

ISSN 0104-1347

Simulação estocástica de valores médios diários de temperatura do ar e de radiação solar global para Piracicaba-SP, utilizando distribuição normal

Stochastic simulation of daily temperature and solar radiation for Piracicaba-SP, Brazil, using normal distribution

Durval Dourado Neto^{1,6}, Janilson Pinheiro de Assis^{2,6}, Paulo Augusto Manfron^{3,6}, Gerd Sparovek^{4,6}, Alberto Giaroli Oliveira Pereira Barreto⁵, Thomas Newton Martin^{2,6}

Resumo - Os estudos envolvendo temperatura do ar e radiação solar global, principalmente no que diz respeito à utilização de séries históricas, são dificultados na maioria dos locais devido à reduzida disponibilidade de dados. Dessa forma, faz-se necessário dispor de um procedimento para simulação estocástica que possibilite a geração de valores diários de temperatura e radiação solar global. O presente trabalho tem por objetivo simular valores médios de temperatura e de radiação solar global, em escala diária, para a região de Piracicaba-SP. O processo de simulação se baseou no método Monte Carlo. Os valores médios de temperatura e radiação solar global (série histórica) foram ajustados à distribuição densidade de probabilidade normal, com posterior aplicação do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 1% de probabilidade. O procedimento foi avaliado utilizando índices de desempenho estatístico, o qual proporcionou estimativas com excelente precisão e exatidão.

Palavras-chave: método Monte Carlo, séries climatológicas.

Abstract – Some difficulties arise in the studies using daily air temperature and solar radiation in Brazilian localities due to the reduced availability of historical data series. The problem can be reduced by the use of a simulation procedure that makes possible the generation of daily values of air temperature and global solar radiation. A simulation process, based on the Monte Carlo method, was done for Piracicaba, São Paulo State, Brazil. The historical series of daily air temperature and global solar radiation were adjusted to the normal probability distribution, with subsequent application of the Kolmogorov-Smirnov test (1% level). The procedure was evaluated using statistical performance indexes that provided satisfactory results with excellent precision and accuracy.

Key words: Monte Carlo method, climatological series.

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9. Piracicaba, SP. 13.418-900. dourado@esalq.usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Aluno do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9. Piracicaba, SP. 13.418-900.

³ Engenheiro Agrônomo, Professor Titular, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 97.105-900.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9. Piracicaba, SP. 13.418-900.

⁵ Engenheiro Agrônomo, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9. Piracicaba, SP. 13.418-900.

⁶ Bolsista CNPq.

Introdução

Nos modelos matemáticos de quantificação do crescimento e de previsão da data de semeadura, a temperatura média diária entra como um parâmetro importante tanto na promoção (entre 10°C e 30°C) como na inibição do crescimento e desenvolvimento (ASPIAZÚ, 1971; SIERRA & MURPHY, 1973).

A radiação solar influencia diretamente as atividades fisiológicas dos seres vivos (fonte de energia), bem como os fenômenos climáticos (LARCHER, 1986). A intensidade e a qualidade espectral da energia solar é de fundamental importância no desenvolvimento das plantas (MOTA, 1987).

Dessa forma, utilizam-se esses valores em modelos agrometeorológicos de estimação de produtividade de culturas agrícolas que irão auxiliar na racionalização do planejamento e condução das atividades agropecuárias, evitando ou minimizando os possíveis prejuízos causados pela ação das intempéries.

Ao utilizar séries históricas reduzidas (como as disponíveis atualmente), existem maiores chances dos resultados provenientes desses valores serem tendenciosos, para uma determinada região (GENNEVILLE & BOOCK, 1983). A utilização de técnicas de simulação estocástica, como por exemplo, o método de Monte Carlo (PERES & MATTOS, 1990 & SOUSA, 1999) permite a geração de valores diários através de um programa computacional.

Admite-se que a distribuição normal de frequências proporcione um ajuste razoável para a maioria das variáveis climáticas que não possuam limites inferiores ou superiores, tais como a pressão atmosférica, a temperatura do ar e a radiação solar (SEDIYAMA et al., 1978). THOM (1966) cita que a temperatura do ar tende a ser normalmente distribuída.

O uso de funções de densidade de probabilidade está diretamente relacionado à natureza dos dados. Os parâmetros da função podem fazer com que a mesma assuma diferentes formas, o que possibilita sua utilização num número maior de situações (CATALUNHA et al., 2002).

Estudando a probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores da cultura de arroz, foi verificado que o número total de dias com temperatura baixa adere à distribuição binomial negativa, enquanto que número de dias consecutivos com baixas temperaturas adere melhor à distribuição de Poisson (BURIOL et al., 1998).

HOFFMANN et al. (1994), por exemplo, verificaram que a distribuição de frequências de temperaturas mínimas segue a distribuição normal, aplicando para tal os testes de qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov.

Este trabalho tem por objetivo a simulação estocástica de valores diários de temperatura do ar e radiação solar global, em Piracicaba-SP, através da distribuição normal de probabilidade.

Material e Métodos

Os dados utilizados no presente estudo foram fornecidos pelo Setor de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas de Piracicaba-SP. A estação agrometeorológica está situada à latitude 22°42'30" S, à longitude de 47°38'30" W, e com altitude de 546 m (VILLA NOVA, 2003). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa (VIANELLO & ALVES, 2000), ou seja, tropical úmido com chuvas no verão e seca no inverno, caracterizado por um total de chuvas no mês mais seco de 26 mm e do mês mais chuvoso de 217 mm, por uma temperatura média do mês mais quente de 24,6°C, e do mês mais frio de 17,3°C, sendo a temperatura média anual de 21,5°C (VILLA NOVA, 2003).

A série histórica de temperatura média diária, em graus Celsius (°C), abrangeu o período de 1 de janeiro de 1917 a 31 de dezembro de 2002 (86 anos), e para a radiação solar global diária, em cal.cm⁻².dia⁻¹, o período de 1 de janeiro de 1978 a 31 de dezembro de 2002 (25 anos).

Para avaliar o ajuste da distribuição dos valores observados de cada dia Juliano de temperatura média e radiação global estimados pelas distribuições de probabilidade, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 1\%$) (CAMPOS, 1983), utilizando o

software SAS (SAS Institute, 1996). O processo de simulação se baseou no método de Monte Carlo.

Foram considerados dois casos para caracterizar a distribuição temporal (valores diários) das séries históricas de temperatura média e de radiação solar global. O primeiro caso com distribuição normal truncada, a mais ou menos 1,96 desvios padrão da média, com a temperatura média diária variável, e a radiação solar global diária constante; e o segundo caso com distribuição normal truncada a mais ou menos 1,96 desvios padrão da média, com a temperatura média diária constante e a radiação solar global diária variável.

Para avaliação do desempenho do processo de simulação da temperatura e da radiação solar global diária, efetuaram-se 1000 simulações da ocorrência e da quantidade dessas duas variáveis climatológicas, comparando-se a média dos valores simulados com a média dos valores observados em cada período analisado. Para tanto, utilizaram-se a técnica de análise de regressão linear simples, cuja reta passa pela origem do sistema de eixos coordenados, equações 1 a 7 (MORETTIN & BUSSAB, 2003).

Além dessa técnica, os seguintes indicadores de desempenho estatístico foram utilizados: (i) para medir a precisão a qual indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório empregou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), equação 5 (MORETTIN & BUSSAB, 2003); (ii) para avaliar a exatidão que está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, utilizou-se matematicamente uma aproximação, que é dada por um valor designado de índice de concordância de Willmott (Id), equação 6, (WILLMOTT, 1981), onde seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, até 1, para a concordância perfeita, e o índice de desempenho de Camargo (c), equação 7 (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), o qual se constitui no produto dos dois índices anteriores.

Tal estratégia permite identificar o grau de precisão e de exatidão do processo de modelagem das variáveis temperatura e radiação solar global diárias (CAMARGO & SENTELHAS, 1997; PEREIRA, 1998; SOUSA, 1999).

$$a = \bar{S} - b\bar{O} \quad (1)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n O_i S_i - \sum_{i=1}^n O_i \sum_{i=1}^n S_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n O_i\right)^2}} \quad (2)$$

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (3)$$

$$\bar{O} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n} \quad (4)$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n O_i S_i - \sum_{i=1}^n O_i \sum_{i=1}^n S_i}{\sqrt{\left[\left(n \sum_{i=1}^n O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n O_i \right)^2 \right) \left[\left(n \sum_{i=1}^n S_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n S_i \right)^2 \right) \right]}} \quad (5)$$

$$Id = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (6)$$

$$c = r \cdot Id \quad (7)$$

em que r se refere ao coeficiente de correlação linear simples de Pearson; Id ao índice de concordância de Willmott; S_i ao parâmetro simulado no i -ésimo período; O_i ao parâmetro observado na série histórica no i -ésimo período; \bar{O} à média do parâmetro observado na série histórica e n ao número de períodos avaliados.

Resultados e Discussão

Para cada dia Juliano estudado, verificou-se aderência das séries históricas de temperatura média e de radiação solar global diária à distribuição de densidade de probabilidades normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov em nível de 1% de

significância (Tabelas 3 e 4). Isso foi necessário para a caracterização do clima no local de estudo. Sendo assim, pode-se afirmar que todas as séries históricas de todos os dias do ano podem ser representadas por uma distribuição de densidade de probabilidade normal, o que permitirá realizar valiosas inferências, inclusive usar essa informação para se aplicar o processo de simulação. Vale destacar que SEDIYAMA et al. (1978) admitem que a distribuição normal de frequência proporcione um ajuste razoável para a maioria das variáveis climáticas que não possuam

limites inferiores ou superiores, tais como: temperatura do ar, radiação solar e pressão atmosférica (THOM, 1966; SEDIYAMA et al., 1978).

Para cada período e variáveis estudadas (Tabelas 1 a 4), os valores médios simulados se aproximaram muito dos observados (Figuras 1 e 2), evidenciando que o processo de simulação proporcionou estimativas com excelentes precisão e exatidão dos valores médios diários de temperatura do ar e radiação solar global. Esse fato pode ser

Tabela 1. Resultados da avaliação do desempenho estatístico de 1000 simulações de temperatura média diária (°C), em vinte e quatro datas de semeadura (Ds), mostrando os índices de desempenho estatístico: coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (Id) e o índice de desempenho de Camargo (c), coeficiente angular (b) da reta e valor calculado de F (Fc).

Ds	r	Id	c	b	Fc
1 De Janeiro	0,99	0,99	0,99	1,00	73156,80
15 De Janeiro	0,99	0,99	0,99	1,00	136081,00
1 De Fevereiro	0,99	0,99	0,99	1,00	299208,50
15 De Fevereiro	0,99	0,99	0,99	0,99	361625,30
1 De Março	0,99	0,99	0,99	1,00	276484,50
15 De Março	0,99	0,99	0,99	0,99	152811,00
1 De Abril	0,99	0,99	0,99	1,00	92638,85
15 De Abril	0,99	0,99	0,99	1,00	89890,66
1 De Maio	0,99	0,99	0,99	0,99	96215,38
15 De Maio	0,99	0,99	0,99	1,00	123684,20
1 De Junho	0,99	0,99	0,99	1,00	178163,90
15 De Junho	0,99	0,99	0,99	1,00	164672,50
1 De Julho	0,99	0,99	0,99	1,00	146486,30
15 De Julho	0,99	0,99	0,99	0,99	103852,70
1 De Agosto	0,99	0,99	0,99	0,99	102136,70
15 De Agosto	0,99	0,99	0,99	1,00	67438,86
1 De Setembro	0,99	0,99	0,99	1,00	47662,81
15 De Setembro	0,99	0,99	0,99	1,00	42615,66
1 De Outubro	0,99	0,99	0,99	1,00	29634,14
15 De Outubro	0,99	0,99	0,99	1,00	21195,15
1 De Novembro	0,99	0,99	0,99	0,99	17331,52
15 De Novembro	0,99	0,99	0,99	0,99	9047,97
1 De Dezembro	0,99	0,99	0,98	0,99	6029,77
15 De Dezembro	0,99	0,99	0,99	1,00	16388,37

* $r_c = 0,19$ (coeficiente crítico de correlação de Pearson). Foi adotado coeficiente linear nulo. $F=3,92$ (5% de probabilidade)

Tabela 2. Resultados da avaliação do desempenho estatístico, de 1000 simulações de radiação solar global diária ($\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$), em vinte e quatro datas de semeadura (Ds), mostrando os índices de desempenho estatístico: coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (Id) e o índice de desempenho de Camargo (c), coeficiente angular (b) da reta e valor calculado de F (Fc).

Ds	r	Id	c	b	Fc
1 De Janeiro	0,99	0,99	0,99	1,00	14515,13
15 De Janeiro	0,99	0,99	0,99	0,99	27682,68
1 De Fevereiro	0,99	0,99	0,99	1,00	58892,36
15 De Fevereiro	0,99	0,99	0,99	0,99	61245,42
1 De Março	0,99	0,99	0,99	1,00	56447,11
15 De Março	0,99	0,99	0,99	1,00	36359,80
1 De Abril	0,99	0,99	0,99	1,00	40880,89
15 De Abril	0,99	0,99	0,99	0,99	49301,77
1 De Maio	0,99	0,99	0,99	1,00	60715,32
15 De Maio	0,99	0,99	0,99	1,00	96894,25
1 De Junho	0,99	0,99	0,99	1,00	56964,33
15 De Junho	0,99	0,99	0,99	1,00	59039,25
1 De Julho	0,99	0,99	0,99	0,99	45159,44
15 De Julho	0,99	0,99	0,99	0,99	46435,25
1 De Agosto	0,99	0,99	0,99	0,99	21336,48
15 De Agosto	0,99	0,99	0,99	0,99	19328,82
1 De Setembro	0,99	0,99	0,99	0,99	16966,65
15 De Setembro	0,99	0,99	0,99	0,99	11458,80
1 De Outubro	0,99	0,99	0,98	0,99	7032,23
15 De Outubro	0,99	0,99	0,98	0,99	7733,47
1 De Novembro	0,98	0,98	0,98	0,99	4953,18
15 De Novembro	0,99	0,99	0,98	1,00	8525,59
1 De Dezembro	0,99	0,99	0,98	1,00	6926,52
15 De Dezembro	0,99	0,99	0,98	0,99	7978,87

* $r_c = 0,19$ (coeficiente crítico de correlação de Pearson). Foi adotado coeficiente linear nulo. $F=3,92$ (5% de probabilidade)

comprovado pelos bons resultados do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância de Willmott (Id) verificados para todas as datas estudadas, visto que todos os valores obtidos para r e Id foram acima de 0,97 (Tabelas 1 e 2). Resultados semelhantes foram obtidos por ANDRADE JÚNIOR et al. (2001) e GENNEVILLE & BOOCK (1983). Conforme o critério de interpretação do desempenho pelo índice “c”, todos os períodos e variáveis avaliadas foram enquadrados na categoria de desempenho estatístico “ótimo” ($c > 0,85$).

Resultados semelhantes foram obtidos por ANDRADE JÚNIOR et al. (2001).

Verificou-se, através da análise de regressão linear simples entre os valores simulados e observados (utilizando o coeficiente linear igual a zero), a linearidade entre as médias diárias dos dados simulados e históricos dos períodos estudados, pois ao se interpretar os resultados dessa análise, conclui-se que através do teste F da análise de variância da regressão, que há alta significância estatística para todas as

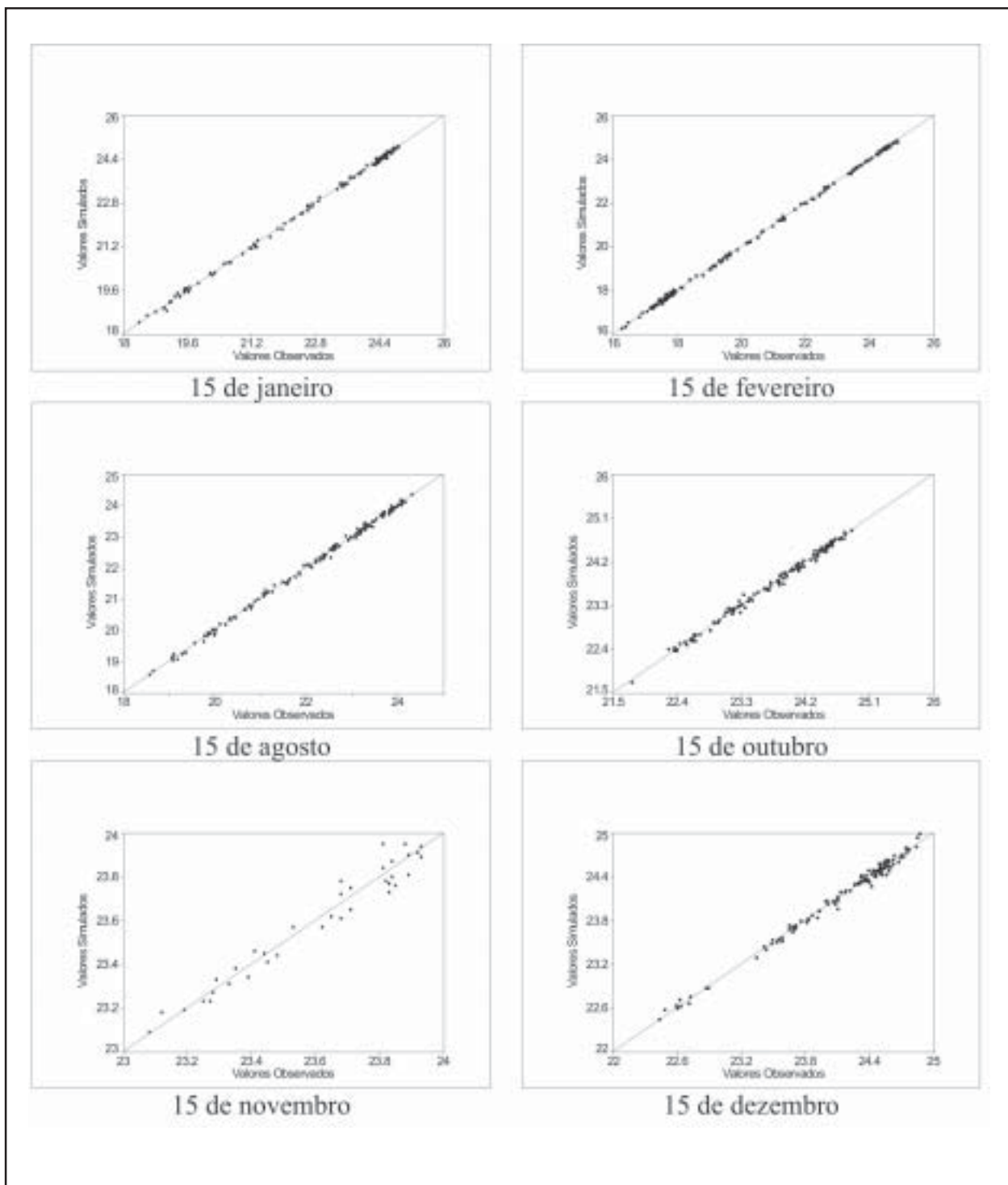


Figura 1. Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de temperatura média diária (°C), para os dias 15 de janeiro, 15 de fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 1, em Piracicaba (SP).

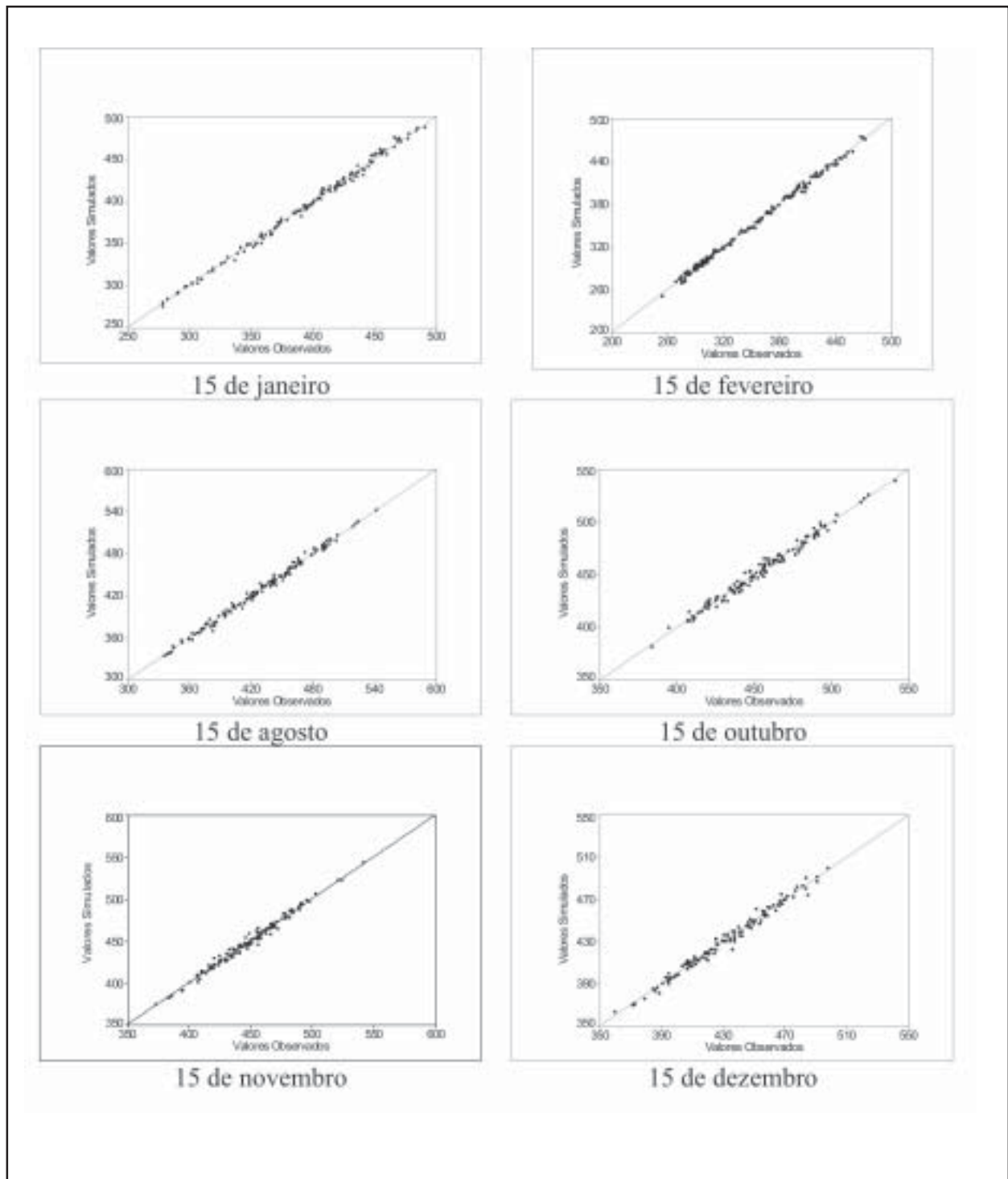


Figura 2. Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de radiação solar global diária ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), para os dias 15 de janeiro, 15 de fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 2, em Piracicaba (SP).

Tabela 3. Valores das estimativas dos parâmetros média (μ) e desvio padrão (σ); teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov: valor da estatística teste (KS); valor p (p); valores mínimo (Mín) e máximo (Máx), referentes à análise estatística para a série histórica de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) diária em Piracicaba (SP). Tipo de distribuição de densidade de probabilidade normal. Série histórica: 86 anos.

Dia	μ	σ	KS	p	Min	Máx
1/JAN	24,18	1,81	0,06	0,16	19,10	28,50
15/JAN	24,56	1,98	0,08	0,16	19,30	28,65
1/FEV	24,49	1,95	0,12	0,01	18,50	27,90
15/FEV	24,77	1,60	0,12	0,01	20,30	28,20
1/MAR	24,51	1,64	0,07	0,16	19,25	28,80
15/MAR	24,33	1,76	0,05	0,16	20,40	28,25
1/ABR	23,34	1,88	0,13	0,01	16,40	27,00
15/ABR	21,96	2,30	0,05	0,16	16,20	26,20
1/MAI	20,16	2,68	0,09	0,09	11,50	24,55
15/MAI	19,34	2,65	0,11	0,02	11,70	24,80
1/JUN	17,52	2,94	0,10	0,04	6,40	22,50
15/JUN	17,69	2,52	0,09	0,08	9,70	22,75
1/JUL	17,93	2,16	0,06	0,16	12,40	22,20
15/JUL	17,38	2,54	0,06	0,16	11,30	23,30
1/AGO	18,22	2,85	0,12	0,01	9,25	24,50
15/AGO	18,65	3,32	0,09	0,10	6,60	23,90
1/SET	20,46	2,79	0,06	0,16	12,50	27,70
15/SET	20,75	3,29	0,08	0,16	9,55	27,00
1/OUT	21,86	2,72	0,09	0,09	12,85	27,45
15/OUT	22,51	2,54	0,07	0,16	14,60	27,90
1/NOV	22,72	2,64	0,06	0,16	16,70	28,20
15/NOV	23,12	2,15	0,04	0,16	18,60	29,10
1/DEZ	23,89	2,11	0,05	0,16	19,20	28,40
15/DEZ	23,82	1,98	0,07	0,16	19,70	27,80

estimativas dos coeficientes de regressão linear, o que reforça a hipótese de eficiência do processo de simulação (GENNEVILLE & BOOCK, 1983).

Os resultados obtidos (Tabelas 3 e 4) podem, por exemplo, ser usados na simulação de produtividades potenciais de uma cultura através da aplicação num modelo agrometeorológico, com o intuito de se conhecer como variam essas produtividades em várias datas de semeadura, permitindo assim que o produtor possa desenvolver

um planejamento agrícola estratégico para as atividades de semeadura.

Esse fato pode ser corroborado, através da afirmação de FANCELLI & DOURADO NETO (2003), de que fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação são processos que dependem diretamente da energia disponível no ambiente. Sabe-se ainda que o clima é um fator dominante no controle do crescimento das plantas. As produções são elementos probabilísticos, no sentido de que

Tabela 4. Valores das estimativas dos parâmetros média (μ) e desvio padrão (σ); teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov: valor da estatística teste (KS), valor p (p) e valores mínimo (Mín) e máximo (Máx) referentes à análise estatística para a série histórica de radiação solar ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) diária em Piracicaba (SP). Tipo de distribuição de densidade de probabilidade: normal. Série histórica: 24 anos.

Dia	μ	σ	KS	p	Mín	Máx
1/JAN	463,80	136,05	0,12	0,16	267,0	737,0
15/JAN	449,28	112,06	0,11	0,16	296,0	704,0
1/FEV	413,54	150,84	0,10	0,16	168,0	729,0
15/FEV	471,28	99,05	0,16	0,11	314,0	675,0
1/MAR	408,68	126,04	0,15	0,16	104,0	626,0
15/MAR	390,52	121,54	0,15	0,14	174,0	633,0
1/ABR	388,40	121,43	0,08	0,16	129,0	604,0
15/ABR	346,60	106,77	0,23	0,01	104,0	502,0
1/MAI	365,68	79,08	0,12	0,16	243,0	552,0
15/MAI	309,67	127,83	0,15	0,16	120,0	724,0
1/JUN	291,62	85,91	0,12	0,16	132,0	434,0
15/JUN	302,13	68,39	0,10	0,16	141,0	411,0
1/JUL	296,08	53,65	0,21	0,01	138,0	385,0
15/JUL	299,44	102,33	0,18	0,04	92,0	488,0
1/AGO	353,60	105,51	0,14	0,16	96,0	525,0
15/AGO	383,04	126,12	0,20	0,02	102,0	556,0
1/SET	362,58	117,15	0,11	0,16	161,0	608,0
15/SET	334,91	142,73	0,16	0,14	93,0	556,0
1/OUT	423,04	162,53	0,15	0,16	135,0	697,0
15/OUT	438,40	144,17	0,18	0,04	95,0	814,0
1/NOV	495,64	124,20	0,14	0,16	225,0	647,0
15/NOV	472,16	150,96	0,16	0,10	157,0	689,0
1/DEZ	459,08	170,92	0,19	0,02	126,0	719,0
15/DEZ	447,32	122,68	0,12	0,16	221,0	663,0

dependem das variáveis climáticas, tais como quantidade e distribuição de chuvas, temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar durante o ciclo da cultura de interesse.

Conclusões

Em função dos resultados obtidos, concluiu-se que: (i) em escala diária, a função densidade de

probabilidade normal mostrou ser adequada para representar a distribuição da temperatura média do ar e da radiação solar global em Piracicaba (SP); (ii) o procedimento estocástico desenvolvido para a simulação de dados médios diários de temperatura e de radiação solar global geram valores semelhantes aos valores observados, fato comprovado pela obtenção de índices estatísticos com desempenho satisfatório.

Referências bibliográficas

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZONE, J.A.; SENTELHAS, P.C. Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.271-278, 2001.

ASPIAZÚ, C. Pronósticos de fases em cultivos de maiz dentado mediante sumas de temperaturas. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires**. Buenos Aires, v.19, n.1-2, p.61-69, 1971.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; GRAVE, R.A.; DIDONET, I.A.; STEINMEIZ, S. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz na região da depressão central, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v.28, n.1, p.1-9, 1998.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, H. **Estatística não paramétrica**, 4ª ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 349p. 1983.

CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.153-162; Santa Maria, 2002.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho: Estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. 208p.

GENNEVILLE, M.S.; BOOCK, A. Modelo estocástico para simulação da precipitação pluviométrica diária de uma região. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.9, p.959-966, 1983.

HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; ROSSAL, P.A.L.; ASSIS, F.N. de. Estimativa da primeira data do outono e última data da primavera com

temperatura do ar menor ou igual a 0°C em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.2, p.65-68, 1994.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: E.P.U., 1986.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística Básica**. 5ª ed., São Paulo, Saraiva, 2003. 526p.

MOTA, F.S. **Meteorologia Agrícola**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1987.

PEREIRA, F.A.C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem**. Piracicaba, 1998. 87p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.

PERES, F.C.; MATTOS, Z.P.B. Simulação como auxílio à decisão de confinar bovinos de corte. In: **Bovinocultura de Corte**. Piracicaba: FEALQ/Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1990. p.97-108.

SAS Institute. **QC Software: Usage and reference**. In: Capability procedure. Cary: STATISTICAL ANALYSES SYSTEM INSTITUTE: release 6.02, 1 ed., v.1, 823p. 1996.

SEDIYAMA, G.C.; CHANCELLOR, W.J.; BURKHARDT, T.H.; GOSS, J.R. Simulação de parâmetros climáticos para a época de crescimento das plantas. **Revista Ceres**. v.25, n.141, p.455-466, 1978.

SIERRA, E.M.; MURPHY, G.M. Aspectos bioclimáticos del cultivo del sorgo. Viedna, Rio Negro: IDEVI, Estación Experimental de Riego y Cultivo. 1973, p.28-54. (Série Técnica, 3).

SOUSA, S.A.V. **Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção**. Piracicaba, 1999. 124p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo.

THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Roma, FAO, 1966. 50p. (FAO, Technical Notes. 81).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária. 2000. 449p.

VILLA NOVA, N.A. **Dados meteorológicos do município de Piracicaba**. Piracicaba, ESALQ:

Departamento de Ciências Exatas, 2003. 2p. (Informativo Técnico).

WILLMOTT, C.J. **On the validation of models**. Physical Geography, Silver Spring, v.2, p.184-194, 1981.