

ISSN 0104-1347

# Avaliação de três geradores de dados climáticos na simulação da temperatura do ar

## Evaluation of three generators of climatic data in the simulation of air temperature

Jorim Sousa das Virgens Filho<sup>1</sup>, Maysa de Lima Leite<sup>2</sup>, Angelo Cataneo<sup>3</sup>

**Resumo:** Este trabalho objetivou avaliar os geradores SEDAC\_R, GEPAC e LARS-WG, na simulação de dados diários de temperatura do ar. Foram utilizadas séries históricas para as localidades de Piracicaba, Campinas e Campos do Jordão, pertencentes ao Estado de São Paulo. Os geradores simulam dados de temperatura do ar a partir de modelos estocásticos, onde se leva em consideração a ocorrência de dias úmidos e secos. Na geração dos valores diários o LARS-WG utiliza um modelo que simula desvios normalmente distribuídos, enquanto o GEPAC e o SEDAC\_R usa o método de Monte Carlo empregando a distribuição Normal. Após efetuar cinco replicações para cada gerador e localidade, realizou-se a validação confrontando as médias mensais observadas e simuladas, por meio da análise de gráficos de tendência, do coeficiente “r” de Pearson, do índice de concordância “d” de Willmott e do coeficiente de concordância “c” de Camargo-Sentelhas. Na simulação de temperatura mínima do ar, os geradores SEDAC\_R, GEPAC e LARS-WG, obtiveram desempenhos semelhantes, tendendo a subestimar as médias mensais históricas. Para a simulação de séries de temperatura máxima do ar, não ficou evidente a tendência de subestimativas das médias mensais observadas pelos três geradores avaliados, que também se equivaleram positivamente.

**Palavras Chaves:** simulação, dados climáticos, SEDAC\_R, GEPAC, LARS-WG.

**ABSTRACT:** This work aimed to evaluate the generators SEDAC\_R, GEPAC and LARS-WG, in the simulation of daily data of air temperature. Historical series were used for the places of Piracicaba, Campinas and Campos do Jordão, in the State of São Paulo, Brazil. The generators simulate data of air temperature starting from stochastic models, where it is taken into account the occurrence of humid and dry days. In the generation of the daily values LARS-WG uses a model that simulates normally distributed deviations, while GEPAC and SEDAC\_R uses Monte Carlo's method using the Normal distribution. After making five replications for each generator and place, it took place the validation between observed and simulated monthly averages, through the analysis of tendency graphics, of coefficient “r” of Pearson, agreement index “d” of Willmott and agreement coefficient “c” of Camargo-Sentelhas. In the simulation of minimum air temperature, the generators SEDAC\_R, GEPAC and LARS-WG, presented similar results, tending to underestimate the historical monthly averages. For the simulation of series of maximum air temperature, it was not evident the tendency of underestimating the monthly averages observed by the three appraised generators, that were also considered positively equivalently.

**Key Words:** simulation, climatic data, SEDAC\_R, GEPAC, LARS-WG.

<sup>1</sup> Professor Adjunto, Doutor em Agronomia, Laboratório INFOAGRO, Depto. de Informática, UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84030-900, Ponta Grossa-PR, jvirgens@uepg.br

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Doutora em Agronomia, Depto. de Biologia Geral, UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84030-900, Ponta Grossa-PR, mleite@uepg.br

<sup>3</sup> Professor Adjunto, Doutor em Agronomia, Depto. de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, FCA/UNESP, 18603-970, Botucatu-SP, angelo@fca.unesp.br.

## Introdução

A interação de componentes probabilísticos com modelos de outros componentes de um sistema agrícola, deve fornecer um método para medir o risco de incerteza climática que está relacionado com gerenciamentos alternativos de empreendimentos agrícolas. Além disso, partindo da premissa que as produções agrícolas podem ser consideradas elementos probabilísticos, no sentido de que dependem dos elementos climáticos durante a época de crescimento de uma cultura, torna-se importante a elaboração de modelos de simulação que gerem dados sintéticos de clima, com a finalidade de reproduzir o comportamento das distribuições de probabilidades desses componentes climáticos.

Segundo HOOGENBOOM (2000), dados climáticos históricos são importantes para todas aplicações de modelagem de culturas agrícolas, exceto para aquelas relacionadas com previsões e prognósticos. Porém muitas vezes estes dados não estão disponíveis ou os registros são de períodos curtos ou ainda limitam-se a registros de dados termopluviométricos. Nestes casos, geradores de dados climáticos podem ser usados para gerar seqüências diárias para as mais diversas variáveis climáticas, como entrada para modelos agrônômicos. Assim, muitos desses modelos como o CROPGRO e o CERES por exemplo, incorporaram esses geradores de clima como uma das etapas na modelagem para sistemas de apoio à decisão.

Diante disso, baseados numa concepção experimental integrada ao grande avanço tecnológico proporcionado principalmente pela Ciência da Computação, muitos pesquisadores, ao longo do tempo, vêm desenvolvendo ferramentas computacionais, parcial ou totalmente, voltadas para o gerenciamento e simulação de dados climáticos. HUNT et al. (1993) por exemplo, desenvolveram o GENCALC, um software que além de facilitar o uso de modelos agrônômicos, para analisar experimentos de campo, também simula o desempenho de diversos genótipos de uma cultura sob diferentes ambientes climáticos simulados. O WEATHERMAN, um software concebido por PICKERING et al. (1994), foi desenvolvido com o intuito de simplificar e automatizar muitas tarefas repetitivas, associadas com a preparação de dados climáticos brutos, de uso em modelos agrônômicos.

RICHARDSON (1985), utilizando dados climáticos diários simulados pelo modelo WGEN (RICHARDSON & WRIGHT, 1984) em substituição à dados climáticos reais como entrada para um modelo de crescimento para a cultura do trigo, não constatou diferenças significativas nos resultados obtidos, mostrando que um gerador de dados climáticos acoplado a um modelo de crescimento para uma cultura, fornece um método bastante eficiente para avaliar os riscos de produção com opções de gerenciamento específico para locais selecionados.

SEMENOV & BARROW (1997) desenvolveram o LARS-WG, um gerador estocástico de dados climáticos, com o objetivo de avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre o potencial e o risco agrícola. Os autores reproduziram alterações no cenário climático para algumas cidades da Europa e, concluíram que alterações na variabilidade dos elementos climáticos podem afetar mais profundamente o rendimento das culturas e a probabilidade de eventos climáticos extremos do que simples alterações nos valores médios.

SOLTANI et al. (2000) avaliaram o WGEN na geração de dados climáticos aplicados a um modelo para simular a cultura do grão-de-bico numa localidade do Irã e concluíram que o mesmo simulou adequadamente séries de dados climáticos a partir de períodos parametrizados com 3, 5, 7 e 10 anos. Segundo os autores, em muitos casos, períodos base menores são preferíveis em relação a séries muito longas, pois ao simular cenários futuros eles proporcionam estimativas mais realísticas para a produtividade das culturas.

BANNAYAN et al. (2003), numa aplicação do modelo CERES-Wheat para simulação da cultura do trigo de inverno no Reino Unido, constataram que os dados climáticos simulados pelo gerador SIMMETEO forneceram uma previsão realística da produtividade da cultura em substituição ao dados observados.

HARTKAMP et al. (2003) avaliaram três geradores de dados climáticos (MARKSIM, SIMMETEO e WGEN) em modelos de culturas para ambientes subtropicais e concluíram que para tais aplicações, principalmente em países em desenvolvimento, o SIMMETEO é preferível em

relação aos outros dois pelo fato de necessitar apenas de médias mensais com períodos de 5 a 10 anos para gerar seqüências diárias de dados climáticos. Neste estudo foram avaliados dados de 9 localidades da região noroeste do México.

KUCHAR (2004), avaliou o WGENK, uma versão modificada do WGEN, na simulação de dados climáticos para uma localidade do sudoeste da Polônia e encontrou pequenas diferenças entre dados simulados e observados. O autor simulou 200 anos de dados que foram comparados com 20 anos de dados históricos, por meio de extensivos testes estatísticos, que confirmaram em aproximadamente 95% das análises a boa correlação entre dados simulados e observados.

No Brasil, VIRGENS FILHO (1997) idealizou num primeiro momento o GEPAC - Gerador Estocástico de Parâmetros Climáticos, um modelo computacional para simulação de dados diários de precipitação pluviométrica, radiação solar global, temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar, cuja validação do modelo provou que os dados simulados não diferiram estatisticamente dos dados observados, podendo o modelo ser bastante eficiente como uma ferramenta alternativa em atividades de pesquisa envolvendo o planejamento agrícola. Num segundo momento o mesmo autor desenvolveu o gerador SEDAC\_R – Simulador Estocástico de Dados Climáticos (VIRGENS FILHO, 2001), que simula dados de precipitação pluviométrica, radiação solar global e temperatura do ar (máxima e mínima) a partir de uma metodologia baseada num algoritmo de parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade, decorrente da retroalimentação de dados.

A temperatura do ar é uma variável climática muito importante para a agricultura que influi diretamente no desenvolvimento das plantas. Seu efeito na agricultura é tão importante quanto seu efeito no conforto térmico humano e animal ou na previsão de incêndios florestais. Na agricultura, a elevação da temperatura do ar tem efeitos importantes no crescimento das plantas, como por exemplo o aumento da evapotranspiração. Em contrapartida, a diminuição da temperatura do ar pode afetar a duração dos estádios fenológicos da cultura, prolongando a duração do ciclo.

MEARNS et al. (1984) utilizaram dados diários simulados de temperatura máxima, com o intuito de estudar o impacto de mudanças ambientais, incluindo seus possíveis efeitos sobre as produções agrícolas. Observaram que um aumento de 1,7 °C na média diária da temperatura máxima pode gerar eventos extremos de altas temperaturas, que por sua vez podem acarretar importantes implicações para o rendimento das culturas, demanda energética e mortalidade humana e animal.

HARRISON et al. (2000), numa pesquisa sobre a cultura do trigo na Europa, utilizou o modelo AFRWHEAT2 para simular o desenvolvimento fenológico da cultura e para tanto, usou 3 métodos para estimar as temperaturas diárias. Em um dos métodos, os autores utilizaram dados gerados pelos simuladores WGEN e LARS-WG e verificaram que os dados gerados pelo WGEN subestimaram as datas prováveis dos estádios fenológicos enquanto que o gerador LARS-WG provocou uma superestimativa destas datas, principalmente no estágio de maturação fisiológica.

MAVROMATIS & HANSEN (2001), estudaram as características interanuais de 4 geradores de dados climáticos (WEATHERMAN, MARKSIM, WM2 e LARS-WG) para 7 localidades dos Estados Unidos e 5 de países em desenvolvimento (Porto Rico, Índia, África do Sul, Uruguai e Argentina) e concluíram que, de maneira geral, os geradores de dados climáticos tendem a subestimar valores médios mensais entre os anos. Segundo os autores o gerador WM2 simulou mais fidedignamente as variabilidades interanuais para as variáveis temperatura máxima e mínima.

Diante do pressuposto que a temperatura do ar é uma variável climática muito importante na modelagem do desenvolvimento de uma cultura agrícola, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de três geradores de dados climáticos na simulação de dados diários de temperatura do ar.

## Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido junto ao Laboratório INFOAGRO do Departamento de Informática da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Para tanto, foram utilizados dados diários de temperatura do ar (mínima e máxima) para as

localidades de Piracicaba (lat. 22°42'S; long. 47°38'W; alt.546 m; per. 1940-99), Campinas (lat. 22°53'S; long. 47°05'W; alt.669 m; per. 1960-98) e Campos do Jordão (lat. 22°40'S; long. 45°28'W; alt.1566 m; per. 1974-90), todas pertencentes ao Estado de São Paulo.

Os três geradores utilizados para a simulação de dados diários de temperatura do ar foram o LARS-WG, GEPAC e o SEDAC\_R. Os geradores, simulam dados de temperatura do ar (mínima e máxima) a partir de modelos estocásticos, onde é levado em consideração a ocorrência de dias úmidos e secos. O LARS-WG gera valores diários de temperatura do ar (mínima e máxima) por meio da simulação de desvios normalmente distribuídos em torno da média, sendo que os mesmos são gerados distintamente para dias úmidos e secos, por um modelo probabilístico exponencial misto. O GEPAC, na simulação de dias úmidos e secos, utiliza o processo estocástico da cadeia de Markov de primeira ordem com dois estados, com a posterior geração dos valores de temperatura do ar (mínima e máxima) realizada pelo método Monte Carlo em que o modelo probabilístico empregado é o da distribuição Normal. O SEDAC\_R utiliza a mesma metodologia do GEPAC, com a única diferença de que no processo de simulação, conforme apresentado em VIRGENS FILHO (2001), a distribuição Normal é parametrizada dinamicamente em todos os meses de cada ano simulado.

Para validação dos dados simulados em relação aos dados observados, 5 replicações para cada gerador e localidade foram efetuadas, gerando séries de temperatura do ar (mínima e máxima) com períodos distintos em função do tamanho da série histórica disponível para cada localidade. Assim para Piracicaba foi utilizada uma série de 30 anos (1940-1969) para a parametrização dos modelos utilizados pelos três geradores e outra série de 30 anos (1960-1999) para efetuar a validação. Para Campinas foi parametrizada uma série de 20 anos (1960-1979) e na validação utilizou-se outra série de 19 anos (1980-1998). Da mesma maneira para Campos do Jordão foi parametrizada uma série de 10 anos (1974-1983) e na validação usou-se outra série de 7 anos (1984-1990).

Dessa forma foram confrontados os dados simulados com dados observados que não foram

utilizados no processo de parametrização dos modelos usados pelo geradores, tornando os dados simulados independentes dos dados observados. Além disso, com tamanhos de períodos diferentes, pôde-se analisar a influência do comprimento das séries históricas no processo de simulação.

A partir de cada replicação para cada gerador foram computados mensalmente, os valores médios (R's) de temperatura do ar (mínima e máxima) das localidades avaliadas. Com estes valores (R's) foram calculadas as médias mensais das 5 replicações (MR's) que foram comparadas às médias mensais observadas (MO's) para cada localidade. Para tanto realizou-se a análise comparativa por meio de gráficos de tendência dos valores médios mensais, do coeficiente de correlação "r" de Pearson, do índice de concordância "d" de Willmott (WILLMOTT et al., 1981) e do coeficiente de concordância "c" apresentado por CAMARGO & SENTELHAS (1997).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentadas mensalmente as MO's, MR's e R's de temperatura mínima do ar para Piracicaba, referentes aos 3 geradores de dados climáticos avaliados. Percebe-se que de maneira geral os 3 geradores subestimaram as MO's em todos os meses do ano, como pode-se verificar pelas respectivas MR's. A Figura 1 ilustra o comportamento dos geradores, mostrando que as MR's da maioria dos meses ficaram aproximadamente 0,5 °C abaixo das MO's. No entanto, como apontam os índices r, d e c na Tabela 2, os 3 geradores tiveram desempenhos ótimos, considerando o critério apresentado em CAMARGO & SENTELHAS (1997), para a localidade de Piracicaba.

A Tabela 3 mostra por mês e gerador as MO's, MR's e R's de temperatura mínima do ar para Campinas. Nota-se, que também para esta localidade, os geradores subestimaram as MO's para todos os meses. A Figura 2 evidencia uma maior oscilação das MR's em relação as MO's no primeiro semestre do ano, mostrando que o gerador GEPAC se apresentou como o que mais subestimou as MO's. De maneira geral os 3 geradores promoveram subestimativas em torno de 0,6 °C, sendo que o gerador SEDAC\_R mostrou-se ligeiramente mais

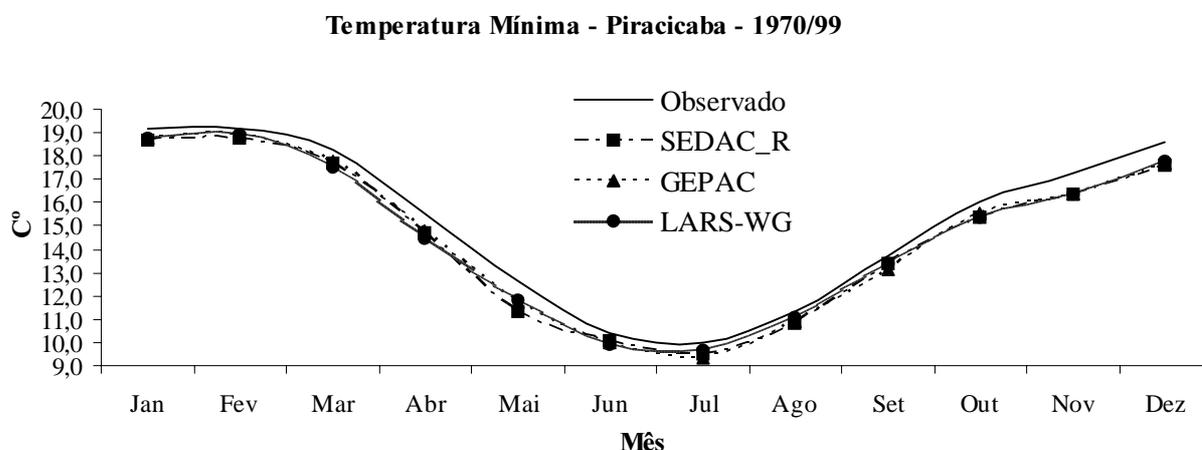
**Tabela 1.** Médias mensais de temperatura mínima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Piracicaba.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	19,2	19,2	18,3	15,5	12,6	10,4	10,0	11,3	13,7	16,0	17,3	18,6
SEDAC-R	R1	18,8	18,7	17,8	14,7	11,6	10,4	9,7	10,6	13,0	15,5	16,3	17,6
	R2	18,9	18,8	17,7	14,9	11,2	10,1	9,4	10,8	13,7	15,4	16,4	17,8
	R3	18,8	18,6	17,8	14,4	11,2	10,4	9,1	10,9	13,5	15,6	16,3	17,8
	R4	18,6	18,8	17,7	14,7	11,1	9,9	9,3	10,6	13,6	15,3	16,5	17,4
	R5	18,6	18,9	17,7	14,8	11,6	9,8	9,8	11,0	13,4	15,4	16,5	17,3
	MR	18,7	18,8	17,7	14,7	11,3	10,1	9,5	10,8	13,4	15,4	16,4	17,6
GEPAC	R1	18,8	18,8	17,8	14,8	11,8	9,9	9,3	10,9	13,2	15,5	16,5	17,6
	R2	18,7	19,0	17,9	14,9	11,9	10,0	9,2	10,8	13,1	15,5	16,3	17,7
	R3	18,8	18,9	17,8	14,9	11,6	10,1	9,5	10,9	13,1	15,6	16,5	17,7
	R4	18,8	19,0	17,8	14,7	11,5	10,1	9,2	10,9	13,0	15,6	16,5	17,8
	R5	18,8	18,8	17,9	14,9	11,8	10,1	9,4	11,0	13,2	15,3	16,4	17,6
	MR	18,8	18,9	17,8	14,8	11,7	10,0	9,3	10,9	13,1	15,5	16,4	17,7
LARS-WG	R1	18,8	18,7	17,4	14,4	11,2	10,0	9,9	11,2	13,3	15,4	16,4	17,6
	R2	18,8	18,9	17,3	14,6	11,8	9,9	10,0	11,3	13,3	15,7	16,2	18,1
	R3	18,7	18,9	17,4	14,3	11,5	9,9	9,6	11,4	13,4	15,5	16,5	17,9
	R4	18,7	19,0	17,6	14,8	12,1	9,9	9,5	10,7	13,4	15,2	16,6	17,8
	R5	18,8	19,1	17,6	14,2	12,2	10,0	9,7	11,0	13,6	15,4	16,4	17,7
	MR	18,8	18,9	17,5	14,5	11,8	9,9	9,7	11,1	13,4	15,4	16,4	17,8

preciso na simulação das MO's no período. Contudo, como indicam os índices r, d e c na Tabela 2, os 3 geradores também tiveram desempenhos ótimos, considerando o coeficiente de concordância "c" apresentado por CAMARGO & SENTELHAS (1997), para a localidade de Campinas.

Na Tabela 4 as MO's, MR's e R's de temperatura mínima do ar para Campos do Jordão são apresentadas. Nos meses de junho a dezembro ocorreram várias superestimativas nas R's para os 3

geradores, fazendo com que a maioria das MR's neste período também se elevassem em relação as MO's. Na Figura 3 pode-se visualizar que de janeiro a maio e no mês de novembro, os 3 geradores subestimaram as MO's, sendo que de junho a outubro e no mês de dezembro ocorreram várias superestimativas das MO's. Nos meses onde houve superestimativas das MO's, os geradores promoveram um incremento de aproximadamente 0,4°C, porém quando subestimaram as MO's o decréscimo foi em média de 0,7°C. O gerador LARS-



**Figura 1.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura mínima do ar para Piracicaba.

WG teve um desempenho ligeiramente melhor principalmente em relação ao SEDAC\_R, pois obteve suas MR's mais próximas das MO's em 7 meses do ano. Entretanto, analisando-se os índices  $r$ ,  $d$  e  $c$  (Tabela 2), verifica-se que os 3 geradores se equivaleram na simulação de temperaturas mínimas para Campos do Jordão, sendo considerados ótimos, quando se levou em consideração o coeficiente de concordância "c".

Para a temperatura mínima do ar os desempenhos dos três geradores nas localidades de Piracicaba e Campinas mostraram tendências para a subestimativa das médias mensais observadas (MO's) concordando com MAVROMATIS & HANSEN (2001), embora para Campos do Jordão tenha havido superestimativas nos meses de junho a dezembro para os três geradores. No entanto, este fato pode ter ocorrido devido ao tamanho do período simulado ter sido de 7 anos, o que pode indicar uma necessidade de se ter séries maiores no sentido de aumentar a confiabilidade dos dados simulados.

A Tabela 5 apresenta o comportamento mensal dos 3 geradores avaliados para Piracicaba na geração de dados de temperatura máxima do ar. De maneira geral, como pode-se observar na Figura 4, os 3 geradores subestimaram as MO's para os meses de

janeiro a julho e de outubro a dezembro e, superestimaram nos meses de agosto e setembro. Porém, diante da média anual observada de 28,4°C, os geradores SEDAC\_R, GEPAC e LARS\_WG, atingiram as médias anuais de 28,1°C, 28,2°C, 28,2°C respectivamente, obtendo comportamentos semelhantes, afirmativa que é ratificada pela análise dos índices  $r$ ,  $c$  e  $d$  (Tabela 6), que classificou como ótimo o desempenho dos 3 geradores para a localidade de Piracicaba, quando adotou-se como critério o coeficiente de concordância "c".

Na Tabela 7 são mostradas mensalmente por geradores, as MO's, MR's e R's de temperatura máxima do ar para Campinas. Observou-se que a quantidade de R's subestimadas teve uma proporção (em torno de 51%) próxima do número de R's superestimadas, com o gerador SEDAC\_R apresentando o maior número de R's superestimadas. Conforme se verifica pela Figura 5, há uma tendência neste caso, das curvas de MR's dos 3 geradores oscilarem sobre a curva das MO's, ora superestimando ora subestimando ao longo do ano. As superestimativas ocorreram de forma mais acentuada para os 3 geradores nos meses de março, junho, agosto e setembro. Contudo, como apontaram os índices  $r$ ,  $d$  e  $c$ , (Tabela 6), os 3 geradores obtiveram desempenhos semelhantes considerados

**Tabela 2.** Índices de desempenho dos geradores avaliados na simulação de temperatura mínima do ar para as localidades de Piracicaba, Campinas e Campos do Jordão.

<b>Piracicaba</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9962	0,9981	0,9970
d	0,9888	0,9910	0,9908
c	0,9850	0,9891	0,9879
<b>Campinas</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9919	0,9888	0,9899
d	0,9799	0,9749	0,9788
c	0,9720	0,9640	0,9689
<b>Campos do Jordão</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9844	0,9810	0,9843
d	0,9849	0,9863	0,9873
c	0,9696	0,9676	0,9718

ótimos, na simulação da temperatura máxima do ar para a localidade de Campinas, de acordo com o critério estabelecido pelo coeficiente de concordância “c”.

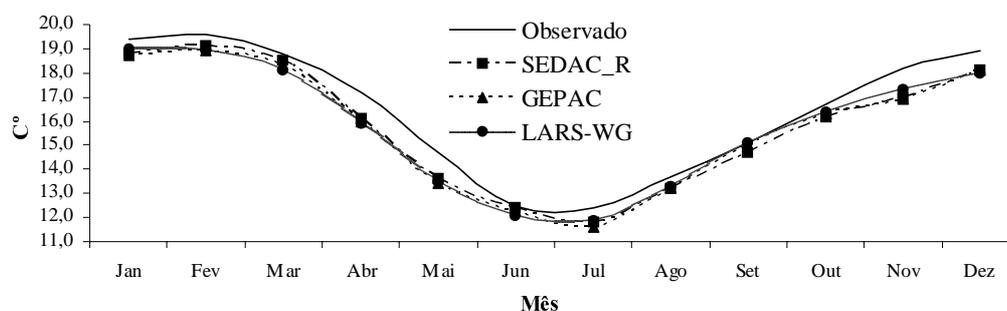
A Tabela 8 apresenta mensalmente as MO's, MR's e R's de temperatura máxima do ar para Campos do Jordão-SP. No geral as MR's simuladas pelo gerador SEDAC\_R se aproximaram mais das MO's. No entanto, houve uma tendência de subestimativas nos meses de janeiro a junho e de setembro a dezembro para todos os geradores (Figura 6). Apenas nos meses de julho e agosto ocorreram superestimativas nas R's. Entretanto, como sinalizaram os índices r, d e c, (Tabela 6), os 3 geradores obtiveram desempenhos considerados ótimos na simulação da temperatura máxima do ar para a localidade de Campos do Jordão, de acordo com o critério estabelecido pelo coeficiente de concordância “c” apresentado por CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Para a temperatura máxima do ar não ficou evidenciada a tendência de subestimativas das médias mensais observadas (MO's) pelos geradores analisados, conforme concluiu MAVROMATIS & HANSEN (2001) sobre geradores de dados climáticos. Por outro lado, conforme observou HARRISON et al. (2000), o gerador LARS-WG quando aplicado em modelagem de culturas agrícolas, pode provocar alterações nas estimativas das datas prováveis dos estádios fenológicos.

É importante observar, que apesar dos critérios utilizados para avaliação terem apontado para o ótimo desempenho dos 3 geradores na simulação da temperatura do ar (máxima e mínima) nas localidades avaliadas, em algumas ocasiões verificaram-se tanto subestimativas como superestimativas das MR's que se aproximaram de 1°C em relação as MO's. Estas diferenças podem ser consideradas expressivas, quando da utilização das séries climáticas simuladas como dados de

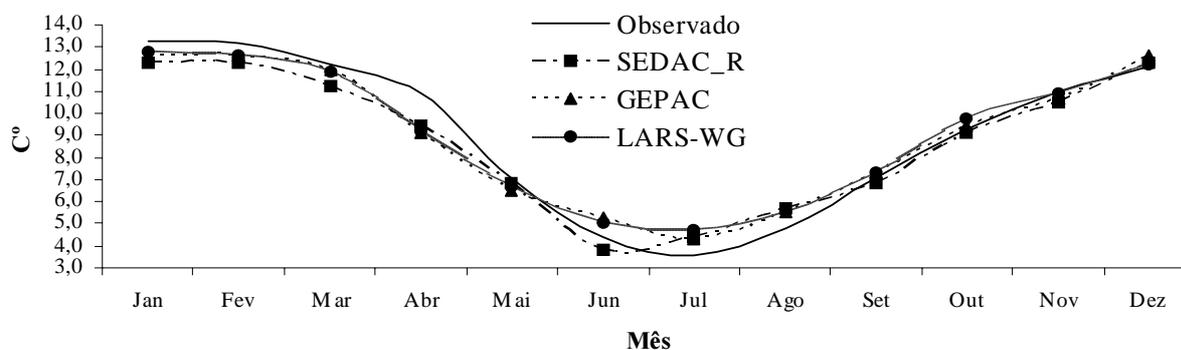
**Tabela 3.** Médias mensais de temperatura mínima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Campinas.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	19,4	19,6	18,8	17,2	14,7	12,5	12,4	13,7	15,1	16,7	18,2	18,9
SEDAC-R	R1	18,9	19,1	18,4	16,4	13,6	12,4	11,4	13,4	14,5	16,5	17,0	18,1
	R2	18,9	19,0	18,4	16,2	13,5	12,4	12,0	13,1	14,8	16,0	17,1	18,2
	R3	18,7	19,1	18,6	15,9	13,6	12,6	11,9	13,2	14,6	16,1	16,8	18,1
	R4	18,6	19,1	18,5	15,9	13,7	12,0	12,0	13,0	14,8	16,3	16,8	17,8
	R5	18,8	19,2	18,6	16,2	13,5	12,5	11,7	13,5	14,7	15,9	17,2	18,1
	MR	18,8	19,1	18,5	16,1	13,6	12,4	11,8	13,2	14,7	16,2	17,0	18,1
GEPAC	R1	18,8	18,9	18,3	16,0	13,6	12,2	11,6	13,2	15,1	16,3	17,0	18,1
	R2	18,7	19,0	18,5	15,9	13,6	12,2	11,6	13,4	15,2	16,2	16,9	18,0
	R3	18,7	18,8	18,1	16,1	13,3	12,3	11,7	13,2	14,9	16,4	16,9	18,1
	R4	18,7	18,9	18,3	16,1	13,3	12,5	11,7	13,2	15,1	16,1	16,8	18,1
	R5	18,7	18,9	18,4	16,1	13,4	12,2	11,6	13,1	14,9	16,4	17,0	18,1
	MR	18,7	18,9	18,3	16,0	13,4	12,3	11,6	13,2	15,0	16,3	16,9	18,1
LARS-WG	R1	19,1	18,9	17,9	16,0	13,5	12,1	11,7	13,2	14,7	16,5	17,5	18,1
	R2	18,9	18,8	18,0	16,1	13,3	12,0	11,8	13,4	14,9	16,3	17,0	17,9
	R3	18,8	18,9	18,1	15,7	13,5	12,1	11,8	13,5	15,3	16,4	17,2	17,8
	R4	19,0	18,9	18,1	15,8	13,5	12,3	12,2	13,4	15,3	16,4	17,4	18,3
	R5	19,0	18,8	18,2	15,9	13,5	11,8	12,1	13,1	15,2	16,6	17,2	18,0
	MR	19,0	18,9	18,1	15,9	13,5	12,1	11,9	13,3	15,1	16,4	17,3	18,0

**Temperatura Mínima - Campinas - 1980/98****Figura 2.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura mínima do ar para Campinas.

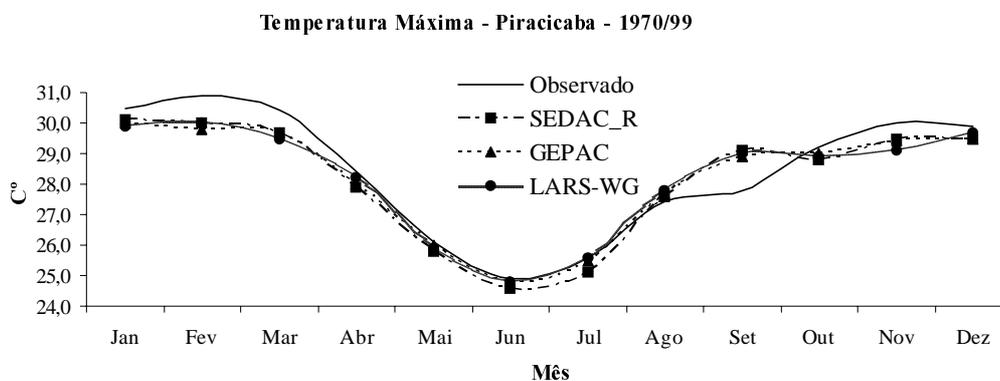
**Tabela 4.** Médias mensais de temperatura mínima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Campos do Jordão.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	13,3	13,2	12,2	10,9	7,1	4,4	3,6	4,8	7,1	9,3	11,0	12,1
SEDAC-R	R1	12,6	12,4	11,4	9,9	6,7	3,8	4,5	5,6	6,6	8,9	10,6	12,2
	R2	12,2	12,3	11,1	9,2	6,4	3,9	4,2	5,8	7,2	9,2	10,3	12,3
	R3	12,5	12,5	10,9	9,1	7,1	4,1	4,8	5,7	6,6	9,5	10,4	12,3
	R4	12,1	12,4	11,2	9,3	7,0	3,3	4,3	5,4	6,6	9,2	10,4	12,3
	R5	12,3	12,1	11,4	9,4	6,8	4,1	4,2	5,9	6,8	8,6	10,6	12,3
	MR	12,3	12,3	11,2	9,4	6,8	3,8	4,4	5,7	6,8	9,1	10,5	12,3
GEPAC	R1	12,5	12,6	12,0	9,1	6,2	5,3	4,2	5,6	7,1	9,5	10,8	12,7
	R2	12,5	12,7	12,0	9,2	6,3	5,4	4,4	5,7	7,0	9,5	11,1	12,8
	R3	12,6	12,3	11,9	9,2	6,8	5,3	4,2	5,3	7,6	9,6	10,8	12,4
	R4	12,8	12,8	12,0	9,1	6,8	5,4	4,4	5,4	7,2	9,2	10,5	12,2
	R5	12,8	12,5	12,3	9,0	6,6	4,9	4,3	5,6	7,5	9,1	10,5	12,7
	MR	12,6	12,6	12,0	9,1	6,5	5,3	4,3	5,5	7,3	9,4	10,7	12,6
LARS-WG	R1	12,6	12,4	11,3	9,3	6,6	5,2	4,4	5,8	7,2	9,3	11,2	12,0
	R2	12,5	12,4	11,8	9,1	6,8	4,8	4,5	5,6	7,7	10,2	11,0	12,1
	R3	12,7	12,6	12,1	9,0	6,6	4,6	4,9	5,4	7,0	10,0	10,8	12,4
	R4	13,3	13,0	12,3	9,5	7,0	5,4	4,9	5,7	7,7	9,4	11,0	12,1
	R5	13,0	12,7	11,8	8,9	6,3	5,1	4,8	4,9	6,9	10,0	10,5	12,6
	MR	12,8	12,6	11,9	9,2	6,7	5,0	4,7	5,5	7,3	9,8	10,9	12,2

**Temperatura Mínima - Campos do Jordão - 1984/90****Figura 3.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura mínima do ar para Campos do Jordão.

**Tabela 5.** Médias mensais de temperatura máxima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Piracicaba.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	30,5	30,9	30,4	28,4	26,1	24,9	25,6	27,4	27,8	29,2	30,0	29,9
SEDAC-R	R1	30,1	30,1	29,5	27,9	25,9	24,3	25,2	28,1	28,8	28,7	29,3	29,5
	R2	30,1	30,0	29,7	28,2	25,8	25,0	24,5	27,7	29,4	29,3	29,4	29,5
	R3	29,9	29,8	29,9	27,9	26,0	24,6	25,3	27,6	28,6	28,9	29,7	29,4
	R4	30,2	30,0	29,7	27,8	25,7	24,9	25,3	27,3	29,4	28,4	29,4	29,5
	R5	30,1	30,1	29,8	27,8	25,7	24,4	25,0	27,5	29,4	28,9	29,6	29,5
	MR	30,1	30,0	29,7	27,9	25,8	24,6	25,1	27,6	29,1	28,8	29,5	29,5
GEPAC	R1	29,9	29,8	29,7	28,1	26,0	24,7	25,2	27,8	28,8	29,1	29,4	29,5
	R2	29,9	29,9	29,6	28,0	25,9	24,8	25,0	27,7	28,9	29,1	29,6	29,4
	R3	30,0	29,8	29,9	28,0	26,0	25,1	25,3	27,8	28,9	28,8	29,3	29,4
	R4	30,1	29,8	29,6	28,0	25,8	24,8	25,1	27,7	29,1	29,0	29,5	29,6
	R5	30,0	29,6	29,6	28,0	26,2	24,8	27,1	27,5	28,7	28,8	29,3	29,7
	MR	30,0	29,8	29,7	28,0	26,0	24,8	25,5	27,7	28,9	29,0	29,4	29,5
LARS-WG	R1	29,7	30,1	29,5	28,4	26,0	24,9	25,6	27,3	29,2	28,6	29,2	29,9
	R2	30,2	30,0	29,4	28,0	26,1	24,7	25,8	27,6	29,0	28,9	28,9	29,7
	R3	29,9	30,0	29,8	28,1	25,9	25,1	26,0	27,8	28,8	28,9	29,2	29,7
	R4	29,8	30,0	29,4	28,3	25,9	24,6	25,5	28,0	29,0	29,0	28,9	29,6
	R5	29,9	29,8	29,5	28,3	25,8	24,6	25,3	28,1	28,8	28,9	29,2	29,7
	MR	29,9	30,0	29,5	28,2	25,9	24,8	25,6	27,8	29,0	28,9	29,1	29,7

**Figura 4.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura máxima do ar para Piracicaba.

**Tabela 6.** Índices de desempenho dos geradores avaliados na simulação de temperatura máxima do ar para as localidades de Piracicaba, Campinas e Campos do Jordão.

<b>Piracicaba</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9622	0,9676	0,9602
d	0,9750	0,9757	0,9718
c	0,9382	0,9441	0,9331
<b>Campinas</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9778	0,9836	0,9758
d	0,9873	0,9897	0,9848
c	0,9655	0,9734	0,9609
<b>Campos do Jordão</b>			
	Sedac_R	Gepac	Lars-WG
r	0,9554	0,9628	0,9578
d	0,9478	0,9401	0,9387
c	0,9055	0,9052	0,8991

entrada em modelos de simulação de crescimento de culturas.

### Conclusão

Na simulação de temperatura do ar para as localidades analisadas neste trabalho, os geradores SEDAC\_R, GEPAC e LARS-WG apresentaram desempenhos semelhantes muito bons. Para a temperatura mínima, os geradores tenderam a subestimar as médias mensais históricas. Entretanto, para a temperatura máxima esta tendência não ficou evidenciada.

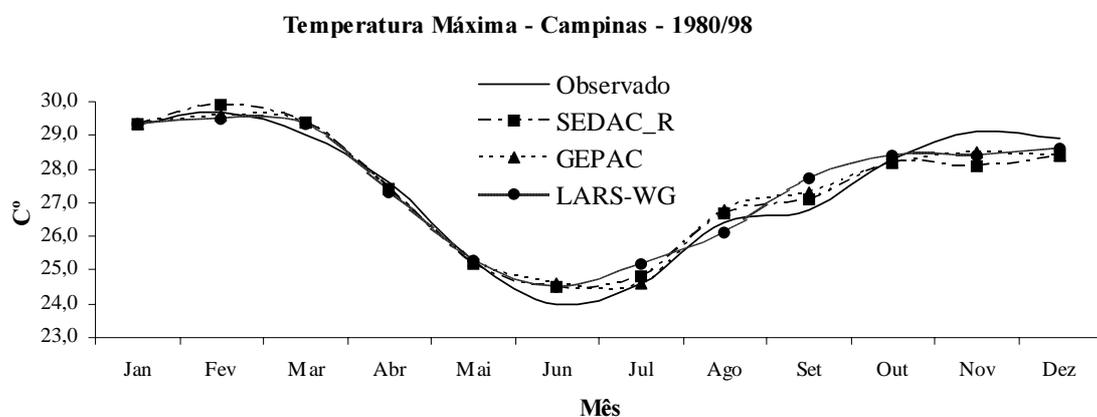
Em algumas ocasiões verificaram-se subestimativas e superestimativas nas médias mensais simuladas que se aproximaram de 1°C em relação as médias mensais observadas para as localidades avaliadas. Estas diferenças, ocorreram tanto na simulação da temperatura mínima como da temperatura máxima e devem ser levadas em consideração, quando da utilização das séries climáticas simuladas como dados de entrada em modelos de simulação de crescimento de culturas.

### Referências Bibliográficas

- BANNAYAN, M. et al. Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, p.114-125, 2003.
- 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**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- HARRISON, P. A. et al. Scaling-up the AFRCWHEAT2 model to assess phenological development for wheat in Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.101, p.167-186, 2000.
- HARTKAMP, A. D. et al. Comparison of three weather generators for crop modeling: a case study for subtropical environments. **Agricultural Systems**, London, v.76, p.539-560, 2003.

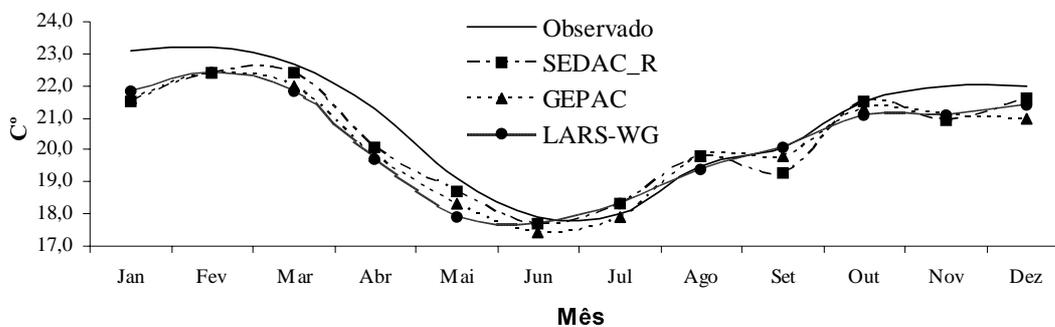
**Tabela 7.** Médias mensais de temperatura máxima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Campinas.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	29,3	29,7	29,0	27,6	25,3	24,0	24,6	26,4	26,8	28,3	29,1	28,9
SEDAC-R	R1	29,4	29,9	29,1	27,2	25,1	24,6	24,7	26,8	26,9	27,9	28,0	28,4
	R2	29,5	29,9	29,5	27,2	25,1	24,4	24,9	26,5	27,2	28,5	28,0	28,3
	R3	29,0	29,8	29,6	27,3	25,3	24,5	25,2	26,9	27,0	28,2	27,8	28,7
	R4	29,6	30,2	29,5	27,6	25,1	24,7	24,5	26,6	26,9	28,0	28,2	28,2
	R5	29,0	29,7	29,1	27,5	25,2	24,5	24,5	26,5	27,3	28,3	28,4	28,2
	MR	29,3	29,9	29,4	27,4	25,2	24,5	24,8	26,7	27,1	28,2	28,1	28,4
GEPAC	R1	29,1	29,8	29,3	27,6	25,4	24,5	24,5	26,6	27,6	28,3	28,5	28,5
	R2	29,2	29,5	29,4	27,5	25,4	24,6	24,8	27,0	27,6	28,0	28,3	28,2
	R3	29,3	29,5	29,6	27,3	25,3	24,6	24,4	26,9	27,2	28,3	28,7	28,3
	R4	29,3	29,7	29,3	27,3	25,2	24,5	24,6	26,9	27,1	28,5	28,4	28,5
	R5	29,4	29,6	29,2	27,4	25,1	24,6	24,7	26,6	27,1	28,0	28,6	28,5
	MR	29,3	29,6	29,4	27,4	25,3	24,6	24,6	26,8	27,3	28,2	28,5	28,4
LARS-WG	R1	29,4	29,5	29,1	27,2	25,4	24,5	25,2	26,2	26,9	28,3	28,3	28,8
	R2	29,6	29,8	29,2	27,4	25,2	24,6	25,2	25,9	28,2	28,5	28,5	28,8
	R3	29,0	29,4	29,4	27,1	25,3	24,4	25,4	26,5	28,0	28,7	28,7	28,4
	R4	29,2	29,4	29,3	27,5	25,2	24,8	25,1	26,3	27,3	27,9	28,1	28,6
	R5	29,1	29,5	29,5	27,4	25,3	24,1	25,2	25,7	28,3	28,7	28,5	28,6
	MR	29,3	29,5	29,3	27,3	25,3	24,5	25,2	26,1	27,7	28,4	28,4	28,6

**Figura 5.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura máxima do ar para Campinas.

**Tabela 8.** Médias mensais de temperatura máxima do ar (°C) observadas e simuladas pelos geradores para Campos do Jordão.

Mês		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OBSERVADO	MO	23,1	23,2	22,7	21,3	19,1	17,9	18,0	19,5	20,1	21,5	22,0	22,0
SEDAC-R	R1	21,8	22,3	22,2	19,9	18,9	17,9	18,1	19,8	19,6	21,8	20,7	21,4
	R2	21,5	22,4	22,6	20,0	18,7	17,6	18,3	19,6	19,5	21,9	21,1	21,7
	R3	21,5	22,3	22,5	20,4	18,5	17,8	18,3	20,2	18,9	21,2	21,2	21,7
	R4	21,4	22,4	22,0	20,1	18,7	17,8	18,3	19,8	18,9	21,4	20,7	21,5
	R5	21,4	22,4	22,5	19,9	18,8	17,6	18,4	19,6	19,5	21,4	21,0	21,6
	MR	21,5	22,4	22,4	20,1	18,7	17,7	18,3	19,8	19,3	21,5	20,9	21,6
GEPAC	R1	21,7	22,4	22,1	19,8	18,4	17,6	18,1	19,6	19,7	21,2	21,3	21,1
	R2	21,5	22,2	21,9	19,8	18,3	17,6	17,9	19,7	19,7	21,5	21,0	20,7
	R3	21,4	22,5	21,9	19,6	18,3	17,1	17,9	19,9	20,0	21,3	20,9	20,8
	R4	21,5	22,5	22,0	19,8	18,1	17,5	17,5	19,8	19,9	21,2	21,1	21,2
	R5	22,1	22,3	22,0	20,1	18,2	17,4	18,2	19,8	19,8	21,5	21,2	21,2
	MR	21,6	22,4	22,0	19,8	18,3	17,4	17,9	19,8	19,8	21,3	21,1	21,0
LARS-WG	R1	22,1	22,3	21,8	20,2	17,6	17,7	18,0	19,3	19,4	20,9	21,1	21,1
	R2	22,2	22,6	21,7	19,6	18,4	17,7	18,4	20,1	20,5	21,1	21,0	21,7
	R3	21,2	22,3	21,8	19,3	18,1	17,5	18,3	19,2	20,4	21,0	21,3	20,8
	R4	21,9	22,8	21,7	19,7	17,3	17,6	18,2	19,1	19,7	21,1	20,7	21,7
	R5	21,8	22,2	22,2	19,9	18,2	17,9	18,4	19,5	20,6	21,2	21,4	21,5
	MR	21,8	22,4	21,8	19,7	17,9	17,7	18,3	19,4	20,1	21,1	21,1	21,4

**Temperatura Máxima - Campos do Jordão - 1984/90****Figura 6.** Curvas de tendência para as médias mensais observadas e simuladas de temperatura máxima do ar para Campos do Jordão.

- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.103, p.137-157, 2000.
- HUNT, L. A. et al. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1090-1094, 1993.
- KUCHAR, L. Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modelling of agricultural processes. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v.65, p.69-75, 2004.
- MAVROMATIS, T.; HANSEN, J. W. Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.109, p.283-296, 2001.
- MEARNS, L. O. et al. Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v.23, p.1601-1613, 1984.
- PICKERING, N. B. et al. WEATHERMAN: A utility for managing and generating daily weather data. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.332-337, 1994.
- RICHARDSON, C. W. Weather simulation for crop management models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.5, p.1602-1606, 1985.
- RICHARDSON, C. W., WRIGHT, D. A. WGEN: A model for generating daily weather variables. **USDA-ARS ARS-8**, Washington-DC, 1984, 80p.
- SEMENOV, M. A., BARROW, E. M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. **Climatic Changes**, v.35, p.397-415, 1997.
- SOLTANI, A. et al. Evaluation of WGEN for generating long term weather data for crop simulations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.102, p.1-12, 2000.
- VIRGENS FILHO, J. S. **Modelo computacional para simulação de dados climáticos**. 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997.
- VIRGENS FILHO, J. S. **Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade**. 2001. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Silver Spring, v.2, n.2, p.184-194, 1981.