



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Análise da distribuição temporal e espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica dos Rios Jaguarí e Camanducaia¹



Lucas Machado Pontes²; Marx Leandro Naves Silva³; Diêgo Faustolo Alves Bispo⁴; Fabio Arnaldo Pomar Avalos⁵; Marcelo Linon Batista⁶; Marcelo Silva de Oliveira⁷

¹ Parte do desenvolvimento da tese do primeiro autor

² Eng. Ambiental, discente de doutorado no Programa de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, MG, Fone: (35)3829-1251, lucasmachadopontes@hotmail.com

³ Dr. Ciência do Solo, professor titular do Departamento de Ciência do Solo, UFLA

⁴ Eng. Agrônomo, discente de doutorado no Programa de Ciência do Solo, UFLA

⁵ Eng. Geógrafo, discente de mestrado no Programa de Ciência do Solo, UFLA

⁶ Eng. Agrícola, discente de doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA

⁷ Doutor, professor associado do Departamento de Ciências Exatas, UFLA, marcelo.oliveira@dex.ufla.br

RESUMO: A Bacia Hidrográfica dos rios Jaguarí e Camanducaia (BHJC) é a principal bacia formadora do rio Piracicaba. Estes três rios são atualmente responsáveis pelo abastecimento de mais de 9 milhões de habitantes nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas. Grande parte desta água é provida e renovada pela precipitação, o que destaca a importância do atual trabalho. Assim, o objetivo foi realizar uma análise da distribuição espacial e temporal da precipitação na BHJC, que sirva de subsídio para modelagem e gestão hidrológica. Para isso, foram separadas séries históricas de 40 anos hidrológicos consecutivos, entre 1970 e 2009, de 47 estações pluviométricas com dados mensais. Foi feita a análise de consistência dos dados, remoção de “outliers”, análise de tendência temporal e espacialização da precipitação total anual por Krigagem. Também foram ajustadas funções de distribuição de probabilidade para estimar o tempo de retorno do período de baixa precipitação observado entre outubro de 2013 a setembro de 2014. Com base nos resultados foi possível modelar a correlação da precipitação com a altitude, o que permitiu separar a bacia em três regiões consideradas homogêneas quanto à pluviosidade mensal e anual. Não foi observada tendência de mudança no regime pluviométrico anual. Assim, os tempos de retorno da precipitação observada entre outubro de 2013 e setembro de 2014 foram estimados em 9,97, 7,50 e 4,24 anos para o alto, médio e baixo BHJC, respectivamente. Portanto, a estiagem do ano 2014 é um evento comum, com tempo de retorno relativamente curto.

PALAVRAS-CHAVE: consistência, interpoladores espaciais, hidrologia estatística

Analysis of temporal and spatial distribution of precipitation in the basin of the rivers Jaguarí and Camanducaia¹

ABSTRACT: The basin of the rivers Jaguarí and Camanducaia (BHJC) is the main tributary of the Rio Piracicaba. These three rivers are currently responsible for the supply of more than 9 million inhabitants in the metropolitan regions of São Paulo and Campinas. All this water is only provided and renewed by precipitation, which highlights the importance of current job. The objective was to analyze the spatial and temporal distribution of rainfall in BHJC, to serve as input to modeling and environmental management. For this, historical series with 40 consecutive hydrological years, between 1970 and 2009, were separated for 47 rain gauge stations with monthly data. It was performed the consistency analysis, "outliers" removal, time series analysis and spatial distribution of annual rainfall with Kriging. Were also probability distribution functions adjusted to estimate the return period for the drought observed from October 2013 to September 2014. Based on the results we observed a strong correlation



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

of precipitation with altitude, which allowed separate the basin in three homogeneous regionson monthly and annual rainfall. There was no change in trend in annual rainfall. Thus, return periods of precipitation observed between October 2013 and September 2014 were estimated at 9,97, 7,50 and 4,24 years for the high, middle and low BHJC respectively. Therefore, the drought of 2014 is a common occurrence event with a relatively short return period.

KEY WORDS: consistency, spatial interpolators, statistical hydrology

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica dos Rios Jaguarí e Camanducaia (BHJC) constitui importante manancial de abastecimento para as maiores regiões metropolitanas do estado de São Paulo, sendo que somente a parte superior da bacia é responsável pelo abastecimento de mais de 9 milhões de habitantes na Grande São Paulo, pela transposição das águas da represa Jaguarí/Jacareí para o Sistema Cantareira(SABESP, 2014). Neste sentido, o estudo do comportamento espacial e temporal das precipitações na BHJC é imprescindível na gestão dos recursos hídricos deste importante manancial.

A Geoestatística tem se destacado como técnica de espacialização de dados ambientais, isso devido aos robustos fundamentos teóricos usados no desenvolvimento da teoria das variáveis regionalizadas, e também graças ao atual desenvolvimento computacional. Entretanto, a análise exploratória dos dados e verificação da consistência da série histórica de precipitação utilizada nas análises são fundamentais para obter resultados satisfatórios(Oliver & Webster, 2014). Realizadas estas etapas, o estudo do comportamento temporal da precipitação permite estimar as probabilidades e tempo de recorrência dos eventos.

Os objetivos foram avaliar a distribuição espacial da precipitação total anual média na BHJC. E, estimar o tempo de retorno para o evento de estiagem observado no ano hidrológico de outubro de 2013 a setembro de 2014.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica dos Rios Jaguarí e Camanducaia (BHJC) possui uma área de drenagem de 4.320 km², dos quais 74% estão no estado de São Paulo e a parte mais alta, com 1.140,80 km² em Minas Gerais(Figura 1).O clima na bacia está dividido em quatro classes climáticas segundo a classificação de Köppen. A região da Serra da Mantiqueira com clima Cwb, o médio Jaguarí com clima Cfb, e na parte mais baixa da bacia as classes Cwa e Cfa(Alvares et al., 2014).

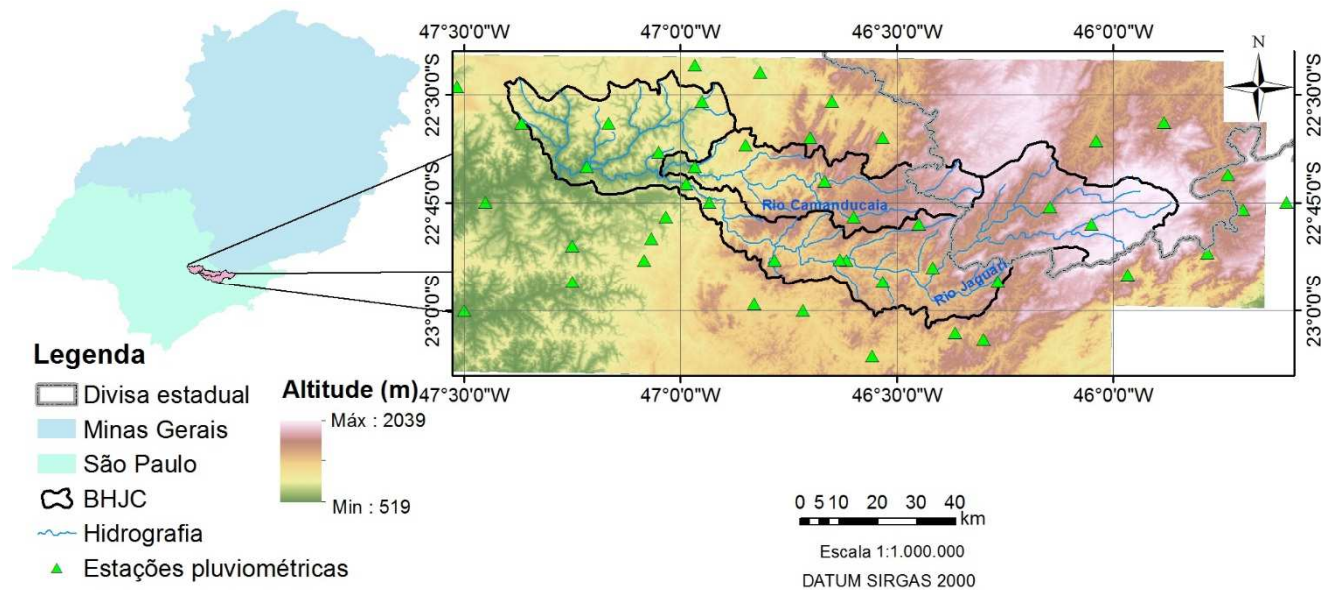


Figura 1. Localização das estações pluviométricas da ANA utilizadas no estudo.

Os dados das estações pluviométricas usadas no estudo foram obtidos na página da Agência Nacional das Águas (ANA). Foi feita a análise de dupla massa para avaliar a consistência dos dados, deste modo separou-se 45 estações pluviométricas com dados consistidos para o período de 40 anos, de 1970 a 2009 (Figura 1).

Os dados diários foram concatenados em base mensal e anual, as falhas mensais foram preenchidas pelo método da Regionalização Ponderada. Para estas séries consistidas foram aplicados os testes estatísticos de Spearman e Mann-Kendall para testar a hipótese de estacionaridade temporal, foi utilizado o software TREND[®]. Após obter a série já consistida, calculou-se a média da precipitação total anual para cada pluviômetro, a média foi usada na análise geoestatística de modo a obter um mapa preditor desta variável.

A espacialização da precipitação anual média foi feita com os princípios da Geoestatística, pela análise descritiva dos dados, modelagem da tendência e anisotropia, variografia e Krigagem. A Krigagem por regressão (KR) (Hengl et al., 2007) foi feita com base na relação da precipitação com a altitude, uma vez que é bem conhecido o efeito do relevo na formação das chuvas (Mello et al., 2012). Os cálculos geoestatísticos e os mapas foram feitos com uso do software ArcGIS 10.1[®].

Para cada uma das áreas foi selecionada uma estação com boa representatividade do comportamento característico da precipitação em cada região hidrológica identificada e, para as quais foi possível obter dados de precipitação de 2014. Foram calculadas as frequências de ocorrência das precipitações anuais e, ajustadas funções de distribuição de probabilidade (fdp) dos tipos normal e log-normal 2 parâmetros, com base na Máxima Verossimilhança (Clarke, 2001). As funções ajustadas passaram pelos testes estatísticos Kolmogorov-Smirnov para verificar a adequabilidade do ajuste.

As distribuições adequadas foram utilizadas para estimar o tempo de retorno (TR) do período de baixa precipitação observada entre outubro de 2013 a setembro de 2014. O TR foi obtido pelo inverso da probabilidade de não excedência do valor de precipitação anual observado no período supracitado (Martins et al., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A regressão linear ajustada entre altitude e precipitação gerou uma equação com intercepto de 1.271,61, e coeficiente angular de 0,289. O coeficiente de determinação R^2 da equação foi de 0,129,

considerado significativo pelo teste F. Os desvios, resíduos ou erros, formaram o semivariograma e o mapa de Krigagem apresentados na Figura 2.

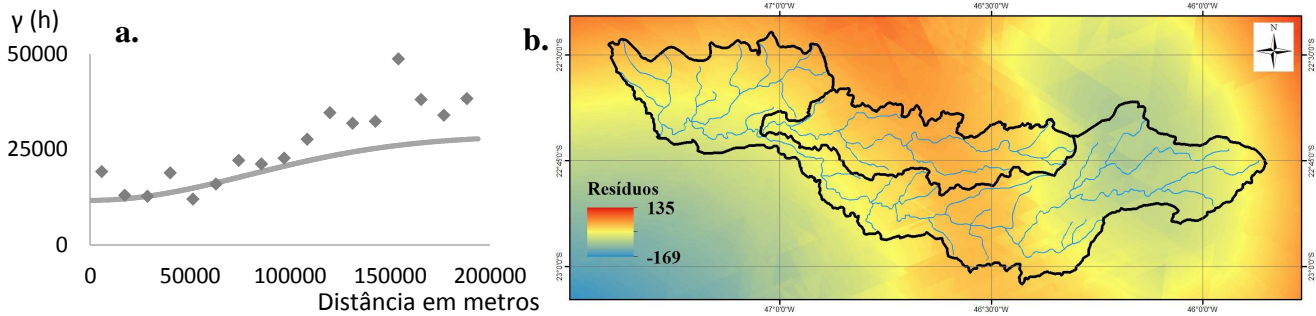


Figura 2. a. Semivariograma e **b.** Krigagem Ordinária dos resíduos.

A Figura 2a apresenta a semivariância dos resíduos em função da distância, e a estrutura do semivariograma. Na Figura 2b são apresentados os resíduos espacializados por Krigagem Ordinária. Os resíduos foram estimados em uma faixa que vai desde valores negativos (-169 mm) até positivos (135 mm). Os valores negativos representam subestimativas e os positivos são áreas com superestimativa. Estas ocorrem mais onde não há informação, ou seja, não há dados de estação pluviométrica. Com estes dados, foi possível fazer um mapa com estimador da precipitação e separar regiões mais homogêneas em termos hidrológicos (Figura 3).

Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarí

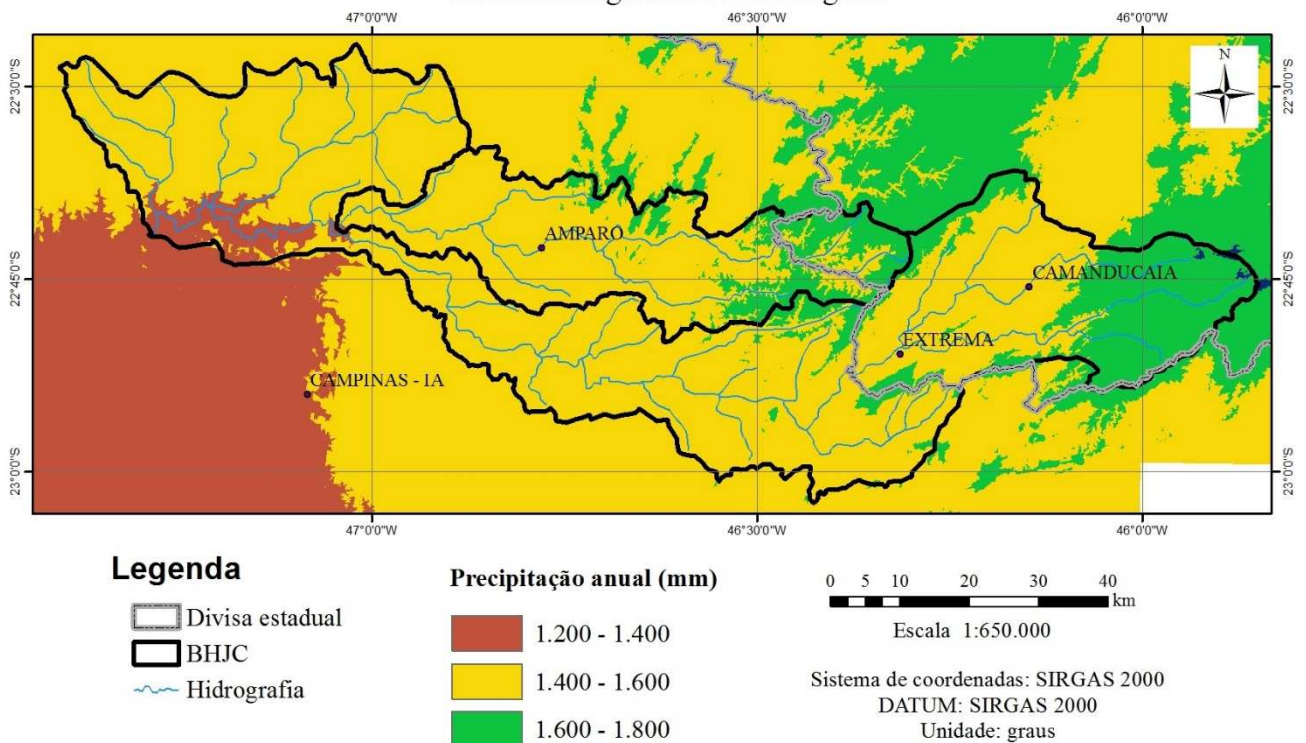


Figura 3. Representação das áreas homogêneas separadas pela espacialização com Krigagem por Regressão.

Nota-se que a altitude é a principal fonte de variação na precipitação anual, portanto, a região do alto Jaguarí na Serra da Mantiqueira apresenta os maiores valores, a região do médio Jaguarí-Camanducaia, com altitudes entre 700 e 900 metros apresenta valores intermediários de precipitação e

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

o baixo Jaguarí-Camanducaia, com altitudes entre 400 e 600 metros, as menores precipitações. Deste modo, foi possível separar estas três regiões que podem ser consideradas homogêneas em relação à precipitação, tanto no espaço quanto no tempo.

A distribuição Log-Normal tem-se adequadamente bem para séries de precipitações totais anuais em que existam valores extremos, tidos como “outliers” (Aquino et al., 2014). Os valores do teste F corroboram com a adequação das funções ajustadas, para um nível de significância de 0,05 e amostra de tamanho 40 (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas da descrição dos dados e dos resultados dos ajustes das funções de probabilidade para a precipitação total anual

Estação	Altitude (m)	Média (mm)	Desvio padrão	Δf máx.	P 2014 (mm)	TR (anos)
Campos de Jordão	1.642	1.586,15	320,95	0,072	1.197,50	7,50
Jaguariúna	570	1.337,53	369,85	0,147	934,20	4,24
Joanópolis	920	1.558,65	307,67	0,085	1221,70	9,97

Pelos resultados pode-se observar que o tempo de retorno foi menor na região baixa da bacia, mas não aumentou linearmente com a altitude. De modo geral, a precipitação observada em 2014 tem no máximo 10 anos de tempo de retorno, caracterizando o evento como de relativamente curto, ou seja, comum de ocorrer.

CONCLUSÕES

A altitude é um forte fator que condiciona a distribuição espacial e temporal da precipitação anual na Bacia dos Rios Jaguarí e Camanducaia.

A espacialização da precipitação anual permitiu separar três regiões hidrológicas homogêneas: alto Jaguarí, médio e baixo Jaguarí-Camanducaia.

O tempo de retorno da seca observada em 2014 é de no máximo 10 anos, trata-se, portanto, de um evento de ciclo relativamente curto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

AQUINO, et al. Erosividade das chuvas e tempo de recorrência para Lavras, Minas Gerais. *Revista Ceres*. Viçosa, v. 61, p. 9-16, 2014.

CLARKE, R. Hidrologia estatística. In: Tucci, C.E.M. (Ed.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, p.659-702.

HENGL, T. et al. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*. Amsterdam, v. 33, p. 1301–1315, 2007.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

MARTINS, S.G. et al. Rainfall erosivity and rainfall return period in the Experimental Watershed of Aracruz, in the Coastal Plain of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 999-1004, 2010.

MELLO, C.R. et al. Sea surface temperature (sst) and rainfall erosivity in the Upper Grande River Basin, southeast Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 36, n. 1, p. 53-59, 2012.

OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**. Amsterdam, v. 113, p. 56-69, 2014.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Sistema Cantareira, plano de contingência II: ações contingenciais e resultados**. São Paulo: 2014. 75p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20140930055501_Plano%20de%20Contingencia%20II%20-%20SABESP%20vs2.pdf>. Acesso em 13 mai. 2015.