

AValiação DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA REDE DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA ANA/CPRM NA BACIA DO RIO DAS VELHAS, MG.

Erick Brizon D. Chaib¹, Katiane Cristina de B. Almeida², Maurício F. Guimarães³, Éber José de Andrade Pinto⁴

RESUMO - O presente estudo tem por objetivo avaliar a distribuição espacial da rede de pluviômetros da ANA/CPRM na Bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, considerando somente a representação da variação espacial da precipitação média anual. Aplicando a krigagem ordinária, foi estabelecida uma superfície de precipitação média anual (PMA) para a bacia com uma grade de pontos de PMA espaçadas de 675 x 675 m, obtida com o modelo de regressão definido por Mello e Silva (2009) para o estado de Minas Gerais, o qual utiliza a altitude, a latitude e a longitude como variáveis explicativas. Em seguida, utilizaram-se as coordenadas geográficas das 33 estações pluviométricas da ANA/CPRM para extrair da superfície de referência os valores de precipitação média anual nestes locais. Essa amostra espacial de 33 pontos também foi espacializada utilizando a krigagem ordinária e gerou outra superfície de PMA. As duas superfícies foram comparadas em termos de estatísticas espaciais e analisada a superfície de desvios padrão gerada na krigagem dos 33 pontos de PMA. A análise realizada indica a necessidade de complementar a rede, principalmente nas regiões de maior altitude, com novos pontos de observação para permitir uma melhor representação espacial da precipitação média anual.

Palavras-Chave: Redes pluviométricas, Krigagem Ordinária, Bacia do Rio das Velhas

EVALUATION OF THE ESPATIAL DISTRIBUTION OF THE ANA/CPRM RAINFALL MEASUREMENT NETWORK AT THE VELHAS RIVER BASIN, IN MINAS GERAIS STATE.

ABSTRACT - This study has the objective to evaluate the espatial distribution of the ANA/CPRM rainfall measurement network at the Velhas river basin, in Minas Gerais State, considering only the representation of spatial variation of annual average precipitation (PMA). The ordinary kriging was applied and an annual average precipitation surface over the Basin was obtained. This surface was obtained using a grid of PMA points over the Basin with cells of 675 x 675m of length, this grid was obtained by a regression model defined by Mello and Silva (2009) for Minas Gerais State, this model uses the height, the latitude and the longitude like explained variables. After this, the geographic coordinates of 33 precipitation stations of ANA's network were utilized to extract the annual average precipitation values of these stations from reference surface. This special group of 33 points extracted from the reference surface was specialized using ordinary kriging too and they created a second PMA surface. The two surfaces obtained were compared using spacial statistics and the standard deviation surface obtained by kriging of 33 points of PMA was analyzed. The analysis indicates the importance of complementary network, with news precipitation stations to allow a better espatial representation of PMA.

Keywords: Rainfall network, Ordinary Kriging, Velhas River Basin

¹Doutorando no PPG-SMARH/UFMG – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG; email: erickbrizon@gmail.com.

²Mestre pelo PPG-SMARH/UFMG; Analista Ambiental – IGAM, katianebritto@yahoo.com.br

³Mestrando no PPG-SMARH/UFMG; Consultor Ambiental, mauricio.geologia@gmail.com;

⁴Professor Adjunto no EHR/UFMG; Pesquisador em Geociências – CPRM; eber.andrade@cprm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

Para o adequado planejamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, é fundamental uma correta análise da distribuição espacial das precipitações pluviométricas (MARCUIZZO *et al.*, 2011). Dentro do ciclo hidrológico, segundo Mello e Silva (2009), a precipitação consiste de uma variável de entrada necessária para o entendimento da dinâmica do meio físico e sua gestão, nos aspectos relacionados ao meio ambiente, geração de energia e manejo de agricultura.

A obtenção de dados pluviométricos através de uma rede bem dimensionada de equipamentos acumuladores (pluviômetros) e de registros contínuos é extremamente importante, principalmente para países em desenvolvimento, devido aos altos custos envolvidos na operação. De uma forma geral, os procedimentos para a definição de uma rede pluviométrica são: a) estabelecer o número mínimo de pontos e os locais de instalação dos equipamentos; b) operar esta rede por alguns anos e; c) redefinir a rede com o objetivo de otimizá-la.

A otimização de uma rede pluviométrica inclui a instalação adicional de estações de monitoramento em pontos considerados representativos e a exclusão de estações supérfluas. Obviamente, a otimização está diretamente vinculada ao objetivo de instalação da rede pluviométrica. Assim, uma rede definida para sistemas de alerta de inundações é diferente de uma rede estabelecida para conhecimento da climatologia das precipitações sobre uma área.

A krigagem é um método geoestatístico que permite o cálculo da variância espacial do fenômeno em estudo. A magnitude da variância da krigagem depende da configuração geométrica dos pontos de dados e da variável analisada. Assim, a variância da krigagem pode ser vista como um índice que auxilia nas decisões sobre a ampliação da densidade da rede, a determinação de locais para a instalação de pontos adicionais de mediação e a exclusão de estações.

O presente estudo tem por objetivo avaliar a distribuição espacial da rede de pluviômetros da Agência Nacional de Águas (ANA) / Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na Bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, considerando somente a sua capacidade de representar a variação espacial da precipitação média anual. Para alcançar esse objetivo, inicialmente, aplicando a krigagem ordinária, foi estabelecida uma superfície de precipitação média anual (PMA) para a bacia do rio das Velhas. Os valores pontuais de PMA empregados na espacialização foram calculados pelo modelo de regressão, definido por Mello e Silva (2009) para o estado de Minas Gerais, o qual utiliza a altitude, a latitude e a longitude como variáveis explicativas. A aplicação do modelo permitiu a criação de uma grade de pontos de PMA sobre a bacia do Rio das Velhas com espaçamento de 675 x 675 m. A superfície obtida a partir da krigagem dessa grade foi denominada como superfície de referência (SR).

Em seguida, utilizaram-se as coordenadas geográficas das 33 estações pluviométricas da ANA para extrair da superfície de referência os valores de precipitação média anual nestes locais. Essa amostra espacial de 33 pontos extraída da SR foi espacializada utilizando a krigagem ordinária e gerou uma segunda superfície de PMA denominada de superfície extraída, S_EXT. A avaliação da distribuição espacial da rede para representação das precipitações médias anuais sobre o Rio das Velhas foi realizada aplicando duas abordagens. Na primeira, as duas superfícies geradas (SR e S_EXT) foram comparadas em termo de estatísticas espaciais. Na outra abordagem, foi analisada a superfície de desvios padrão gerada na krigagem dos 33 pontos de PMA extraídos da superfície de referência.

2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Minas Gerais apresenta vasta abrangência territorial e é cortado por extensas cadeias de montanhas. Massas de ar provenientes do extremo sul do continente e da região equatorial frequentemente atingem o Estado. Sendo assim, o Estado de Minas Gerais é afetado por precipitações de origem orográfica e de origem ciclônica, tanto frentes frias de origem polar (sistema atmosférico frontal) com chuvas de longa duração e de baixa a média intensidade, quanto quentes e úmidas oriundas da região equatorial (Amazônia), que caracteriza um sistema atmosférico não frontal (MOREIRA, 2002; VIANELLO e ALVES, 2000, apud MELLO E SILVA, 2009).

Localizada na região central do Estado de Minas Gerais, a Bacia do Rio das Velhas compreende uma área de 29.173 km² conforme IGAM (2005). A bacia apresenta uma largura média de 38,3 km e o curso principal do Rio das Velhas ocupa uma extensão de 716 km. O Rio das Velhas é o afluente da margem direita do Rio São Francisco que drena as águas da porção central do Estado de Minas Gerais (Figura 01). Seu alto curso, onde está inserida a região metropolitana de Belo Horizonte, localiza-se no interior da Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero, cujos interflúvios são os complexos serranos sustentados pelas formações ferríferas bandadas (BIF – *banded iron formations*): Serras da Moeda de Itabirito, a oeste; Serras do Curral e da Piedade, a norte; Serras da Água Limpa e da Gandarela, a leste; e Serra do Ouro Branco, a sul conforme Cherem *et al.* (2011).

Conforme consta no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (IGAM, 2005), as unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas são as seguintes, conforme a Figura 02: (i) Planaltos do São Francisco; (ii) Depressão do São Francisco; (iii) Serra do Espinhaço; (iv) Quadrilátero Ferrífero.

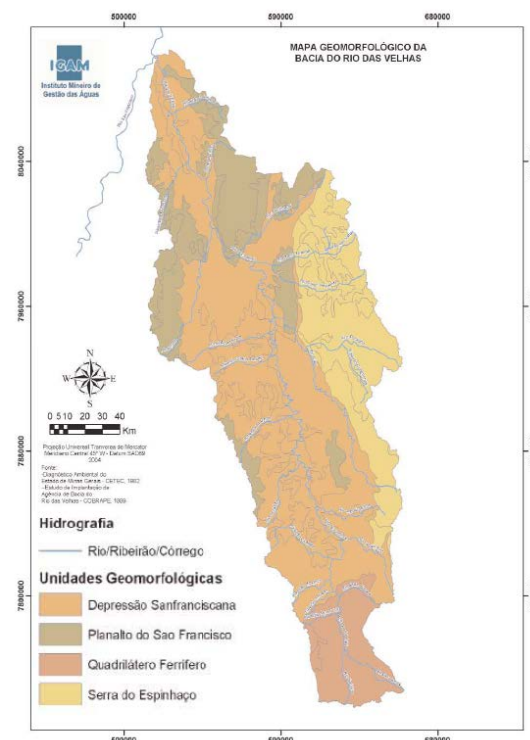
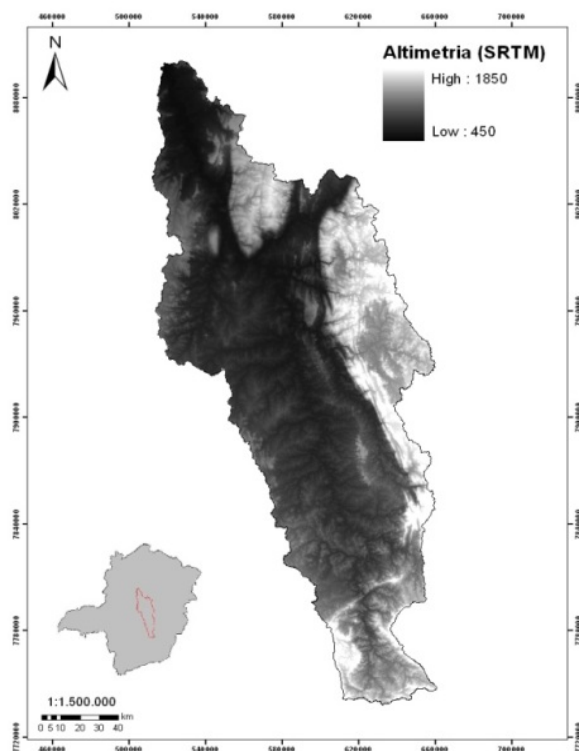


Figura 01 – Mapa de localização e altimetria da bacia do rio das Velhas, MG

Figura 02 – Mapa Geológico da bacia do rio das Velhas, MG

3 – METODOLOGIA

3.1 – Dados utilizados

O conjunto de dados utilizados no desenvolvimento desse estudo foi composto por:

- Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) da bacia do Rio das Velhas com precisão horizontal de 3 segundos de arco (~90 m) e precisão vertical de 1 metro. Os dados altimétricos foram obtidos por interferometria radar da missão espacial SRTM da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) realizada em Fevereiro de 2000, objetivando o levantamento altimétrico da superfície terrestre continental.
- Coordenadas geográficas latitude e longitude, em graus decimais, para uma rede pluviométrica existente, com 33 pontos na bacia, foram obtidas diretamente da base de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA; a altitude, em metros, de cada estação, foi extraída do modelo digital de elevação-SRTM da bacia do rio das Velhas;
- Coordenadas geográficas latitude e longitude, em graus decimais, para geração da superfície de precipitação de referência, foram extraídas diretamente do modelo digital de elevação-SRTM da bacia do rio das Velhas, com uma resolução de 675 m, considerando-se o centroide de cada pixel da imagem raster como um ponto na rede, perfazendo um total de 61.183 pontos.

3.2 – Geração das superfícies

Inicialmente, aplicando a krigagem ordinária (CRESSIE, 1991 e WBSTER e OLIVER, 2001), foi estabelecida uma superfície de precipitação média anual (PMA) para a bacia do rio das Velhas. Os valores pontuais de PMA empregados na espacialização foram calculados pelo modelo de regressão, definido por Mello e Silva (2009) para o estado de Minas Gerais, que utiliza a altitude, a latitude e a longitude como variáveis explicativas. A aplicação do modelo permitiu a criação de uma grade de pontos de PMA sobre a bacia do rio das velhas espaçada de 675 x 675 m. A superfície obtida a partir da krigagem dessa grade foi denominada como superfície de referência (SR).

Em seguida, utilizaram-se as coordenadas geográficas das 33 estações pluviométricas da ANA para extrair da superfície de referência os valores de PMA nestes locais. Essa amostra espacial de 33 pontos extraída da SR também foi espacializada utilizando a krigagem ordinária e gerou uma segunda superfície de PMA denominada de superfície extraída, S_EXT. As duas superfícies foram comparadas em termos das estatísticas espaciais, a saber, a média, o desvio padrão, o valor mínimo e o valor máximo.

Utilizando a álgebra de mapas do ArcGis-10 foi gerada uma superfície representando a diferença percentual entres as superfícies de referência (SR) e a extraída (S_EXT). O cálculo da diferença percentual é efetuada com a a equação 1.

$$(((\text{"S_EXT"} - \text{"SR"}) / \text{"SR"}) * 100) \quad (1)$$

Também foi elaborado o mapa de desvios padrão calculado na krigagem dos 33 pontos extraídos da superfície de referência. Esses dois mapas são utilizados na identificação de áreas com as ausências de pontos de monitoramento.

3.3 – Modelo para estimativa da precipitação média anual

O modelo de cálculo da precipitação utilizado neste trabalho, proposto por Mello e Silva (2009) para o estado de Minas Gerais, é uma regressão múltipla onde as variáveis explicativas são as coordenadas geográficas e altitude. A equação para estimativa do modelo é a seguinte:

$$F(x) = P = a_0 + a_1.A + a_2.LA.A + a_3.LO.A + a_4.LA^2 + a_5.LA.LO + a_6.LA^2.LO^2 + a_7.Ln.(LO) + a_8.LO^3 + a_9.LA^2.Ln(LA) + a_{10}.LA^2.LO^3 + a_{11}.Ln(LA).Ln(LO) + a_{12}LO^2 + a_{13}.LA^2.A + a_{14}.LO^2.A + a_{15}.LA^3 + a_{16}.Ln(LO) + a_{17}.LA^2.A^2 + a_{18}.LO^2.A^2 + a_{19}.A^2 + a_{20}.Ln(A) + a_{21}.[Ln(A)]^2 + a_{21}.[Ln(LA)]^2 \quad (2)$$

Onde:

- P: Precipitação média mensal, anual ou do período seco em um ponto específico, em mm;
- LA, LO: Latitude e Longitude do ponto em que está sendo calculada a precipitação, em graus decimais. O modelo prevê a utilização de valores positivos tanto de latitude quanto de longitude;
- A: Altitude do ponto em que está sendo calculada a precipitação, em metros;
- a_0, a_1, \dots, a_{21} : Parâmetros de ajuste do modelo estimados pela regressão (ver tabela 1).

Neste trabalho delimitou-se, como objeto de estudo, a precipitação média anual e foram utilizados os valores dos parâmetros apresentados na tabela 1, calculados por Mello e Silva (2009):

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
Variável Explicativa	Intercepto	A	LA*A	LO*A	LA^2	LA*LO	LA^2*LO^2	LN(LO)	LO^3	LA^2*LN(LA)	LA^2*LO^3
Parâmetro	101077	-1,2983	0,0276	0,02443	349,1521	-85,5015	0,15117	-28296	0,26265	-109,305	-0,00193

Tabela 1 – Parâmetros do modelo de Mello e Silva (2009) para cálculo da PMA

Para as demais variáveis da expressão, quando está sendo calculada a precipitação média anual, os parâmetros (a_{11} a a_{21}) são nulos.

4 – RESULTADOS

Na análise exploratória dos dados para a geração da superfície de precipitação média anual de referência foi observada a presença de tendência, nas direções Norte-Sul e Oeste-Leste, como pode ser visualizado na figura 03. Também foi observado que a variável é anisotrópica. Para a realização da krigagem ordinária retirou-se a tendência com a utilização de uma superfície linear e foi ajustado um modelo de variograma esférico. Os parâmetros do modelo teórico de semivariograma estão apresentados na Tabela 2. O mapa com a superfície de precipitação média de referência está apresentado na figura 6.

Na geração da superfície de PMA com os 33 pontos extraídos da superfície de referência (SR), apresentados na figura 05, também foi observada a presença de tendência, nas direções Norte-Sul e Oeste-Leste, como pode ser verificado na figura 04. Observou que a variável é anisotrópica. Para a realização da krigagem ordinária retirou-se a tendência com a utilização de uma superfície linear e foi ajustado um modelo de semivariograma esférico. Os parâmetros do modelo teórico de semivariograma estão apresentados na Tabela 2. O mapa com a superfície de precipitação média obtida com os 33 pontos extraídos da SR está apresentado na figura 7.

As estatísticas das superfícies SR e S_EXT na bacia do rio das Velhas são apresentadas na Tabela 3. A figura 08 ilustra a diferença percentual entre as superfícies SR e S_EXT calculada com a equação 1. A figura 9 apresenta os desvios padrão da krigagem para geração da superfície S_EXT.

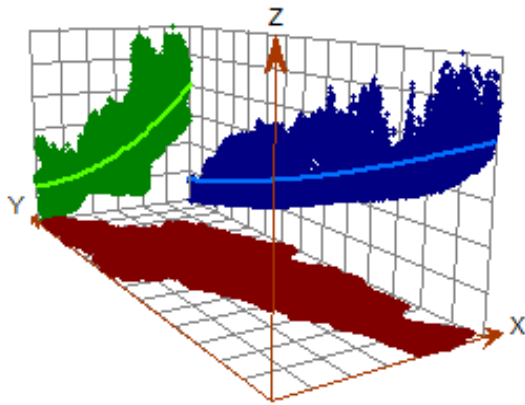


Figura 03 – Tendências nos pontos para geração da Superfície de Referência (61183 pontos)

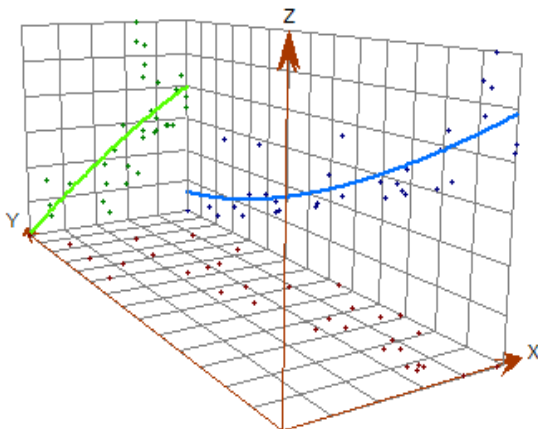


Figura 04 – Tendências nos pontos para geração da superfície Extraída (33 pontos)

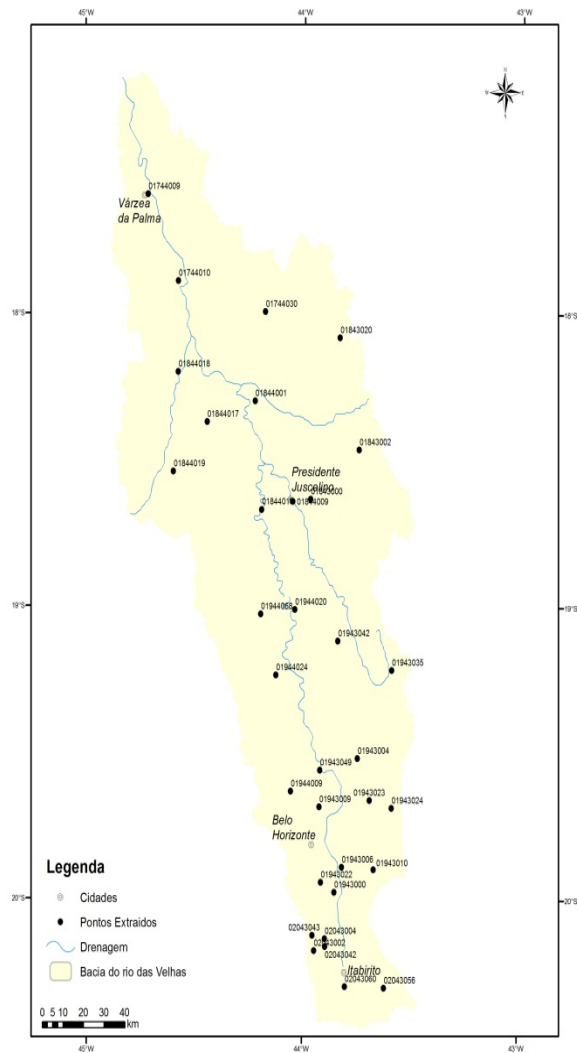


Figura 05 – Localização das estações da ANA/CPRM

Superfície	E. Pepita	Contribuição	Anisotropia	Alc. Menor	Alc. Maior
SR	0	2.826 mm ²	170,5°	25.493 m	40.500 m
S_EXT	58 mm ²	3.611mm ²	165°	33.349m	99.810 m

Tabela 2 – Parâmetros dos variogramas esféricos ajustados

Superfície	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
SR	1.070,0 mm	1.665,8 mm	1.284,5 mm	102,8 mm
S_EXT	1.047,8 mm	1.572,2 mm	1.254,3 mm	100,0 mm

Tabela 3 – Estatísticas das superfícies SR e S_EXT

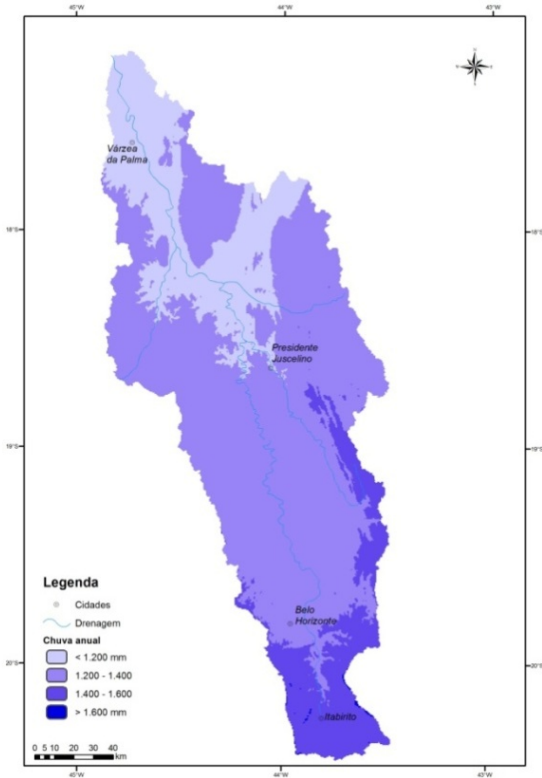


Figura 06- Superfície de PMA de referência (SR)

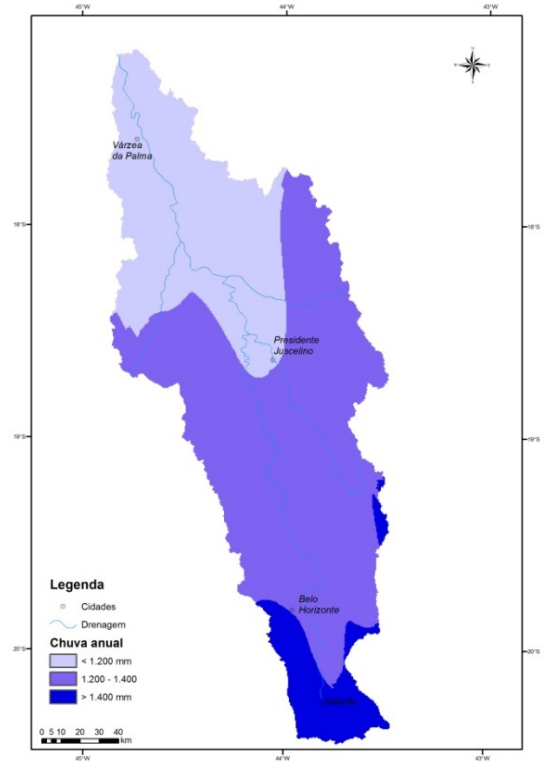


Figura 07- Superfície de PMA "extraída" (S_EXT)

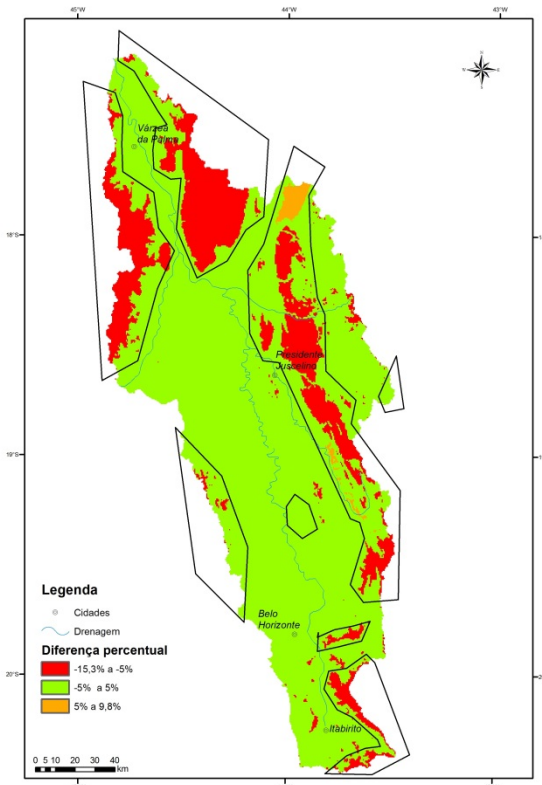


Figura 08 – Desvios Percentuais

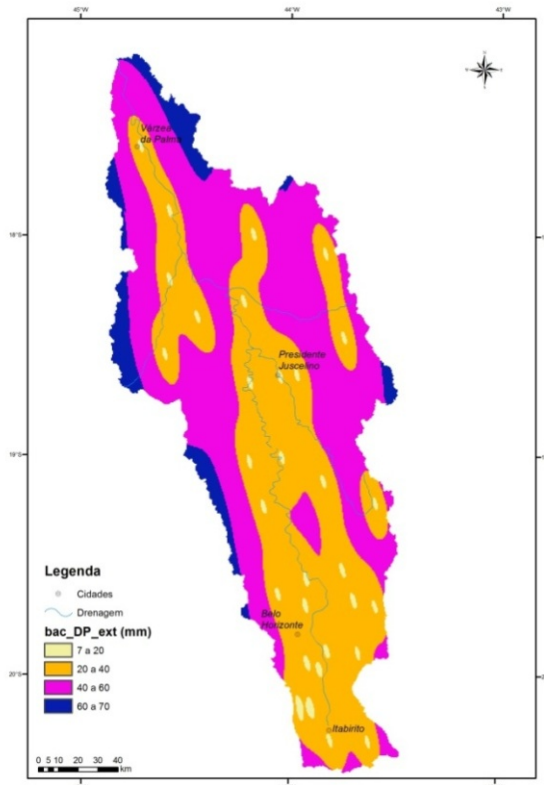


Figura 09 – Desvios Padrão S_EXT

5 – CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta a aplicação de uma metodologia para otimização da rede pluviométrica da bacia do rio das Velhas, considerando a representação espacial da precipitação média anual.

Avaliando os resultados apresentados na tabela 3 verifica-se que a distribuição espacial da rede de pluviômetros da ANA gera valores de precipitação média semelhantes aos da superfície de referência, indicando que a rede é adequada para cálculo de precipitações médias sobre a bacia do Rio das Velhas. Entretanto, em algumas regiões, pode ocorrer uma sub-estimativa da precipitação média anual, como pode ser visualizado na figura 08 (classe de desvio percentual -15,8% a -5%, classe vermelha), coincidentes com as áreas de maiores desvios padrão da krigagem da superfície S_EXT, como ilustra a figura 09.

Analisando o mapa de altitudes da figura 01 em conjunto com as regiões de sub-estimativa da figura 08, observa-se que a distribuição espacial dos pluviômetros da rede apresentou mais problemas na representação das precipitações médias anuais em regiões de maior altitude.

Ressalva-se que não é objetivo da rede básica da ANA/CPRM atender todas as possibilidades de uso da informação chuva. Entretanto, a análise realizada indica a necessidade de complementar a rede com novos pontos de observação para permitir uma melhor representação espacial da precipitação média anual. Na figura 08, os polígonos de linha preta indicam as regiões para instalação de novos pontos de monitoramento pluviométrico para melhorar a representação espacial da precipitação média anual. A definição do número de pontos a serem instalados e as respectivas localizações será o objetivo de um novo estudo.

6 - REFERÊNCIAS

- CHEREM, L. F. S., MAGALHÃES Jr., A. P., FARIA, S. D. **Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do alto rio das velhas – região central de Minas Gerais.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.12, n.1, p.11-21, 2011.
- CRESSIE, N. 1991. **Statistics for spatial data.** John Wiley and Sons Inc., New York, 900p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2005. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo dezembro.** Belo Horizonte, 2005.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso.** Goiânia, 2011.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.1, p.68-74, 2009.
- MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno.** 2002. 186p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: UFV, 2000. 448p.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A., 2001. **Geostatistics for environmental scientists.** Wiley & Sons, Chichester.