
Análise dos níveis mínimos de umidade relativa do ar via distribuição Generalizada de Valores Extremos

Carlos José dos Reis^{1†}, Luiz Alberto Beijo², Fabricio G. Avelar³.

¹ Discente de Graduação em Matemática, Universidade Federal de Alfenas.

² Professor Adjunto IV, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas.

³ Professor Adjunto I, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas.

Resumo: A umidade relativa do ar é uma variável climática que, em níveis mínimos, pode ocasionar algumas manifestações prejudiciais à saúde humana. Dessa forma, a modelagem de situações extremas dessa variável pode auxiliar no planejamento de atividades humanas que sejam suscetíveis aos seus efeitos danosos, como a saúde pública. Assim o presente trabalho teve como objetivo verificar o ajuste da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) às séries de valores mínimos mensais de umidade relativa do ar de Piracicaba-SP (1943-2011). Objetivou-se também prever os níveis mínimos de umidade do ar para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos no município. O teste de Ljung-Box foi utilizado para verificar a independência das séries de umidade do ar e o teste de Kolmogorov-Smirnov foi empregado para avaliar a qualidade dos ajustes da distribuição GVE aos dados. Verificou-se que os meses de janeiro, março, abril e setembro foram os únicos a não apresentarem dependência em suas observações ($p > 0,05$). Nos meses referidos, a distribuição GVE mostrou-se adequada para representar as suas séries de dados ($p > 0,05$). Utilizando a distribuição GVE foram previstos os níveis mínimos de umidade relativa do ar para os tempos de retorno estabelecidos, sendo verificado no mês de setembro as menores previsões em Piracicaba-SP.

Palavras-chave: Saúde pública, Piracicaba-SP, Tempos de retorno.

Abstract: The relative humidity is a climate variable which, at minimum levels, can cause some harmful manifestation to human health. Thus, the modeling of extreme situations of this variable can be useful to planning human activities susceptible to its harmful effects, like the public health. Therefore, this work objective was verify the Generalized Extreme Values (GEV) distribution fit to monthly minimum relative humidity data of Piracicaba-SP (1943-2011). Another objective was to predict the relative humidity minimum levels to return times of 2, 5, 10, 30, 50 and 100 years. The Ljung-Box test was utilized to check the independence of relative humidity data and the goodness of the fit in the GEV distribution was verified by the Kolmogorov-Smirnov test. Only the months of January, March, April and September didn't present correlation in their data ($p > 0.05$). In this months, the GEV distribution was adequacy to represent the data ($p > 0.05$). The minimum levels of relative humidity to the return time established was predicted by the GEV and the lowest predict values were verified in September, in Piracicaba-SP.

Keywords: Public health, Piracicaba-SP, Return times.

[†] Autor correspondente: carlosjreis17@yahoo.com.br.

Introdução

Nos estudos sobre a saúde e a saúde pública, a incorporação de conceitos climáticos e ambientais vem sendo tratado com crescente relevância. Segundo Mendonça (2000), o estudo de variáveis climáticas de uma região pode nortear as ações a serem realizadas em diversas atividades, principalmente na saúde pública. As condições térmicas, assim como, a umidade do ar e a dispersão de poluentes exercem destacada influência sobre a manifestação de muitas doenças, epidemias e endemias humanas. Segundo Ayoade (2006), a influência do clima na saúde humana se dá tanto de maneira direta quanto indireta e, tanto maléfica quanto benéfica. Os extremos térmicos e higrométricos acentuam a debilidade do organismo no combate às enfermidades, intensificando processos inflamatórios e criando condições favoráveis ao desenvolvimento dos transmissores de doenças contagiosas.

Alguns estudos mostraram uma associação positiva entre a mortalidade e também entre a morbidade devido a problemas respiratórios em crianças (BRAGA et al., 1999; LIN et al., 1999; BRAGA et al., 2001). Bakonyi et al. (2004) observaram uma relação inversamente proporcional entre os poluentes, a temperatura mínima e a umidade relativa do ar. Já para as doenças respiratórias verificaram uma correlação positiva entre fumaça e poluentes. Portanto, níveis baixos de umidade relativa do ar e baixas temperaturas interferem significativamente no aumento de atendimentos ambulatoriais relacionados às doenças respiratórias.

Segundo Palácios et al. (2004), pensar na complexidade das situações ambientais ou problemas de saúde a elas relacionados significa pensar em elementos articulados entre si, conformando situações sempre mutantes e que vão construindo, em um processo dinâmico característico, a sua própria história. A compreensão desse movimento é que permite uma intervenção eficaz em situações de risco.

Pelo fato da ocorrência de níveis mínimos de umidade relativa do ar, em um dado período (dia, mês, ano), afetar a saúde e o bem estar de diversas maneiras, o aproveitamento adequado das séries históricas dessa variável é relevante para a descrição do seu comportamento, podendo essas informações serem úteis para o planejamento e a tomada de ações em atividades como a saúde pública.

O planejamento visando minimizar os impactos causados pelos eventos extremos climáticos pode ser feito mediante o uso de previsões associadas às variáveis do clima. Segundo Catalunha et al. (2002), o principal interesse é prever com base em funções densidade de probabilidade aplicadas aos dados observados, os valores que possam ocorrer em uma certa localidade. A distribuição Generalizada de Valores Extremos (*GVE*) tem sido amplamente utilizada com essa finalidade, podendo citar Rusticucci e Tencer (2008), Queiroz et al. (2010), Beijo e Avelar (2011) e Blain e Lulu (2011).

De acordo com Coles (2001), a distribuição *GVE* tem função densidade de probabilidade representada pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right] \right\} \quad (1)$$

definida em: $\{x : 1 + \xi(x - \mu)/\sigma > 0\}$, em que ξ , μ e σ denotam respectivamente os parâmetros forma, posição e escala, com $-\infty < \xi < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$ e $\sigma > 0$.

No contexto da análise de frequência local de variáveis climáticas, as distribuições candidatas para modelar as variáveis podem ser discriminadas a partir de alguns critérios, que informarão se as distribuições em estudo poderão representar adequadamente os dados amostrais. Segundo Sevruk e Geiger (1981) a escolha da melhor distribuição de probabilidade que se adapta aos dados pode ser feita com base empírica, usando técnicas visuais subjetivas ou utilizando-se testes estatísticos mais objetivos. Dentre os testes, os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e χ^2 (Qui-Quadrado) tem sido largamente utilizados (SIEGEL; CASTELLAN JÚNIOR, 2006).

Tendo em vista a importância do conhecimento sobre o comportamento dos níveis mínimos de umidade relativa do ar, o presente trabalho teve como objetivos verificar o ajuste da distribuição *GVE* às séries de valores mínimos de umidade relativa do ar de Piracicaba-SP e prever os níveis mínimos de umidade relativa do ar esperados para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos.

Material e métodos

Foram utilizadas as séries históricas de valores mínimos de umidade relativa do ar obtidas junto à Estação Convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (*ESALQ/USP*), no período de 1943 a 2011. O clima de Piracicaba, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa: tropical de altitude, com chuvas de verão e seca no inverno, sendo os meses de junho, julho e agosto mais secos. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio não é inferior a 16°C (GHIBERTO; MORAES, 2011).

Para a realização das análises, as observações de umidade relativa do ar foram agrupadas em períodos mensais. O tamanho das séries mensais de umidade relativa do ar utilizadas seguem as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia, que em sua nota técnica n°82 preconiza que o número mínimo de anos de dados climáticos para análise é de 30 anos (THOM, 1966; BEIJO et al., 2003). Para a análise das séries históricas foi utilizada a distribuição *GVE*.

Primeiramente foi utilizado o teste de Ljung-Box para verificar a independência das séries de umidade relativa do ar, conforme Ljung e Box (1978). Posteriormente foi realizada a estimação dos parâmetros pelos estimadores de máxima verossimilhança e aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a qualidade dos ajustes da distribuição *GVE* às séries de dados mensais. Para ambos testes aplicados foi adotado o nível de significância de 5%.

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), conhecidas as estimativas dos parâmetros, os quantis da distribuição *GVE* podem ser calculados por:

$$z(T) = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{-\xi} \right\} \quad (2)$$

em que T é o tempo de retorno em anos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R Development Core Team (2011).

Resultados e discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados das estatísticas descritivas dos níveis mínimos de umidade relativa do ar para cada mês. Observa-se na Tabela 1 que o menor valor do coeficiente de variação (*CV*) foi 13,44% e o maior, 26,30%. Conforme a classificação dos limites do *CV* propostos por Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade dos dados, em todos os meses, foi classificada como média, apresentando valores entre 12% e 60%.

TABELA 1: Estatísticas descritivas dos níveis mínimos de umidade relativa do ar de Piracicaba-SP, no período de 1943 a 2011.

Mês	Estatísticas descritivas (%)					Máximo
	Mínimo	Desvio padrão	Mediana	Média	Coefficiente de variação (%)	
Janeiro	7,60	12,17	62,00	59,54	20,44	76,00
Fevereiro	7,00	10,07	63,00	62,03	16,24	80,00
Março	7,90	9,69	64,00	63,16	15,34	85,00
Abril	5,70	11,93	63,00	61,06	19,53	74,00
Mai	18,90	8,47	61,00	61,59	13,76	81,00
Junho	6,00	12,91	60,00	58,47	22,08	83,00
Julho	36,00	7,24	53,00	53,84	13,44	73,20
Agosto	7,00	9,07	44,00	44,34	20,45	63,50
Setembro	4,10	11,11	42,00	42,25	26,30	65,00
Outubro	23,00	9,10	47,90	47,82	19,04	66,00
Novembro	7,00	10,64	49,40	49,70	21,41	69,00
Dezembro	32,00	9,21	56,00	55,89	16,48	78,00

Ainda na Tabela 1, observa-se que os meses de julho a outubro apresentam, em média, os menores valores de umidade do ar, sendo setembro o mês com a menor média (42,25%). A média dos níveis mínimos de umidade do ar nos meses oscilou entre 42,25% e 63,16%, porém os valores mínimos observados em todos os meses é inferior a 40%. De acordo com a escala empírica de umidade divulgada pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI, 2012), os mínimos observados da maioria dos meses estudados encontra-se nos estados de emergência (abaixo de 12%) e alerta (entre 12% e 20%).

Analisando os resultados do teste de Ljung-Box (Tabela 2), pode-se verificar que as séries mensais de janeiro, março, abril e setembro foram às únicas que não apresentaram dependência ($p > 0,05$). Algumas variáveis hidrológicas ou hidrometeorológicas carregam em suas séries históricas dependência nas observações mensais amostradas de um ano para o outro, o que está de acordo com a análise de Palácios et al. (2004) acerca da complexidade das condições ambientais, em que há a atuação de elementos articulados entre si.

Sartori et al. (2010) utilizando séries históricas de umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e temperatura do ar, provenientes da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado da UNESP de Botucatu-SP, relativas ao período de 1988 a 2007, verificaram que as três variáveis climáticas apresentaram forte dependência temporal.

TABELA 2: Resultados do teste de independência de Ljung-Box (*valor p*) referentes às séries mensais de umidade relativa do ar de Piracicaba-SP.

Mês	Ljung-Box	Mês	Ljung-Box
Janeiro	0,074	Julho	0,018
Fevereiro	0,013	Agosto	0,025
Março	0,159	Setembro	0,093
Abril	0,068	Outubro	0,001
Mai	0,048	Novembro	0,043
Junho	0,001	Dezembro	0,004

A distribuição *GVE* pode ser ajustada às observações dos meses que satisfizeram às condições de independência. Na Tabela 3, verifica-se que a distribuição *GVE* ajustou-se às séries dos meses de janeiro, março, abril e setembro ($p > 0,05$).

TABELA 3: Estimativas dos parâmetros μ , σ e ξ com seus respectivos erros padrão [] e resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (*KS*) (*valor p*) referentes ao ajuste da distribuição Generalizada de Valores Extremos aos dados de umidade do ar de Piracicaba-SP.

Mês	Estimativas			<i>KS</i>
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\xi}$	
Janeiro	57,673 [1,620]	12,383 [1,264]	-0,666 [0,064]	0,412
Março	61,156 [0,895]	8,679 [0,324]	-0,363 [2×10^{-6}]	0,633
Abril	60,129 [1,460]	11,409 [1,284]	-0,815 [0,08]	0,248
Setembro	38,652 [1,519]	11,391 [1,045]	-0,333 [0,07]	0,629

Embora trabalhando com séries históricas de vazões mínimas de 1 e de 7 dias de 47 estações fluviométricas, obtidas junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (*ANEEL*), Queiroz et al. (2010) verificaram que a distribuição *GVE* se ajustou adequadamente às essas séries, conforme os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Blain e Lulu (2011) analisando dados anuais absolutos de temperatura mínima e máxima de seis municípios do Estado de São Paulo, pertencentes ao Instituto Agrônomo da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (*IAC/SAA-SP*), verificaram que as distribuições *GVE* e Normal foram as que proporcionaram as melhores descrições analíticas das probabilidades de ocorrência associadas aos valores de temperatura mínima absoluta do ar nas seis localidades analisadas.

Os níveis mínimos de umidade do ar mensais esperados para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos, obtidos via distribuição *GVE* podem ser observados na Figura 1. Escolhendo o mês de setembro e o tempo de retorno de 50 anos, uma interpretação das informações pode ser feita do seguinte modo: para o período de retorno de 50 anos, espera-se que em pelo menos um dia desse mês, que o valor mínimo da umidade relativa do ar seja inferior ou igual a 18,98%.

Pode-se verificar que no mês de setembro foram previstos os menores níveis de umidade do ar. Isso ocorre porque o baixo índice de umidade é um fenômeno climático tipicamente da primavera. A região sudeste é caracterizada por invernos secos e início da primavera tipicamente quente e seca. A baixa umidade do ar no início da primavera é também acompanhada pela maior poluição por poeiras e resíduos de queimadas, o que torna essas condições climáticas favoráveis ao aumento das moléstias respiratórias nesse período (MENDONÇA, 2000; BAKONYI et al., 2004; CEPAGRI, 2012).

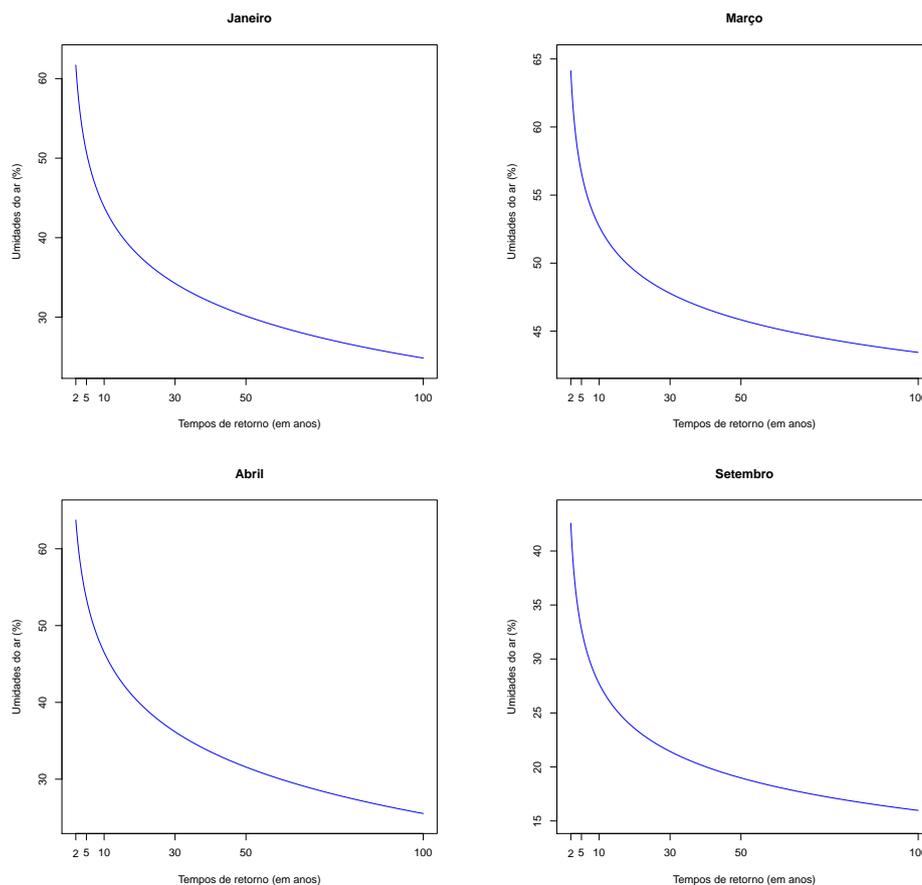


Figura 1: Níveis mínimos de umidade relativa do ar em Piracicaba-SP, para diferentes tempos de retorno.

Verificou-se no mês de setembro, que para os tempos de retorno de 10, 30, 50 e 100 anos, a distribuição *GVE* previu valores mínimos de umidade do ar iguais a 27,70%, 21,44%, 18,98% e 15,98%, respectivamente. De acordo com a escala empírica de umidade divulgada pelo *CEPAGRI* (2012), as previsões obtidas via distribuição *GVE* se encontram nas faixas de alerta (entre 12% e 20%) e atenção (entre 20% e 30%), sendo sugeridas para essas faixas algumas recomendações quanto aos cuidados a serem tomados com a saúde e as ações a serem realizadas pela defesa civil.

Conclusões

Os meses de janeiro, março, abril e setembro foram os únicos a não apresentarem dependência em suas séries de dados. A distribuição *GVE* ajustou-se nos referidos meses e pode ser utilizada na análise desse conjunto de dados. Os menores níveis de umidade relativa do ar em Piracicaba-SP foram previstos para o mês de setembro, podendo essas previsões serem utilizadas no planejamento de ações dos órgãos de saúde e da defesa civil.

Agradecimentos

Agradecimentos à FAPEMIG e à UNIFAL pelo apoio fornecido para a realização desse trabalho.

Referências

- AYOADE, J. O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. 11.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.
- BAKONYI, S. M. C.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA, L. F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v.38, n.5, p.695-700, 2004.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.11, n.1, p.141-147, 2003.
- BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Distribuição Generalizada de Valores Extremos no estudo de dados climáticos: uma breve revisão e aplicação. *Revista da Estatística da UFOP*, Ouro Preto, vol.1, 2011.
- BLAIN, G. C.; LULU, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperatura máxima e mínima do ar no estado de São Paulo: tendências, periodicidades e probabilidades associadas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v.26, n.1, 29-40, 2011.
- BRAGA, A. L. F.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; PEREIRA, L. A. A.; KISHI, H. S.; PEREIRA, J. C. R.; ANDRADE, M. F. et al. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. *J. Environ Med.*, n.1, p.95-102, 1999.
- BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; MENEZES, J. J. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; LIN, C. A. et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol*, n.31, p.106-13, 2001.
- CATALUNHA, M. J.; SEDYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; BOECHAT, C. P.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.
- CEPAGRI - *Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura*, Universidade de Campinas. Acesso em: 10 fev. 2012. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>.
- COLES, S. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer Verlag, Springer Verlag, 2001. 224p.
- ESALQ/USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. *Base de Dados Meteorológicos*. Acesso em: 8 fev. 2012. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/posto.html>.
- GHIRBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da Condutividade hidráulica em um latossolo Vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.1177-1188, 2011.
- LIN, A. C.; MARTINS, M. A.; FARHAT, S. L.; POPE III C. A.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; ANASTÁCIO, M. V. et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo,

- Brazil. *Pediatr Perinat Epidemiol*, n.13, p.475-88, 1999.
- LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, v.65, p.297-303, 1978.
- MENDONÇA, F. Aspectos da interação clima-ambiente-saúde humana: da relação sociedade-natureza à (in)sustentabilidade ambiental. *Ra'e Ga*, Curitiba: editora UFPR, n.4, p.85-99, 2000.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. *Hidrologia Estatística*. Belo horizonte: CRPM, 2007. 552p.
- PALÁCIOS, M.; CÂMARA, V. M.; JESUS, I. M. Considerações sobre a epidemiologia no campo de práticas de saúde ambiental. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.13, n.2, p.103-113, 2004.
- QUEIROZ, M. M. F.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, B. M.; LOST, C. Estudo de vazões mínimas $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$ de rios do Paraná segundo distribuição Generalizada. *Revista Verde*, Mossoró, v.5, n.3, p.32-46, 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2011. ISBN 3-900051-07-0, URL [http://www.R-project.org/..](http://www.R-project.org/)
- RUSTICUCCI, M.; TENCER, B. Observed changes in return values of annual temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, v.21, p.5455-5467, 2008.
- SARTORI, A. A. C.; SILVA, A. F.; RAMOS, C. M. C.; ZIMBACK, C. R. L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-SP. *Irriga*, Botucatu, v.15, n.2, p.131-139, abril-junho, 2010.
- SEVRUK, B.; GEIGER, H. *Selection of distribution types for extremes of precipitation*. Geneva: World Meteorological Organization Report, n.15, 1981. 65p.
- SIEGEL, S.; N. J. CASTELLAN JÚNIOR. *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 448p.
- THOM, H.C.S. *Some methods of climatological analysis*. Genebra: Word Meteorological Organizatios. 1966. 103p.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Application of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. 385p.