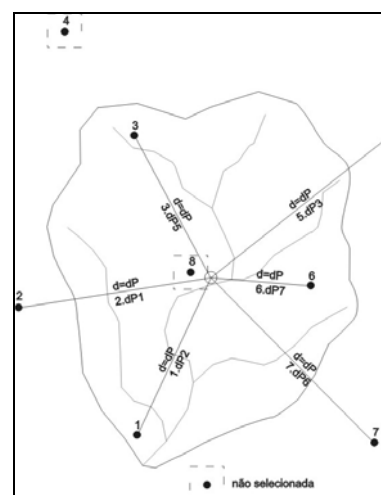


Figura 3 - Detalhe do esquema determinação da precipitação média a partir do centro da bacia. Neste exemplo, algumas estações deixam de ser representativas (por estarem muito próximas do centro, por estarem muito distantes e por estarem sobrepostas).

É recomendado descartar estações muito distantes dos limites da área, estações muito próximas ao centro da área e estações sobrepostas (estações próximas, num mesmo alinhamento). Isso, porque o que se pretende é a maior aproximação com o valor médio da chuva sobre a área e não o valor médio mais próximo ao centro. O uso de uma estação muito distante poderá superestimar o peso da estação mais próxima ao centro e vice-versa. A equação proposta para este método é:

$$P_m = \sum_{i=1}^n [P_i \cdot dP_i] \quad (1)$$

Onde: P_m é precipitação média; P_i é precipitação observada em cada estação, da mais próxima para a mais distante ao ponto de referência; dP_i é distância ponderada de cada estação, da mais distante para a mais próxima ao ponto de referência; e n é o número de estações. A distância ponderada (dP_i) é:

$$dP_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (2)$$

Onde d_i é a distância de cada estação até o centro da bacia.

Chuva Mensal no Ano de 1991

Os dados de chuva foram obtidos em Castro et al. (2000). Para comparação de métodos, foi selecionado um ano que tivesse o maior número de estações de observação de chuva com o menor número possível de falhas e inconsistência nos registros. Desta forma, definiu-se o ano de 1991 como aquele que atendia este pré-requisito, visto possuir 16 estações (Figura 4) que atenderam muito bem ao pressuposto. As poucas falhas diárias de registro existentes foram preenchidas pelas análises estatísticas de regressão linear simples e regressão múltipla, conforme cada caso (MAIDMENT, 1993). Na Tabela 1 são mostradas as precipitações totais mensais do ano de 1991 em cada uma das estações adotadas.

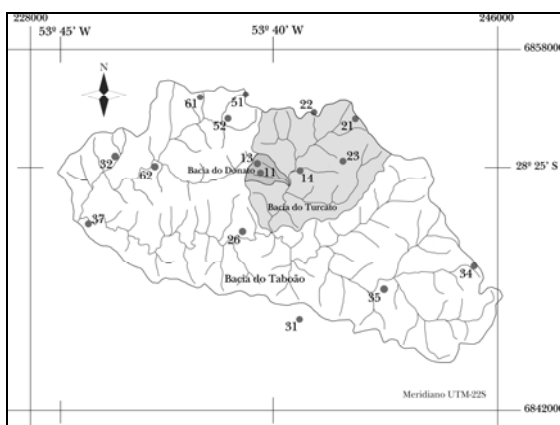


Figura 4 - Localização das estações adotadas para determinação da chuva média mensal em 1991.

Tabela 1 - Precipitações totais mensais nas estações adotadas, para o ano de 1991.

(Fonte: Anexo 1 de Castro et al., 2000)

Precipitação por estação (mm/mês)								
Est	11	13	14	21	22	23	26	31
Jan	61,40	81,40	67,90	83,90	25,20	79,40	76,10	52,20
Fev	21,30	19,00	16,65	15,90	14,01	25,40	23,40	12,90
Mar	20,34	21,30	19,70	43,30	21,80	36,50	29,70	40,60
Abr	102,17	111,40	70,10	79,90	54,60	110,00	127,70	71,40
Mai	35,20	34,40	17,60	41,40	43,30	37,30	34,90	29,30
Jun	303,90	332,80	300,70	288,10	232,20	319,90	338,40	278,10
Jul	110,90	113,20	106,30	97,80	103,00	100,80	118,20	130,90
Ago	30,50	33,00	28,25	33,50	34,40	35,10	33,40	28,11
Set	75,60	75,50	72,00	83,30	78,20	53,30	82,40	75,70
Out	111,30	122,50	119,10	128,90	141,30	137,80	121,30	112,50
Nov	19,70	24,00	34,50	35,60	33,50	27,90	39,90	42,80
Dez	168,90	186,80	195,90	214,60	191,30	201,20	217,50	221,60
Σ	1061,21	1155,3	1048,7	1146,2	972,81	1164,6	1242,9	1096,11
Est	32	34	35	37	51	52	61	62
Jan	37,70	31,60	77,40	65,60	71,10	78,80	72,90	60,80
Fev	29,70	12,80	4,50	30,20	21,10	22,90	31,70	29,00
Mar	25,50	57,50	40,20	18,20	24,80	24,20	21,70	29,38
Abr	133,70	110,20	126,20	112,60	108,50	127,50	122,60	120,90
Mai	44,5	35,00	49,95	40,20	31,60	41,60	35,50	36,40
Jun	328,55	278,20	160,40	315,30	266,60	330,60	300,40	326,40
Jul	127,20	136,30	134,80	160,00	91,20	94,60	72,10	125,80
Ago	39,30	15,30	30,80	44,90	19,00	32,20	27,70	36,60
Set	82,10	90,70	88,90	42,80	71,90	84,60	74,40	84,40
Out	136,80	127,90	144,60	84,55	137,80	86,20	147,70	152,60
Nov	44,00	43,00	43,30	34,69	28,90	37,90	29,60	22,50
Dez	223,50	242,40	252,50	107,20	176,00	189,90	257,20	215,60
Σ	1252,55	1180,9	1153,55	1056,24	1048,5	1151	1193,5	1240,38

Cabe informar que este novo método foi utilizado experimentalmente por Girardi et al. (2011) para determinação da precipitação média mensal de uma série histórica de precipitação entre 1990 e 2003 nas bacias do Donato (1 km²), Turcato (19 km²) e Taboão (105 km²), apresentando resultados coerentes entre as bacias e com outras séries históricas existentes.

Caracterização dos Métodos Comparados

Tendo o método das Isoietas como referência, todos os demais, com seus diversos arranjos de

estações, foram comparados com os resultados deste. A seguir, é apresentada uma síntese de cada um dos métodos testados:

- A. Método das Isoietas (I): foram utilizados dados de precipitação de todas as estações, traçadas as isoietas e calculadas as áreas entre isoietas, em cada bacia de interesse, para cada mês do ano de 1991. Foi utilizado krigagem como interpolador.
- B. Polígonos de Thiessen (T): foram testados arranjos diferentes para cada bacia de interesse, sendo um arranjo para a bacia do Donato e três para a bacia do Turcato;
- C. Média Aritmética (MA): Foram testados três arranjos para a bacia do Donato, sendo um com todas as estações, outro com as estações de número 11, 13 e 14, e o terceiro arranjo com as estações 11, 13, 14 e 23; para a bacia do Turcato foram testados dois arranjos, sendo um com todas as estações e o outro com as estações 11, 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52. Assim, em cada arranjo, procurou-se estabelecer as melhores relações de representatividade de chuva e melhores distribuições espaciais de estações para cada bacia;
- D. Inverso da Potência (IP): Foram testados os mesmos arranjos do método da Média Aritmética;
- E. Inverso do Quadrado da Distância (IQ): Foram testados os mesmos arranjos do método da Média Aritmética;
- F. Inverso da Distância (ID): Foram testados os mesmos arranjos do método da Média Aritmética.

O esquema da equação abaixo (3) define o formulismo para obtenção das médias de chuva para IP, IQ e ID.

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{P_i}{D_i^\alpha} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{D_i^\alpha} \right]} \quad (3)$$

Onde:

$$\begin{cases} \alpha = dP_i \Rightarrow \beta = IP \\ \alpha = 2 \Rightarrow \beta = IQ \\ \alpha = 1 \Rightarrow \beta = ID \end{cases}$$

Critério de Hierarquização dos Resultados

Foram realizadas análises estatísticas comparativas entre o método das Isoietas e cada um dos demais métodos testados, com seus respectivos arranjos de estações. Os itens a, b, c e d a seguir referem-se às análises estatísticas adotadas como critério:

- A. Correlação Linear (R): Estabelecida entre duas matrizes (pares de precipitação média), para determinar a relação entre as suas propriedades, sendo uma o resultado do método das Isoietas para cada bacia e a outra o resultado de cada arranjo de estações de cada método comparado. A correlação (R) é tanto melhor quanto maior for seu valor, dentro do intervalo de -1 a 1);
- B. Desvio padrão das Diferenças (DpD): É o desvio padrão dos resíduos dos pares comparados elevado ao quadrado. Esse desvio padrão indica o quanto essas diferenças se distanciam da média, sendo tanto pior quanto maior for o desvio padrão;
- C. Desvios padrões das diferenças absolutas (DpdA): É o desvio padrão da Soma das Diferenças Absolutas (SdA) dos pares comparados, situação onde ignora-se o sinal das diferenças, pois este impede perceber a magnitude do erro, quando um valor positivo muito alto anula um valor negativo muito baixo. A SdA indica a amplitude real dos resíduos, sendo tanto pior quanto maior for seu valor. Assim, o DpdA indica o quanto a amplitude dos resíduos se distancia da média, sendo tanto pior quanto maior for seu valor;
- D. Desvio padrão da regressão (DpR): Considera-se que a aceitação dos resultados de cada arranjo de estações, de cada método comparado, é dependente da proximidade com os resultados do método das Isoietas. Desta forma, utilizou-se a técnica da regressão linear simples para estabelecer o desvio padrão de cada um dos métodos na relação com o método das Isoietas, sendo este último sempre considerado a variável “x” da regressão. Assim, nesta comparação, tanto melhor é o resultado quanto menor for DpR.

Mas, devido à incerteza dos resultados individuais das análises estatísticas, foi necessário criar um procedimento para fazer a integração das mesmas. Como a correlação (R) tem uma premissa contrária aos demais parâmetros, pois o resultado desta

é tanto melhor quanto maior for o seu valor, adotou-se como critério subtrair de R os resultados das demais análises estatísticas, conforme a equação (4) a seguir, sendo considerado como melhor método aquele que apresentasse o maior valor final de Rc.

$$Rc=R-(DpR+DpD+DpdA) \quad (4)$$

Para evitar tendenciosidades, pois os resultados das análises estatísticas são produzidos originalmente em diferentes escalas de valores, tornou-se necessário adotar um critério para evitar a influência tendenciosa de um parâmetro sobre outro. Essa verificação assemelha-se a uma análise de sensibilidade.

Para isso foi adotado um método denominado de Ponderação com Limites (Pl). Atribuindo limites e ponderando os resultados de cada parâmetro estatístico, a semelhança de Dornelles (2007) e conforme a equação (5). Desta forma, os valores ponderados ficaram limitados entre 0 (zero) e o valor do ponderador, no caso 1 (um).

$$Pl=\left[\frac{p}{D}\right] \cdot [Ri - r] \quad (5)$$

Onde: p é o valor do ponderador, no caso 1; D é a diferença entre o maior e o menor valor de cada parâmetro estatístico; Ri é o maior valor de cada parâmetro estatístico; e r é o menor valor de cada parâmetro estatístico.

Essa forma de análise exclui tendenciosidades, visto que, além da adequação escalar, os resultados originais são diretamente correlacionáveis. Ou seja, os parâmetros estatísticos são pareados. Assim, sempre que R aumenta, os demais parâmetros tendem a diminuir.

PREPARAÇÃO DOS DADOS

Distâncias e Polígonos

O procedimento seguinte consistiu em medir as distâncias de cada estação até o centro das bacias, para cada arranjo de estações, sendo transformadas em distâncias ponderadas, conforme a equação (2), as quais foram invertidas em seguida (Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6). Essa inversão foi necessária

para o método das Distâncias Invertidas, embora não sirva aos demais métodos.

Tabela 2 - Distâncias do arranjo com todas as estações ao centro da Bacia Donato.

Estação	Distância (m)	Distância ponderada - dP	Ponderação invertida - pI
11	403	0,0064	0,1401
13	491	0,0078	0,1167
14	1271	0,0204	0,1026
21	3833	0,0614	0,0504
22	2835	0,0454	0,0693
23	2866	0,0459	0,0622
26	2534	0,0406	0,0945
31	5948	0,0954	0,0402
32	5895	0,0945	0,0406
34	8735	0,1401	0,0064
35	6392	0,1026	0,0204
37	7278	0,1167	0,0078
51	3141	0,0504	0,0615
52	2505	0,0402	0,0954
61	3878	0,0622	0,0459
62	4323	0,0693	0,0454
Soma	62328	1	1

Tabela 3 - Distâncias do arranjo com todas as estações ao centro da Bacia Turcato.

Estação	Distância (m)	Distância ponderada - dP	Ponderação invertida - pI
11	1912	0,0285	0,0908
13	1908	0,0284	0,1099
14	414	0,0062	0,1311
21	2492	0,0372	0,0847
22	2008	0,0299	0,0866
23	1360	0,0203	0,1127
26	3603	0,0538	0,0541
31	6084	0,0908	0,0285
32	7362	0,1099	0,0284
34	7553	0,1127	0,0203
35	5678	0,0847	0,0372
37	8781	0,1311	0,0062
51	3629	0,0541	0,0538
52	3533	0,0527	0,0726
61	4862	0,0726	0,0527
62	5804	0,0866	0,0299
Soma	66983	1	1

Tabela 4 - Distâncias do arranjo (1) com as estações 11, 13 e 14 ao centro da Bacia Donato.

Estação	Distância(m)	Distância ponderada - dP	Ponderação invertida - pI
11	403	0,186	0,587
13	491	0,227	0,227
14	1271	0,587	0,186
Soma	2165	1	1

Tabela 5 - Distâncias do arranjo (2) com as estações 11, 13, 14 e 23 ao centro da Bacia Donato.

Estação	Distância(m)	Distância ponderada - dP	Ponderação invertida - pI
11	403	0,080	0,570
13	491	0,098	0,253
14	1271	0,253	0,098
23	2866	0,570	0,080
Soma	5031	1	1

Tabela 6 - Distâncias do arranjo (1) com as estações 11, 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52 ao centro da Bacia Turcato.

Estação	Distância (m)	Distância ponderada - dP	Ponderação invertida - pI
11	1912	0,0561	0,1057
13	1908	0,0560	0,10647
14	414	0,0121	0,22157
21	2492	0,0731	0,07317
22	2008	0,0589	0,10367
23	1360	0,0399	0,16657
26	3603	0,1057	0,0561
34	7553	0,22157	0,01217
35	5678	0,16657	0,0399
51	3629	0,10647	0,0560
52	3533	0,10367	0,05897
Soma	34090	1	1

Para a aplicação do método de Thiessen foi necessário testar arranjos de estações para ambas as bacias. Para a bacia do Donato, em função do pequeno tamanho da mesma, somente as estações 11, 13 e 14 tiveram influência na formação dos polígonos de chuva. Para a bacia do Turcato, pelo seu maior tamanho, pelo número e distribuição de estações, vários arranjos de polígonos foram possíveis, preferindo-se aqueles melhor estruturados espacialmente, denominados de arranjos 1 (estações 14,

21, 22, 23, 26, 51 e 52), 2 (estações 13, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52) e 3 (estações 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52).

Para o Método de Isoietas foram utilizados os dados de chuvas das estações mostradas na Figura 4 e na Tabela 1. Ao se traçar as isolinhas no aplicativo *Surfer*, a técnica de ponderação adotada ajusta as melhores aproximações segundo o critério da krigagem. Desta forma, usando todas as estações foi possível proporcionar ao aplicativo um amplo conjunto de dados que permitiu o maior detalhamento possível na geração dos mapas de chuva.

RESULTADOS

Os resultados das médias mensais de precipitação nas bacias do Donato e Turcato estão apresentados nas tabelas 7 e 8, juntamente com R e DpR. Os respectivos DpD, SdA e DpdA, estão nas tabelas 9 e 10. As tabelas 7, 8, 9 e 10 estão no final do texto.

Conforme se observa nas tabelas 7 e 8, todos os métodos e arranjos apresentam correlação (R) bastante forte com o método das Isoietas. Na bacia do Donato, a mais alta correlação foi para o Inverso da Distância, no arranjo com três estações (99,996%), e a mais baixa para a Média Aritmética, no arranjo com todas as estações (99,361%). Na bacia do Turcato, a mais alta foi para o método das Distâncias Invertidas com onze estações (99,969%), enquanto que a mais baixa foi para o Inverso do Quadrado da Distância com todas as estações (99,258%). Isoladamente, a correlação indica que há forte associação entre os valores comparados, mas nada diz sobre a semelhança entre esses valores. Nas tabelas 7 e 8, a proximidade entre os valores de chuva média mensal de cada método com o método das Isoietas é melhor visualizada pelo DpR. Nesta situação, os resultados são tão melhores quanto menor for DpR (Inverso da Distância com três estações, com 0,7601, para a bacia do Donato; e Distâncias Invertidas, com 2,167, para a bacia do Turcato).

As análises estatísticas das tabelas 9 e 10 foram realizadas para verificar a amplitude dos resíduos de cada método em relação ao das Isoietas. Foram realizadas análises de resíduos com sinal (+ e -) e absolutos, para identificar possíveis engodos. Por exemplo, valores de soma baixos dos resíduos com sinal podem esconder algumas diferenças de grande amplitude, porque nem sempre os menores desvios padrão são associados às menores somas, ou vice-versa, embora isso seja a tendência. Observa-se que as maiores SdA estão associadas aos maiores DpD, e

Proposta de um Método Alternativo para Determinação da Precipitação Média Sobre uma Área Utilizando Distâncias Invertidas

Tabela 7 - Chuva média por diferentes métodos - bacia do Donato (1991).

Método	Isoietas	Média aritmética			Inverso da Potência			Inverso do Quadrado da Distância			Inverso da Distância			Thiessen	Distâncias Invertidas		
Estações	todas	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	(1)	todas	(1)	(2)
Jan	69,68	63,96	70,23	72,53	66,12	69,91	70,50	69,15	69,36	69,47	68,13	70,04	70,62	69,93	67,13	67,15	68,53
Fev	19,56	20,65	18,98	20,59	20,83	20,22	19,82	20,30	20,16	20,22	20,44	19,73	20,08	20,00	20,88	19,91	20,59
Mar	20,99	29,67	20,45	24,46	27,74	20,72	20,78	21,35	20,67	20,84	24,29	20,61	21,59	20,67	26,30	20,44	21,81
Abr	100,23	105,59	94,56	98,42	104,19	105,20	102,06	104,18	103,86	103,93	103,54	100,96	101,52	103,23	103,71	98,29	102,00
Mai	32,06	36,76	29,07	31,13	35,90	34,42	32,73	34,25	33,90	33,94	34,61	32,28	32,59	33,44	35,22	31,74	33,45
Jun	313,69	293,78	312,47	314,33	298,34	315,88	315,42	313,41	314,69	314,75	306,83	314,52	314,85	315,20	303,51	309,86	312,17
Jul	110,73	113,94	110,13	107,80	110,23	111,74	111,19	111,00	111,51	111,39	110,25	111,10	110,47	111,44	108,18	110,57	110,22
Ago	31,07	31,38	30,58	31,71	31,44	31,49	31,28	31,36	31,32	31,36	31,35	31,13	31,37	31,32	31,43	30,65	31,28
Set	75,50	75,99	74,37	69,10	75,80	75,47	74,94	75,44	75,36	75,11	75,53	75,03	73,69	75,26	76,40	74,91	73,44
Out	117,06	125,80	117,63	122,68	125,27	116,17	117,04	116,82	115,99	116,23	120,89	116,76	118,06	116,42	123,42	115,29	117,01
Nov	24,92	33,86	26,07	26,53	32,30	21,87	23,33	23,16	22,17	22,23	27,83	23,55	23,81	22,63	31,45	23,43	22,89
Dez	181,28	203,88	183,87	188,20	201,00	177,06	179,77	179,47	177,23	177,49	190,18	179,78	181,10	178,27	198,88	177,99	178,64
Média	91,40	94,61	90,70	92,29	94,10	91,68	91,57	91,66	91,35	91,42	92,82	91,29	91,65	91,49	93,88	90,02	91,00
DesvPad	85,82	82,61	85,98	86,39	83,39	86,02	86,16	85,53	85,76	85,78	84,59	85,98	86,06	85,98	84,37	84,77	85,19
R(%)	-	99,361	99,971	99,911	99,565	99,961	99,993	99,984	99,973	99,974	99,912	99,996	99,994	99,982	99,708	99,995	99,988
DpR	-	9,784	2,185	3,815	8,146	2,518	1,066	1,619	2,094	2,042	3,718	0,760	0,955	1,689	6,759	0,846	1,404

(1): estações 11,13 e 14; (2): estações 11, 13, 14 e 23

Tabela 8 - Chuva média por diferentes métodos - bacia do Turcato (1991).

Método	Isoietas	Média aritmética			Inverso da Potência			Inverso do Quadrado da Distância			Inverso da Distância			Thiessen	Distâncias Invertidas		
Estações	todas	todas	(1)	(1)	todas	(1)	(1)	todas	(1)	(1)	todas	(1)	1	2	3	todas	(1)
Jan	68,12	63,96	66,75	66,12	68,18	69,15	68,10	68,13	67,96	67,73	72,36	82,26	67,13	72,36	82,26	67,13	68,53
Fev	18,99	20,65	17,91	20,83	18,88	20,30	17,54	20,44	18,36	19,24	20,91	23,37	20,88	20,91	23,37	20,88	18,98
Mar	28,98	29,67	30,85	27,74	27,77	21,35	21,91	24,29	25,81	27,56	30,26	33,35	26,30	30,26	33,35	26,30	27,07
Abr	91,10	105,59	102,57	104,19	97,06	104,18	77,17	103,54	89,64	85,83	101,05	107,31	103,71	101,05	107,31	103,71	95,13
Mai	32,92	36,76	36,57	35,90	34,85	34,25	22,32	34,61	30,14	30,56	37,47	38,14	35,22	37,47	38,14	35,22	33,60
Jun	292,23	293,78	286,53	298,34	294,65	313,41	300,57	306,83	296,74	298,13	308,44	352,96	303,51	308,44	352,96	303,51	295,73
Jul	106,19	113,94	109,74	110,23	106,49	111,00	106,07	110,25	106,58	103,86	105,36	121,05	108,18	105,36	121,05	108,18	106,28
Ago	31,46	31,38	29,59	31,44	30,89	31,36	29,28	31,35	30,27	31,60	33,84	37,77	31,43	33,84	37,77	31,43	31,10
Set	71,28	75,99	77,85	75,80	74,96	75,44	71,72	75,53	73,52	70,15	68,40	78,61	76,40	68,40	78,61	76,40	73,33
Out	128,20	125,80	125,34	125,27	124,71	116,82	121,19	120,89	123,67	127,59	131,97	150,64	123,42	131,97	150,64	123,42	125,13
Nov	31,50	33,86	33,47	32,30	31,61	23,16	33,20	27,83	32,17	33,12	29,38	35,71	31,45	29,38	35,71	31,45	31,34
Dez	198,39	203,88	203,36	201,00	196,93	179,47	195,52	190,18	196,73	199,46	198,11	229,80	198,88	198,11	229,80	198,88	196,42
Média	91,61	94,61	93,38	94,10	92,25	91,66	88,72	92,82	90,97	91,24	94,80	107,58	93,88	94,80	107,58	93,88	91,89
DesvPad	82,04	82,62	81,03	83,39	82,22	85,53	84,77	84,59	83,14	83,60	85,25	98,22	84,37	85,25	98,22	84,37	82,55
R(%)	-	99,825	99,842	99,877	99,953	99,258	99,797	99,689	99,965	99,965	99,867	99,944	99,845	99,867	99,944	99,845	99,969
DpR	-	5,118	4,779	4,337	2,643	10,908	5,664	6,988	2,309	2,32	4,602	3,433	4,919	4,602	3,433	4,919	2,167

(1): estações 11, 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51, 52; 1: estações 14, 21, 22, 23, 26, 51 e 52; 2: estações 13, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52; e 3: estações 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52

R(%)=correlação; DpR=desvio padrão da regressão

Tabela 9 - Resíduos de precipitação e análises estatísticas tendo isoietas com par padrão - bacia do Donato.

Método	Média Aritmética			Inverso da Potência			Inverso do Quadrado da Distância			Inverso da Distância			Thiessen	Distâncias Invertidas			
	Estações	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	todas	(1)	(2)	(1)	todas	(1)	(2)
Jan		5,72	-0,55	-2,85	3,56	-0,23	-0,82	0,53	0,32	0,21	1,55	-0,36	-0,94	-0,25	2,55	2,53	1,15
Fev		-1,09	0,58	-1,03	-1,27	-0,66	-0,26	-0,74	-0,60	-0,66	-0,88	-0,17	-0,52	-0,44	-1,32	-0,35	-1,03
Mar		-8,68	0,54	-3,47	-6,75	0,27	0,21	-0,36	0,32	0,15	-3,30	0,38	-0,60	0,32	-5,31	0,55	-0,82
Abr		-5,36	5,67	1,81	-3,96	-4,97	-1,83	-3,95	-3,63	-3,70	-3,31	-0,73	-1,29	-3,00	-3,48	1,94	-1,77
Mai		-4,70	2,99	0,94	-3,84	-2,36	-0,67	-2,19	-1,84	-1,88	-2,55	-0,22	-0,53	-1,38	-3,16	0,32	-1,39
Jun		19,91	1,22	-0,63	15,35	-2,19	-1,73	0,28	-1,00	-1,06	6,86	-0,83	-1,16	-1,51	10,18	3,83	1,52
Jul		-3,21	0,60	2,93	0,50	-1,01	-0,46	-0,27	-0,78	-0,66	0,48	-0,37	0,26	-0,71	2,55	0,16	0,51
Ago		-0,31	0,49	-0,64	-0,37	-0,42	-0,21	-0,29	-0,25	-0,29	-0,28	-0,06	-0,30	-0,25	-0,36	0,42	-0,21
Set		-0,49	1,13	6,40	-0,30	0,03	0,56	0,06	0,14	0,39	-0,03	0,47	1,81	0,24	-0,90	0,59	2,06
Out		-8,74	-0,57	-5,62	-8,21	0,89	0,02	0,24	1,07	0,83	-3,83	0,30	-1,00	0,64	-6,36	1,77	0,05
Nov		-8,94	-1,15	-1,61	-7,38	3,05	1,59	1,76	2,75	2,69	-2,91	1,37	1,11	2,29	-6,53	1,49	2,03
Dez		-22,60	-2,59	-6,92	-19,72	4,22	1,51	1,81	4,05	3,79	-8,90	1,50	0,18	3,01	-17,60	3,29	2,64
SOMA		-38,51	8,37	-10,68	-32,39	-3,39	-2,09	-3,12	0,54	-0,21	-17,11	1,29	-2,97	-1,05	-29,73	16,55	4,73
MÉDIA		-3,21	0,70	-0,89	-2,70	-0,28	-0,17	-0,26	0,05	-0,02	-1,43	0,11	-0,25	-0,09	-2,48	1,38	0,39
DpD		10,05	2,09	3,67	8,25	2,41	1,07	1,57	2,00	1,95	3,78	0,74	0,94	1,62	6,66	1,32	1,48
SdA		89,76	18,09	34,84	71,19	20,29	9,87	12,49	16,75	16,29	34,88	6,43	9,70	14,02	60,28	17,25	15,18
DpdA		7,15	1,55	2,27	6,14	1,66	0,66	1,17	1,37	1,34	2,70	0,50	0,49	1,06	4,86	1,25	0,79

(1): estações 11,13 e 14; (2): estações 11, 13, 14 e 23

DpD= desvio padrão das diferenças; SdA=soma das diferenças absolutas; DpdA=desvio padrão das diferenças absolutas

Tabela 10 - Resíduos de precipitação e análises estatísticas tendo isoietas como par padrão - bacia do Turcato.

Método	Média Aritmética		Inverso da Potência		Inverso do Quadrado da Distância		Inverso da Distância		Thiessen			Distâncias Invertidas		
	Estações	todas	(1)	todas	(1)	todas	(1)	todas	(1)	1	2	3	todas	(1)
Jan		4,16	1,37	2,00	-0,06	-1,03	0,02	-0,01	0,16	0,39	-4,24	-14,14	0,99	-0,41
Fev		-1,66	1,08	-1,84	0,11	-1,31	1,45	-1,45	0,63	-0,25	-1,92	-4,38	-1,89	0,01
Mar		-0,69	-1,87	1,24	1,21	7,63	7,07	4,69	3,17	1,42	-1,28	-4,37	2,68	1,91
Abr		-14,49	-11,47	-13,09	-5,96	-13,08	13,93	-12,44	1,46	5,27	-9,95	-16,21	-12,61	-4,03
Mai		-3,84	-3,65	-2,98	-1,93	-1,33	10,60	-1,69	2,78	2,36	-4,55	-5,22	-2,30	-0,68
Jun		-1,55	5,70	-6,11	-2,42	-21,18	-8,34	-14,60	-4,51	-5,90	-16,21	-60,73	-11,28	-3,50
Jul		-7,75	-3,55	-4,04	-0,30	-4,81	0,12	-4,06	-0,39	2,33	0,83	-14,86	-1,99	-0,09
Ago		0,08	1,87	0,02	0,57	0,10	2,18	0,11	1,19	-0,14	-2,38	-6,31	0,03	0,36
Set		-4,71	-6,57	-4,52	-3,68	-4,16	-0,44	-4,25	-2,24	1,13	2,88	-7,33	-5,12	-2,05
Out		2,40	2,86	2,93	3,49	11,38	7,01	7,31	4,53	0,61	-3,77	-22,44	4,78	3,07
Nov		-2,36	-1,97	-0,80	-0,11	8,34	-1,70	3,67	-0,67	-1,62	2,12	-4,21	0,05	0,16
Dez		-5,49	-4,97	-2,61	1,46	18,92	2,87	8,21	1,66	-1,07	0,28	-31,41	-0,49	1,97
SOMA		-35,92	-21,16	-29,80	-7,63	-0,53	34,78	-14,52	7,77	4,50	-38,19	-191,61	-27,14	-3,27
MÉDIA		-2,99	-1,76	-2,48	-0,64	-0,04	2,90	-1,21	0,65	0,38	-3,18	-15,97	-2,26	-0,27
DpD		4,90	4,70	4,32	2,52	10,79	5,97	7,05	2,45	2,69	5,37	16,46	5,18	2,12
SdA		49,19	46,95	42,19	21,31	93,27	55,74	62,48	23,38	22,48	50,41	191,61	44,20	18,24
DpdA		3,93	2,96	3,45	1,84	7,10	4,62	4,65	1,52	1,89	4,55	16,46	4,20	1,44

(1): estações 11, 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51, 52; 1: estações 14, 21, 22, 23, 26, 51 e 52; 2: estações 13, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52; e 3: estações 13, 14, 21, 22, 23, 26, 34, 35, 51 e 52

DpD= desvio padrão das diferenças; SdA=soma das diferenças absolutas; DpdA=desvio padrão das diferenças absolutas

vice-versa. Na Tabela 9, por exemplo, a maior SdA está associada ao maior DpD (89,76 e 10,05, respectivamente). Na Tabela 10, a menor SdA está associada ao menor DpD (18,24 e 2,12, respectivamente).

Hierarquização dos resultados

Para a solução de identificar os melhores métodos de determinação da precipitação média sobre uma área, no presente caso significando aqueles cujos resultados mais se aproximam daqueles produzidos pelo método das Isoietas, foi elaborado o critério apresentado pela equação (4). Esse critério pode ser adotado, pois, observando as tabelas 7, 8, 9 e 10, percebe-se a paridade das análises feitas. Ou seja, a tendência é que quanto mais forte é a correlação (R), menores são os resultados de cada uma das demais análises estatísticas.

Para tornar compatíveis os valores dos diferentes parâmetros estatísticos – condição necessária para poder comparar os valores através da aplicação da equação (4) – foi realizada uma adequação de escala utilizando a equação (5). Com isso, chegou-se aos resultados sintetizados (somente os cinco melhores) mostrados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Melhores métodos de estimativa de chuva média de acordo com resultados de Rc, na bacia do Donato (1,1 km²).

Ponderação com Limites: equação (5)						
Método	ID	IP	DI			Peso
Arranjos	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	
R	1	0,996	0,995	0,998	0,987	1
DpR	0	0,021	0,033	0,009	0,071	1
DpD	0	0,021	0,035	0,062	0,079	1
DpdA	0,001	0	0,025	0,114	0,045	1
Rc	0,998	0,914	0,900	0,812	0,791	
Posição	1	2	3	4	5	

Para a bacia do Donato, que possui 1,1 km², com duas estações dentro de sua área e outras bastante próximas, os melhores resultados de Rc (Tabela 11) foram produzidos pelo método do Inverso da Distância, ficando este com as duas primeiras posições (arranjos com três e quatro estações, respectivamente). O terceiro melhor resultado foi pelo método do Inverso da Potência (arranjo com quatro estações) enquanto que o método das Distâncias Invertidas ficou na quarta e quinta posições (arranjos com quatro e três estações, respectivamente). O motivo deste desempenho é por se tratar de uma

bacia muito pequena, com duas estações muito próximas ao centro (11 e 13) e duas fora (14 e 23), sendo uma muito distante. Desta forma, a ponderação realizada pelo método das Distâncias Invertidas superestimou a precipitação observada na estação 11, mais próxima ao centro.

Tabela 12 - Melhores métodos de estimativa de chuva média de acordo com resultados de Rc, na bacia do Turcato (19,4 km²).

Ponderação com Limites: equação (5)						
Método	DI	ID	T	IP		
Arranjos	(1)	(1)	1	(1)	todas	Peso
R	1	0,994	0,99	0,977	0,870	1
DpR	0	0,016	0,017	0,054	0,248	1
DpD	0	0,023	0,039	0,027	0,153	1
DpdA	0	0,005	0,029	0,026	0,133	1
Rc	1	0,949	0,907	0,868	0,335	
Posição	1	2	3	4	5	

No caso da bacia do Turcato, com cerca de 19,4 km², os melhores resultado de Rc (Tabela 12) foram produzidos pelo método das Distâncias Invertidas, no arranjo com onze estações, seguido pelo Inverso da Distância, também com onze estações, pelo arranjo 1 de Thiessen e pelo Inverso da Potência na quarta e quinta posições (arranjos com onze estações e com todas as estações, respectivamente). Neste caso, as distâncias invertidas produziram melhor resultado em função da combinação de maior área e maior espalhamento das estações em relação ao centro de referência da bacia, o que não ocorreu com a bacia menor.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando puramente os valores de chuva média, observou-se que os resultados são similares entre todos os métodos (Tabela 7). Isso se ocorreu devido à boa cobertura e proximidade de estações de chuva na área estudada, apesar da irregularidade na distribuição das mesmas. Desta forma, as análises estatísticas (R, DpR, DpD, SdA, DpdA) assumiram importante papel para refinar as tendências de cada um dos métodos. As principais conclusões, tendo como foco o método das Distâncias Invertidas (DI), são:

- A. Na bacia do Donato, provavelmente o pequeno tamanho da mesma e a localização de uma estação muito próxima ao centro de referência, que potencializa o valor daquele ponto, não permitiram produzir resultados substancialmente melhores de chuva média em relação a outros métodos;
- B. O método funcionou muito bem para a sub-bacia do Turcato, possivelmente porque as estações estão melhores distribuídas em relação ao centro de referência, em função da área maior, e não tiveram seus pesos subestimados ou superestimados quando da inversão;
- C. O método mostrou simplicidade de realização e uma boa aproximação com os resultados do método das Isoietas e os demais métodos testados, em qualquer das bacias analisadas, evidenciando a produção de resultados coerentes;
- D. Em função do exposto, percebe-se a possibilidade de adoção deste método na determinação da precipitação média sobre uma área, principalmente em escalas maiores que a micro-bacia, tomando cuidado na seleção de estações muito próximas ao centro de referência ou muito distantes da área da bacia, pois a utilização de estações pluviométricas muito distantes do centro da bacia pode majorar excessivamente o peso das estações próximas ao centro da bacia (subjetividade na escolha das estações pluviométricas);
- E. O método proposto se enquadra no grupo de médias ponderadas para estimativa da precipitação média, onde o peso é o inverso da distância ponderada. Como os outros métodos de médias ponderadas, este não considera a altitude e é sensível a densidade de pontos;
- F. Cabe referir que a chuva média sobre a bacia utilizada como paradigma na análise dos resultados alcançados foi estimada pelo método das Isoietas, com interpolação por krigagem. Entretanto o traçado das isoietas varia conforme o método isoietal utilizado e os critérios do analista. Sendo assim, cada configuração isoietal pode gerar chuvas médias diferentes, provocando variações nas análises dos resultados. Além disso, independente do método, as médias calculadas são aproximações da média verdadeira. Dessa forma, os resultados obtidos com os métodos analisados, quando utilizaram a chuva média calculada pelo Método das Isoietas

como referência, são apenas indicativos do seu desempenho, incluindo o método das Distâncias Invertidas;

- G. Dado o exposto, faz-se a ressalva sobre a necessidade de estudos em outras bacias, com outros arranjos espaciais e temporais de observação de precipitação. Sugere-se que isso seja feito de forma a conhecer a consistência dos resultados sob diferentes condições, como por exemplo: grandes bacias com estações regularmente distribuídas; grandes bacias com estações irregularmente distribuídas; pequenas bacias com arranjos variados de estações; regiões com altitudes bastante variadas (relevo montanhoso ou serra); e séries históricas de precipitação mais longas que um ano.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela Bolsa de Doutorado do primeiro autor e pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa do segundo e terceiro autores

REFERÊNCIAS

- ARORA, M.; SINGH, P.; GOEL, N. K. ; SINGH, R. D.. Spatial distribution and seasonal variability of rainfall in a mountainous basin in the Himalayan region. *Water Resources Management*, v. 20, p. 489-508, 2006.
- BAYRAKTAR, H.; TURALIOGLU, F. S.; XEN, Z. The estimation of average areal rainfall by percentage weighting polygon method in Southeastern Anatolia Region, Turkey. *Atmospheric Research*, v. 73, p. 149-160, 2005.
- BETHLAHMY, N.. The two-axis method: a new method to calculate average precipitation over a basin. *Hydrological. Sciences Bulletin des Sciences Hydrologiques*, XXI, 3, 1976.
- CASTRO, N. M.; CHEVALIER, P.; GOLDENFUM, J.. Projeto Potiribu, atualização 1989-1998 – dados básicos de fluviometria e pluviometria (com anexos). IPH: UFRGS, *Revista Recursos Hídricos*, v. 35, Janeiro de 2000.

- DALY, C.; NEILSON, R. P.; PHILLIPS, D. L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, v. 33, p. 140-158, 1993.
- DORNELLES, F.. *Previsão contínua de níveis fluviais com redes neurais utilizando previsão de precipitação – investigação metodológica da técnica*. Dissertação (Mestrado), 99 f., 2007. UFRGS: IPH, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
- DORNINGER, M.; SCHNEIDER, S.; STEINACKER, R.. On the interpolation of precipitation data over complex terrain. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Published online, May, 26, 2008 <<http://www.springerlink.com/content/m313072103810k22/fulltext.pdf>>.
- FIEDLER, F. R.. Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons and isohyetal maps. *J. Hydrol. Eng.* v. 8, n. 4, p. 219–221, 2003.
- GERSTNER, E. M.; HEINEMANN, G. Real-time areal precipitation determination from radar by means of statistical objective analysis. *Journal of Hydrology*, v. 352, p. 296-308, 2008.
- GIRARDI, R. V.; CASTRO, N.; PINHEIRO, A.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. DA. Avaliação do efeito de escala em características de precipitação e vazão em sub-bacias embutidas da bacia do Potiribu – RS. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, v.16, n.2, p. 49-64, 2011.
- GOLDENFUM, J. A.; CASTRO, N. M. R.; MERTEN, G., PINHEIRO, A.; PAIVA E. M. C.; DIAS, D. E.; FERNANDES, C. V. S.; GASTALDINI M. C. C.; PAIVA J. B.; DIAS, D. E.; DORNELES, F.; MINELLA J. P. G.; OPPA L. F.; KAUFMAN V. ; CARON C. F. Projeto Matasul: Rede de Pesquisa em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma Mata Atlântica, na região Sul do Brasil. In: *Relatório parcial 01.2008.81p*. disponibilidade irrestrita.. Chamada pública edital MCT/FINEP/CTHIDRO bacias representativas 04/2005 Convênio FAURGS-UFRGS-MATASUL.
- GRIMES, D. I. F.; PARDO-IGÚZQUIZA, E.; BONIFÁCIO, R.. Optimal areal rainfall estimation using rain gauges and satellite data. *Journal of Hydrology*, v.222, p. 93–108, 1999.
- GUENNI, L. & HUTCHINSON, M. F. Spatial interpolation of the parameters of a rainfall model from ground-based data. *Journal of Hydrology*, v. 212–213, p. 335–347, 1998.
- HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *Journal of Hydrology*, v. 332, p. 144-157, 2007.
- HANCOCK, P. A.; HUTCHINSON, M. F. Spatial interpolation of large climate data sets using bivariate thin plate smoothing splines. *Environmental Modelling & Software*, v. 21, p. 1684-1694, 2006.
- HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C., GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M.. *Probability and Statistics in Engineering*. Wiley, 4a. ed., 2003, 672 p.
- HOFIERKA, J.; PARAJKA, J.; MITASOVA. H.; MITAS, L. Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension. *Transactions in GIS*, v. 6, n. 2, p. 135-150, 2002.
- KOHNÓVÁ, S; HLAVCOVA, K; SZOLGAY, J.; PARAJKA, J. On the choice of spatial interpolation method for the estimation of 1-to 5- day basin average design precipitation. In: SCHANZE, J. et al. (ed.). *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. NATO Science Series, v. 67, n. 2, p.77-89, 2007.
- LU, G. Y.; WONG, D. W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, v.34, p. 1044-1055, 2008.
- MAIDMENT, D. R.. *Handbook of hydrology*. New York: Mcgraw-Hiil, 1993, 1424 p.
- MOULIN, L.; GAUME, E.; OBLED, C.. Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, v. 5, p. 2067–2110, 2008.
- NAOUM, S.; TSANIS, I. K. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *Global Nest*, v. 6, n. 1, p.20 , 2004.
- PARAJKA, J. *Estimation of average basin precipitation for mountain basins in western Tatra Mountains*. In: ERB 2000, Conference, Belgium, University of Ghent, 10 p., CD.

PARDO-IGÚZQUIZA, E.. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*, v. 18, n. 9, p. 1031-1047, 1998.

PRICE, D. T.; MCKENNEYB, D. W.; NALDERC, I. A.. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 101 p. 81-94, 2000.

SEN, Z.; ELJADID, A. G. Automated average areal rainfall calculation in Libya. *Water Resources Management*, v. 14, p. 405-416, 2000.

SEN, Z. & HABIB, Z. Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *Journal of Hydrology*, v. 205, p. 81-91, 1998.

SEN, Z.; HABIB, Z. Spatial precipitation assessment with elevation by using point cumulative semivariogram technique. *Water Resources Management*, v. 14, n. 4, August, p. 311-325, 2000.

SOKOL, Z. The use of radar and gauge measurements to estimate areal precipitation for several czech river basins. *Stud. Geophys. Geod.*, v. 47, p. 587-604, 2003.

SUN, X.; MANTON, M. J.; EBERT, E. E. *Regional rainfall estimation using double-kriging of raingauge and satellite observations*. Bureau of Meteorology Research Centre, BMRC Research Report, N. 94, Australia, December, 2003.

TABIOS, G. Q.; SALAS, J. D.. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 21,n. 3, p. 365-380, 1985.

Proposal Of An Alternative Method To Determine Mean Precipitation Over An Area Using Inverse Distances

ABSTRACT

This paper presents a new methodology of rainfall spatial interpolation: the Switched Distances Method. The objective is to present a technique as simple as the Arithme-

tic Mean and as efficient as the other complex methods. The main principle for the proposed technique is that the most representative gauging stations are those closer to the center of the study area. The center of a sub-basin (the reference point) was defined as the mean point of its longitudinal length. Real distances were converted into relative distances by switching the multiplication factor (the precipitation on the nearest rain gauge was multiplied by the relative distance of the farthest rain gauge, and so forth). This methodology was applied to Turcato (19km²) and Donato (1km²) sub-basins, both from "the hydrological monitoring network of the Potiribu Research Project (Castro et al, 2000, and Goldenfum et al., 2008), developed by the Instituto de Pesquisas Hidráulicas of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/ UFRGS). These sub-basins are located in the town of Pejuçara, Rio Grande do Sul state, Brazil. The Isohyetal Method was adopted as reference to compare with the results from the Switched Distances Method. Other methods were also included in the comparisons: Thiessen Polygons, Arithmetic Mean, Inverse Distance Power, Inverse Distance Squared and Inverse Distance Weighting. Strong correlation with the results of the Isohyetal Method was observed for all methods, but also important dissimilarities were observed for the statistics adopted for residual analysis: standard deviation; standard deviation of linear regression; standard deviation of differences; and standard deviation of absolute differences. For the Donato Basin, the Inverse Distance Weighting method was identified as the best match with the Isohyetal Method, while the Switched Distances Method gave the best results for the Turcato Basin. Considering the irregular spatial distribution of the gauging stations, and knowing that the Donato basin is more sensitive to this characteristic, due to its smaller size, it can be stated that the proposed method performed well for both basins, compared to other methods, but especially for the biggest basin (Turcato).

Key-words: hydrology, mean rainfall methods.