Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Predição da precipitação a partir das coordenadas geográficas no estado do Rio Grande do Sul¹

Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra², Rita de Cássia Fraga Damé², Marcia Aparecida Simonete³

²Docentes do Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Emails: cfeitei@ig.com.br; ritah2o@hotmail.com Autor correspondente.

³Bolsista de Pós-Doutorado do Centro Agroveterinário, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil. Email: maapasi@ig.com.br

¹Trabalho apresentado em forma de resumo no X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CLIA/CONBEA, 2012, Londrina/PR

Artigo recebido em 16/07/2014 e aceito em 28/12/2015

RESUMO

Com base no fato de que a altitude, a latitude e a longitude influenciam as características climáticas de uma região, objetivou-se com o presente trabalho verificar a existência de ganho de informação quando é aplicado o procedimento estatístico de regressão linear múltipla, na predição dos totais precipitados anuais, mensais e sazonais, para alguns municípios localizados no estado do Rio Grande do Sul. Para tanto foram utilizados dados de precipitação diária de 26 estações climatológicas, além de outras 7, utilizadas para a validação dos modelos lineares propostos. Os dados foram obtidos junto a Agência Nacional de Água (ANA), os quais pertencem a sete mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul. Após a constituição das séries, os valores de precipitação foram ajustados a partir de modelos lineares, utilizando a regressão linear múltipla, em que a variável dependente foi a precipitação e as variáveis independentes, as coordenadas geográficas latitude e longitude, e a altitude. A predição dos valores das precipitações anuais, sazonais e mensal, em função das coordenadas geográficas e altitude, pode ser realizada a partir da regressão linear múltipla. Das três variáveis analisadas, a latitude parece ser a que mais influencia na estimativa dos valores de precipitação.

Palavras-chave: regressão linear múltipla, latitude, variáveis meteorológicas.

Prediction of rainfall from geographical coordinates of the state of Rio Grande do Sul

ABSTRACT: Based on the fact that the altitude, latitude and longitude influence climate characteristics of a region, the aim of the present work was to verify the existence of information gain when the statistical procedure of multiple linear regression is applied for the prediction of total precipitates annual, monthly and seasonal, for some municipalities in the state of Rio Grande do Sul were used daily rainfall data from 26 weather stations. Therefore, besides other 7, used for validation of the proposed linear models. Data were obtained from the Agência Nacional de Águas (ANA), which belong to seven mesoregions the state of Rio Grande do Sul. After the formation of the series, precipitation values were adjusted from linear models using linear regression Multiple, in which the dependent variable was the precipitation and the independent variables, the geographic coordinates latitude and longitude, and altitude. The prediction of the values of annual, seasonal and monthly precipitation, depending on the geographical coordinates and altitude, can be performed from the multiple linear regression. Of the three variables, the latitude seems to be that most influences the estimation of precipitation.

Keywords: multiple linear regression, latitude, meteorological variables.

Introdução

Dentre os componentes climáticos, a precipitação pluvial é considerada como um dos elementos que mais interfere na produção agrícola (Silva et al., 2009; Praela-Pantano, 2011), principalmente nas regiões tropicais, onde o regime pluvial é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al., 2007).

Devido à distribuição irregular das precipitações, os estudos nessa área apontam preocupação com os fenômenos pluviais, visando, principalmente, o planejamento de recursos hídricos para estudos hidrológicos e também a diminuição dos riscos nas atividades do setor agrícola (Silva et al., 2007; Freire et al., 2012). Nesse sentido, estudos que buscam estabelecer a melhor relação entre a oferta e a demanda de água,

a partir do aprimoramento de previsões da precipitação pluvial, têm sido intensificados, cujo objetivo principal é a utilização de modelos hidrológicos em escala intrasazonal (Becerra et al., 2009).

Uma forma de previsão da precipitação pluvial é a regionalização, ou seja, uma análise considerando o tempo e o espaço, cujo tratamento dos dados deve ser estatístico. Nesse sentido, Mello e Silva (2009) com o propósito de ajustar modelos lineares para a predição da precipitação média mensal, anual e no período seco, baseados nas coordenadas geográficas e altitude para o estado de MG, concluíram que os modelos ajustados para as precipitações mensais e anuais apresentaram parâmetros estatísticos de boa qualidade. No entanto, para a modelagem em período seco, sugerem que outras variáveis, como o relevo devem ser consideradas, em função das características de precipitações orográficas da região.

Um et al. (2011) utilizaram a análise fatorial e a regressão múltipla entre nove variáveis topográficas e a precipitação na Coréia, encontrando uma correlação positiva com a latitude, e negativa com a longitude. Com relação aos efeitos orográficos sobre a variável resposta, a latitude não foi adequada para a estimativa da precipitação. Cargnelutti Filho et al. (2006) com dados de temperatura mínima média decendial do ar investigaram se a variável pode ser estimada em função da altitude, latitude e longitude, utilizando 41 municípios do RS. Os autores concluíram que em todos os decêndios, houve correlação negativa e significativa entre a temperatura e a altitude, evidenciando diminuição da mesma com o aumento da altitude. Encontraram diminuição da temperatura com o aumento da latitude, no sentido norte-sul e, quanto à variável longitude, o efeito direto sobre a temperatura foi negligível na maioria dos decêndios.

Pode-se inferir que, no RS, a longitude não influencia a variação da temperatura. Diante disso, espera-se que em modelos de estimativa da temperatura, a altitude e a latitude estejam presentes. Fritzsons et al. (2008) relacionaram a altitude e a temperatura como uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná, e também encontraram que a altitude mostrou maior influência sobre a temperatura, seguido da latitude e longitude, respectivamente.

A inexistência de informações de variáveis meteorológicas de algumas regiões, associada à disponibilidade das coordenadas geográficas e da altitude, e a importância da precipitação pluvial em atividades da agricultura, justifica a necessidade de modelos para a sua estimativa, a partir da latitude,

longitude e altitude. Com base no fato de que as coordenadas geográficas e a altitude influenciam as características climáticas de uma determinada região, objetivou-se verificar a existência de ganho de informação, quando é aplicada a regressão linear múltipla, na predição dos totais precipitados anuais, mensais e sazonais, para 26 municípios no estado do RS.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado a partir dos dados de precipitação diária de 26 estações climatológicas obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Águas (www.hidroweb.ana.gov.br) (ANA, 2013), pertencentes a 7 mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Além destas foram consideradas outras 7 estações, utilizadas para a validação dos modelos lineares propostos. Na Figura 1 pode-se observar a espacialização das estações pluviométricas utilizadas no presente trabalho, enquanto que nas Tabelas 1 e 2, a caracterização das mesmas.

A partir do banco de dados de precipitação, expressos em altura de lâmina d'água (mm), foram constituídas as séries anual, mensal e sazonal, considerando as estações do ano, para o período de 1913 a 2009 (N = 97 anos). As coordenadas geográficas latitude e longitude, em graus, e altitude, em m, de cada estação climatológica também foram obtidas diretamente da base de dados da ANA.

Após a constituição das séries, os valores de precipitação foram ajustados a partir de modelos lineares, utilizando a regressão múltipla (Campos-Aranda, 2011), em que a variável dependente foi a precipitação e as variáveis independentes, as coordenadas geográficas latitude e longitude, e a altitude. Para tanto foi utilizado o programa "Statistical Package for Social Science for Windows" (SPSS), considerando, inicialmente, todas as três variáveis independentes e posteriormente, mediante um procedimento de seleção de regressão múltipla, foram excluídas automaticamente as variáveis não significativas, utilizando o teste F de Fisher (Blain e Moraes, 2011), com a hipótese de nulidade, H_0 : em que uma ou mais variáveis independentes (altitude e/ou longitude, por exemplo) não ajusta uma porção significativa da variável dependente (precipitação) a mais que a latitude. Assim, foi considerado um ajuste adequado quando a estatística calculada de F for maior do que o valor da inversa de F, para α igual a 0,05, considerando o mesmo número de graus de liberdade, uma vez o número de dados das séries envolvidas são iguais.

Figura 1. Localização das 33 estações pluviométricas nas 7 mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul

Tabela 1. Caracterização das 26 estações de precipitação localizadas nas 7 mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul, utilizadas para a modelagem da precipitação.

Estação	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
3154001	Bagé	31°18'17"	54°07'11"	230
2850001	Bom Jesus	28°40'07"	50°26'31"	1048
3052002	Cachoeira do Sul	30°02'00"	52°53'00"	73
2951008	Caxias do Sul	29°11'39"	51°11'09"	760
2835005	Cruz Alta	28°37'28"	53°36'12"	432
3052005	Encruzilhada do Sul	30°32'37"	52°31'25"	428
2853025	Ijuí	28°23'17"	53°54'50"	448
2753003	Iraí	27°11'20"	53°15'12"	247
2953011	Júlio de Castilhos	29°13'00"	53°40'00"	516
2851014	Lagoa Vermelha	28°13'19"	51°30'45"	842
2852020	Passo Fundo	28°13'33"	52°24'12"	684
3152014	Pelotas	31°45'00"	52°21'00"	13
3051011	Porto Alegre	30°03'13"	51°10'24"	47
3252020	Rio Grande	32°04'44"	52°10'00"	3
2953017	Santa Maria	29°43'27"	53°43'12"	95
2754005	Santa Rosa	27°51'00"	54°25'00"	360
3353007	Santa Vitória do Palmar	33°31'57"	53°20'58"	24
3055001	Santana do Livramento	30°53'00"	55°32'00"	328
2856005	São Borja	28°39'44"	56°00'44"	83
3054011	São Gabriel	30°20'00"	54°19'00"	124
2854011	São Luiz Gonzaga	28°24'00"	54°58'00"	245
2951030	Taquari	29°48'00"	51°49'00"	76
2949002	Torres	29°20'41"	49°43'41"	31
2957001	Uruguaiana	29°45'00"	57°05'00"	62
2850011	Vacaria	28°31'00"	50°57'00"	1050
2851042	Veranópolis	28°56'14"	51°33'11"	705

Tabela 2. Caracterização das 7 estações de precipitação utilizadas para validação das equações geradas, representativas das 7 mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul.

Mesorregião	Estação	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Centro Ocidental	2954001	Cacequi	29°52'43''	54°49'31''	100
Centro Oriental	2955012	Santa Cruz do Sul	29°43'00''	56°26'00''	53
Metropolitana	2950021	Osório	29°53'00''	56°16'00''	10
Nordeste	2951003	Bento Gonçalves	29°09'00''	51°31'00''	640
Noroeste	2753005	Palmeira das Missões	27°53'00''	53°26'00''	634
Sudeste	3053002	Caçapava do Sul	30°30'00''	53°29'00''	450
Sudoeste	3053002	Alegrete	29°47'00''	55°46'00''	121

Dos procedimentos de seleção dos melhores conjuntos de variáveis independentes, *backward*, *forward*, *stepwise*, foi utilizado o *backward* (eliminação para trás), que considera, inicialmente, o modelo contendo todas as variáveis independentes potenciais e, em cada passo, se necessário, de acordo com um critério pré-estabelecido, elimina alguma variável (Lynch, 1996).

Para comparar os dados estimados pelos modelos obtidos por regressão linear múltipla e pelo procedimento *backward* com os observados, a

partir das 7 estações consideradas na validação, foram utilizados os seguintes índices de desempenho estatístico: Erro Quadrático Médio (EQM), Erro Padrão de Predição (EPP) e Fator de Viés (FV) (De Maria et al., 2008).

Resultados e discussão

As estatísticas básicas dos valores médios de precipitação mensal, sazonal e anual para as 26 estações localizadas no estado do Rio Grande do Sul, considerando 97 anos de informação (1913 a 2009), são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estatísticas básicas dos valores médios de precipitação mensal, sazonal e anual para as 26 estações localizadas no estado do Rio Grande do Sul, para o período de 1913 a 2009.

Período	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	L.I. (95%)	L.S. (95%)	Mediana (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Jan	131,41	18,82	14,32	124,18	138,65	127,11	94,86	163,09
Fev	128,26	14,53	11,33	122,67	133,84	124,94	101,41	159,77
Mar	123,65	15,04	12,16	117,87	129,43	120,16	95,21	155,36
Abr	129,46	24,25	18,73	120,14	138,78	125,65	94,22	180,73
Mai	127,24	17,94	14,10	120,34	134,13	140,19	97,96	157,40
Jun	137,24	21,50	15,66	128,98	145,50	129,86	90,12	167,12
Jul	127,73	18,92	14,81	120,46	135,00	126,45	75,95	152,76
Ago	127,55	20,01	15,69	119,86	135,24	126,49	70,27	159,81
Set	153,36	22,50	14,67	144,72	162,01	157,49	105,81	192,51
Out	151,02	28,35	18,77	140,13	161,92	153,14	92,89	197,50
Nov	115,28	20,23	17,55	107,50	123,05	114,35	76,80	144,20
Dez	120,86	22,95	18,99	112,04	129,69	124,31	68,57	148,62
Inverno	130,84	18,49	14,13	123,73	137,95	136,51	78,78	157,18
Primavera	151,80	24,39	16,06	142,43	161,18	154,17	97,20	184,51
Verão	126,84	17,23	13,58	120,22	133,47	126,95	91,72	155,70
Outono	126,78	16,76	13,22	120,34	133,22	125,88	98,61	159,39
Anual	1573,07	179,53	11,41	1504,06	1642,07	1583,06	1218,94	1818,02

D.P.: desvio padrão; C.V.: coeficiente de variação (%); LI (95%): limite inferior do intervalo de confiança para média com 95% de confiança; LS (95%): limite superior do intervalo de confiança para média com 95% de confiança; Md: Mediana (mm); Mínimo: valor mínimo (mm); Máximo: valor máximo (mm).

Os valores médios de precipitação mensal revelam que não é possível definir com clareza os meses do ano correspondentes às estações seca e

chuvosa, evidenciando que na região sul, a distribuição da precipitação média mensal mostra-se regular, oscilando entre 115,28 e 153,36 mm, para os meses de novembro e setembro,

respectivamente. Blain et al. (2009) avaliaram a variabilidade amostral dos parâmetros da distribuição Gama, relativos a séries mensais de precipitação pluvial de apenas duas regiões (Campinas-SP e Pelotas-RS), para possível aplicação na elaboração do zoneamento agrícola, bem como para um maior entendimento do tema variações/mudanças climáticas. Os autores verificaram que ao contrário do observado na região de Campinas-SP, que possui uma estação seca definida, de maio a agosto, na região de Pelotas-RS, as chuvas são distribuídas de forma semelhante ao longo do ano.

Os coeficientes de variação (C.V.) da precipitação mensal, sazonal e anual mostram que a variabilidade desse atributo é considerada, segundo Faria Filho et al. (2010), média ($10\% < C.V. < 20\%$), com valores que variam de 11,33 a 18,99%, para o mês de fevereiro e dezembro, respectivamente. Silva et al. (2003), com o objetivo de estudar o comportamento temporal das chuvas mensais de Uberaba/MG, utilizando a série das precipitações pluviométricas mensais e anuais de 1914 a 2000, encontraram valores de C.V. relativamente altos, principalmente na estação seca, com valores de 61,37 e 161,08%. Os autores associam os altos valores à ausência total de chuvas em alguns anos da série, no período da seca, o que indica que estimativas feitas com a média aritmética podem apresentar precisão e confiabilidade duvidosas, não sendo essa medida de posição a mais adequada para representar a variável, pois é altamente influenciada por valores extremos.

Com relação a escala anual, o valor de C.V. foi de 11,41%, evidenciando que a precipitação anual é relativamente pouco variável. Esse fato ocorre por esse valor constituir o somatório de toda a chuva do ano e, conseqüentemente, meses relativamente secos, em determinados anos, são compensados por precipitações de meses chuvosos e, no total, os valores finais de ano para ano são mais uniformes do que dentro de cada ano.

Com o objetivo de verificar a possibilidade de utilização das variáveis latitude, longitude e altitude, na predição dos valores das precipitações média mensal, sazonal e anual, são apresentados na

Tabela 4, os coeficientes de correlação de Pearson para as 26 estações estudadas. Verifica-se que para a variável latitude, os valores de coeficiente de correlação apresentaram-se significativos e altamente significativos para todos os períodos analisados, à exceção do mês de julho, em que as chuvas frontais prevalecem no estado (Menezes et al., 2008), evidenciando que para este período a latitude não causa influência na predição da precipitação mensal.

Para os períodos de fevereiro, março, outubro, novembro e outono, os coeficientes mostraram-se não significativos para as variáveis longitude e altitude, o que significa que os valores de precipitação média mensal e no outono deverão ser estimados considerando apenas a latitude. Das três variáveis analisadas, a latitude parece ser a que mais influencia na estimativa dos valores de precipitação. Mello e Silva (2009) também encontraram que a latitude e a altitude proporcionaram os maiores valores de coeficientes, o que reflete as características climáticas e a influência orográfica no comportamento das precipitações da região. Os autores consideram que é possível modelar adequadamente os totais precipitados em função das coordenadas geográficas e altitude; desta forma, quanto maiores a latitude e a altitude, maiores também serão os totais precipitados. Há, portanto, reflexo das características climáticas e influência orográfica no comportamento pluvial das regiões do Estado onde, sob maiores latitudes, há predominância de climas mais frios, do tipo Cwa (86,7%) e Cwb (13,3%) pela classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

Com relação ao efeito das coordenadas geográficas e da latitude na estimativa da temperatura, nos estados do RS e PR, Cargnelutti Filho et al. (2006) e Fritzsos et al. (2008) encontraram correlação negativa e significativa entre a temperatura e a altitude, evidenciando diminuição da mesma com o aumento da altitude, diminuição da temperatura com o aumento da latitude, e nenhuma evidência do efeito da variável longitude.

Tabela 4. Valores de coeficiente de correlação de Pearson dos valores de precipitação média mensal, sazonal e anual em função das coordenadas geográficas latitude e longitude, e altitude, para as 26 estações localizadas no Rio Grande do Sul.

Período	Coeficiente de Correlação de Pearson		
	Latitude	Longitude	Altitude
Jan	0,853**	0,121 ^{ns}	0,571**
Fev	0,492*	0,121 ^{ns}	0,273 ^{ns}
Mar	0,411*	-0,358 ^{ns}	-0,007 ^{ns}
Abr	0,473*	-0,694**	-0,015 ^{ns}
Maio	0,660**	-0,460*	0,183 ^{ns}
Jun	0,512**	0,158 ^{ns}	0,428*
Jul	0,244 ^{ns}	0,574**	0,481*
Ago	0,411*	0,729**	0,692**
Set	0,710**	0,417*	0,715**
Out	0,873**	-0,297 ^{ns}	0,386 ^{ns}
Nov	0,722**	-0,274 ^{ns}	0,309 ^{ns}
Dez	0,858**	-0,098 ^{ns}	0,583**
Inverno	0,722**	-0,274 ^{ns}	0,309 ^{ns}
Primavera	0,710**	0,417*	0,715**
Verão	0,858**	-0,098 ^{ns}	0,583**
Outono	0,873**	-0,297 ^{ns}	0,386 ^{ns}
Anual	0,844**	-0,025 ^{ns}	0,537**

**Significativo a 1% de probabilidade de erro; *significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

No trabalho de Fenille e Cardim (2007), cujo objetivo foi analisar a variabilidade espacial da altitude e das precipitações pluviais, além da correlação existente entre estas variáveis para o estado de São Paulo, encontraram uma forte dependência espacial e, portanto, diretamente correlacionadas. Os resultados mostraram que as variações de altitude ocorrem de forma menos acentuada nas regiões não litorâneas do estado, ou mais precisamente nas regiões afastadas do litoral. Já para a região sul do Brasil, devido à sua localização latitudinal, sofre mais influência dos sistemas baroclínicos de latitudes médias, em que os sistemas frontais são os principais causadores de chuvas durante todo o ano (Menezes et al., 2008; Mello e Silva, 2009).

As equações de regressão linear múltipla e os valores do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$), para a estimativa dos valores de precipitação média mensal, sazonal e anual das 26 estações estudadas são apresentados na Tabela 5. Considerando o procedimento *Backward*, para

verificar o ganho de qualidade estatística na modelagem da precipitação são apresentados na Tabela 6, além das equações, a variável removida e também os valores de $R^2_{ajustado}$.

Com o objetivo de representar a variável dependente de interesse, tem-se buscado desenvolver modelos parcimoniosos, ou seja, àqueles que em que há o menor número de parâmetros, sem a perda da representatividade (Oliveira et al., 2013). Como forma de selecionar o modelo mais adequado na estimativa da variável dependente, pode-se utilizar como critério, àquele que leva em conta os valores de $R^2_{ajustado}$ (Tabela 5). Considerando o princípio da parcimônia, observa-se na Tabela 6, que os modelos lineares obtidos a partir do processo *backward*, também representam adequadamente a variável dependente. Além disso, são apresentados os valores da estatística de *Fischer*, que demonstrou que para todas as escalas temporais analisadas, o modelo explica uma porção significativa da variável dependente (precipitação).

Tabela 5. Equações de regressão linear múltipla, coeficiente de determinação ajustado e estatística de *Fischer* para a estimativa dos valores de precipitação média mensal, sazonal e anual de 26 estações localizadas no Rio Grande do Sul.

Período	Equação	R ² _{ajustado}	F _{calc}
Jan	$P = 426,549 - 9,898LAT - 0,113LON + 0,011ALT$	0,722	22,66
Fev	$P = 321,407 - 4,989LAT - 0,854LON + 0,0001ALT$	0,150	2,47
Mar	$P = 125,057 - 5,066LAT + 2,836LON - 0,005ALT$	0,227	3,45
Abr	$P = -154,797 - 8,3LAT + 9,979LON + 0,002ALT$	0,704	20,78
Mai	$P = 89,777 - 8,130LAT + 5,222LON + 0,003ALT$	0,636	15,58
Jun	$P = 351,122 - 6,104LAT - 0,713LON + 0,013ALT$	0,210	3,22
Jul	$P = 428,868 - 1,309LAT - 5,041LON + 0,014ALT$	0,332	5,15
Ago	$P = 548,054 - 2,816LAT - 6,503LON + 0,022ALT$	0,720	22,44
Set	$P = 554,59 - 8,123LAT - 3,193LON + 0,025ALT$	0,692	19,71
Out	$P = 301,380 - 16,293LAT + 6,186LON + 0,011ALT$	0,871	57,50
Nov	$P = 186,808 - 9,629LAT + 3,983LON + 0,007ALT$	0,572	12,15
Dez	$P = 260,468 - 11,159LAT + 3,439LON + 0,024ALT$	0,800	34,43
Inverno	$P = 442,517 - 3,409LAT - 4,086LON + 0,017ALT$	0,416	6,95
Primavera	$P = 442,681 - 3,409LAT - 4,086LON + 0,017ALT$	0,999	40,91
Verão	$P = 336,138 - 8,682LAT + 0,824LON + 0,011ALT$	0,677	18,49
Outono	$P = 20,012 - 7,165LAT + 6,012LON + 0,00000075ALT$	0,713	21,67
Anual	$P = 3439,253 - 91,814LAT + 15,229LON + 0,127ALT$	0,714	59,56

P: precipitação (mm); LAT: latitude (graus decimais); LON: longitude (graus decimais); ALT: altitude (m). F_{tab} = 1,40 ($\alpha = 0,05$)

Tabela 6. Equações de regressão linear múltipla, variável removida, coeficiente de determinação ajustado e estatística de *Fischer* para a estimativa dos valores de precipitação média mensal, sazonal e anual, considerando o procedimento *Backward*, para 26 estações localizadas no Rio Grande do Sul.

Período	Equação	Remoção	R ² _{ajustado}	F _{calc}
Jan	$P = 460,728 - 11,128LAT$	ALT	0,716	64,10
Fev	$P = 274,905 - 4,955LAT$	LON	0,210	7,66
Mar	$P = 85,810 - 4,474LAT + 3,211LON$	ALT	0,252	5,21
Abr	$P = -139,729 - 8,527LAT + 9,835LON$	ALT	0,716	32,51
Mai	$P = 113,973 - 8,495LAT + 4,991LON$	ALT	0,650	24,18
Jun	$P = 363,262 - 7,637LAT$	ALT	0,232	8,55
Jul	$P = 452,535 - 6,125LON$	ALT	0,353	11,78
Ago	$P = 440,396 - 6,091LON + 0,03ALT$	LAT	0,700	30,15
Set	$P = 554,59 - 8,123LAT - 3,193LON + 0,025ALT$	S/R		
Out	$P = 379,99 - 17,479LAT + 5,437LON$	ALT	0,867	82,28
Nov	$P = 233,737 - 10,337LAT + 3,535LON$	ALT	0,584	18,53
Dez	$P = 260,468 - 11,159LAT + 3,439LON + 0,024ALT$	S/R		
Inverno	$P = 312,328 - 3,586LON + 0,025ALT$	LAT	0,386	8,87
Primavera	$P = 442,681 - 3,409LAT - 4,086LON + 0,017ALT$	S/R		
Verão	$P = 420,130 - 9,910LAT$	ALT	0,675	52,96
Outono	$P = 20,018 - 7,165LAT + 6,012LON$	ALT	0,725	33,99
Anual	$P = 4682,935 - 105,084LAT$	ALT	0,701	59,56

P: precipitação (mm); LAT: latitude (graus decimais); LON: longitude (graus decimais); ALT: altitude (m). F_{tab} = 1,40 ($\alpha = 0,05$). S/R: sem remoção.

A verificação da Tabela 7 quanto aos índices estatísticos utilizados para comparar os dados de precipitação estimados pelo procedimento *Backward* com os observados, mostra ótimo desempenho do modelo na estimativa da precipitação, considerando os períodos mensal, anual e sazonal. Nas escalas mensal e sazonal, os

valores de Erro Quadrático Médio (EQM), que fornecem uma medida da concordância entre os dados experimentais e do modelo, variaram de 5,71 a 24,90, para os meses de novembro e janeiro, respectivamente. Considerando a escala anual, foi encontrado o maior valor de EQM (102,32), enquanto que para as estações do ano, encontrou-se um valor de 21,15 para a primavera. Estes

resultados, provavelmente, estejam relacionadas com a grande variabilidade da precipitação pluvial, devido ao seu caráter aleatório, considerando-se que as estações meteorológicas utilizadas estão situadas em altitude que variam de 3 m (Rio Grande) a 1.050 m (Vacaria), com relevos bem diversificados. Com relação ao Erro Padrão de

Predição observa-se uma concordância de interpretação com os resultados encontrados para o índice EQM. Considerando o fator de Viés verifica-se o bom desempenho do modelo estimado pelo procedimento *Backward*, uma vez que tanto na escala anual, sazonal e mensal os valores são próximos a unidades (Ross et al., 1996).

Tabela 7. Índices de desempenho estatístico utilizados para comparar os dados de precipitação estimados pelo procedimento *Backward* com os observados, considerando as coordenadas geográficas latitude e longitude, e altitude.

Período	EQM*	EPP	FV
Janeiro	24,90	17,16	0,92
Fevereiro	20,18	15,39	0,99
Março	22,67	16,87	0,94
Abril	20,90	15,84	1,03
Maio	13,78	10,41	1,00
Junho	21,70	15,23	0,98
Julho	21,58	16,37	0,94
Agosto	20,28	15,43	0,93
Setembro	18,83	11,40	0,91
Outubro	15,42	9,92	1,00
Novembro	5,71	4,86	1,00
Dezembro	19,97	15,65	0,96
Anual	102,32	6,21	0,96
Inverno	15,44	11,41	0,94
Primavera	21,15	14,48	0,87
Verão	18,41	13,68	0,95
Outono	12,96	9,75	0,99

*EQM: Erro Quadrático Médio; EPP: Erro Padrão de Predição; FV: Fator de viés.

Conclusões

1) A metodologia de regressão linear múltipla mostrou-se adequada quando da predição das precipitações anuais, sazonais e mensal, em função das coordenadas geográficas e altitude.

2) O procedimento *backward* não representou ganho de informação na estimativa da precipitação para os meses de setembro e dezembro, bem como para a estação da primavera.

3) Das variáveis independentes a coordenada geográfica latitude mostrou-se indispensável na predição dos valores de precipitação mensal, sazonal e anual.

4) No mês de julho, em que as chuvas frontais prevalecem no estado, a latitude não causa influência na predição da precipitação mensal.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Fast Track 1-13.

Becerra, J. A. B., Shimabukuro, Y. E., Alvalá, R. C. S. 2009. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de

cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 125-134.

Blain, G. C., Kayano, M. T., Camargo, M. B. P., Lulu, J. 2009. Variabilidade amostral das séries mensais de precipitação pluvial em duas regiões do Brasil: Pelotas-RS e Campinas-SP. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 1-11.

Blain, G. C., Moraes, S. O. 2011. Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 225-234.

Brasil. Agência Nacional de Águas. ANA. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

Campos-Aranda, D. F. 2011. Transferencia de información hidrológica mediante regresión lineal múltiple, conselección óptima de regresores transference of hydrologic information through multiple linear regression, with best predictor variables selection. *Agrociencia* 45, 863-880.

- Cargnelutti Filho, A., Maluf, J. R. T., Matzenauer, R., Stolz, A. P. 2006. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41, 893-901.
- De Maria, P. H. S., Costa, A. A., Sombra, S. S. 2008. Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 477-489.
- Faria Filho, D. E., Dias, A. N., Veloso, A. L. C., Bueno, C. F. D., Couto, F. A. P., Matos Júnior, J. B., Barreto, K. Z. O., Rodrigues, P. A., Carneiro, W. A. 2010. Classification of coefficients of variation in experiments with commercial layers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 12, 255-257.
- Fenille, M. C., Cardim, M. 2007. Correlação espacial entre a altitude e as precipitações pluviométricas no estado de São Paulo. *Geociências* 26, 135-141.
- Freire, F. G. C., Oliveira, A. M. P., Sobrinho, J. E. S., Batista, R. O. B., Santos, W. O., Barreto, H. B. F. 2012. Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, BRASIL. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 6, 3-7.
- Fritzsos, E., Mantovani, L. E., Aguiar, A. V. 2008. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. *Revista de Estudos Ambientais* 10, 49-64, 2008.
- Lynch, N. 1996. Forward and Backward Simulations II. Timing-Based Systems. *Information and computation* 128, 25 p.
- Mello, R., Silva, A. M. 2009. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 68-74.
- Menezes, H. E. A., Brito, J. I. B., Santos, C. A. C., Silva, L. L. 2008. A relação ente a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 152-161.
- Oliveira, M. T. R.; Berbert, P. A.; Martinazzo, A. P. 2013. Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectisbrevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 15, 1-12.
- Prela-Pantano, A., Duarte, A. P., Silva, D. F., Rolim, G. S., Caser, D. V. 2011. Produtividade de milho, precipitação e ocorrência de enos na região do médio Paranapanema, SP, BRASIL. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 10, 146-157.
- Ross, T. 1996. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *Journal Applied Bacteriology* 81, 501-508.
- Santana, M. O., Sediya, G. C., Ribeiro, A., Silva, D. D. 2007. Caracterização da estação chuvosa para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 15, 114-120.
- Silva, L., Costa, R. F., Campos, J. H. B. C., Dantas, R. T. 2009. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 454-461.
- Silva, J. C., Heldwein, A. B., Martins, F. B., Trentin, G., Grimm, E. L. 2007. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 67-72.
- Silva, J. W., Guimarães, E. C., Tavares, M. 2003. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. *Ciência e Agrotecnologia* 27, 665-674.
- Um, M., Yun, H., Jeong C., Heo, J. 2011. Factor analysis and multiple regression between topography and precipitation on Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology* 410, 189-203.