



Avaliação do desempenho do modelo CLIGEN em gerar dados climáticos para modelos hidrológicos e agronômicos¹

Adão W. P. Evangelista², Paulo A. Ferreira³, Fernando F. Pruski³ & Gilberto C. Sedyama³

RESUMO

Tendo em vista o grande número de variáveis que envolvem e dificultam a avaliação de sistemas agronômicos e hidrológicos, a utilização de modelos torna-se desejável, pois proporciona rapidez para a análise dos resultados, além de permitir que um grande número de fatores e efeitos seja contabilizado. A utilização desses modelos requer, na maioria das vezes, uma base de dados climáticos onde alguns dos elementos não são registrados em muitas estações climáticas localizadas no território brasileiro e, normalmente, as séries históricas existentes são de curta duração sendo, portanto, pouco representativas. Desta forma, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desempenho do modelo CLIGEN, quanto a gerar os elementos climáticos normalmente utilizados como entrada em modelos hidrológicos e agronômicos, comparando-se os valores dos elementos climáticos gerados com os observados. CLIGEN é um modelo gerador de dados climáticos, capaz de produzir séries sintéticas de elementos climáticos para uso em modelos destinados ao estudo de erosão e movimento de água no solo. De maneira geral, este modelo mostrou bom desempenho em gerar os elementos climáticos.

Palavras-chave: séries sintéticas, gerador climático, simulação

Performance evaluation of CLIGEN model to generate climatic data for agronomical and hydrological models

ABSTRACT

Agronomical and hydrological systems evaluation is constrained by the high number of variables involved. Therefore, the use of a model is a desirable solution, which provides quick analysis besides permit that many factors and effects may be considered. For utilization of these models, complete climate database, rarely available in Brazil, is required, and most of the time the existence of number of reports are for a short time, therefore, less representative. For this reason, the objective of this work was to evaluate the performance of CLIGEN model, in generating the climatic elements to utilize as input parameters for hydrological and agronomical models, comparing the generated values of climatic elements with observed. CLIGEN is a climatic data model generator, which has the capacity of producing series of synthetic climatic elements for the use in models to study the erosion and movement of water in soil. In general, CLIGEN model showed a good performance in generating climatic elements.

Key words: synthetic series, weather generator, simulation

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à UFV, Pesquisa financiada pela FAPEMIG

² UFLA, Departamento de Engenharia, CP 37, CEP 37200-000, Lavras, MG, Fone: (35) 3829-1666. E-mail: awpego@ufla.br (Foto)

³ UFV, Av. P. H. Rolfs s/n, CEP 36571-000, Viçosa, MG. E-mail: pafonso@ufv.br, pruski@ufv.br, sedyama@ufv.br

INTRODUÇÃO

Os modelos em que se utilizam elementos climáticos como parâmetros de entrada, são de grande importância para a avaliação de sistemas agrônômicos e simulação do comportamento de sistemas hidrológicos. Nas regiões brasileiras a sua utilização apresenta, como limitação principal, a falta de alguns elementos climáticos, não registrados nas estações climáticas locais. Desta forma, uma das maneiras de se contornar o presente problema é estimar esses elementos climáticos, utilizando-se os geradores climáticos que, por sua vez, são modelos de simulação matemática que estimam a ocorrência de variáveis climáticas e têm, por objetivo, a geração de um conjunto de valores numéricos, denominado série sintética, com as mesmas características estatísticas da série histórica. Na literatura existente sobre o assunto, são apresentados vários modelos para geração de séries sintéticas de dados climáticos sendo, dentre estes, os de uso mais generalizado, o CLIGEN (Climate Generator), o WGEN (Weather Generator), o WXGEN (componente do modelo EPIC – Erosion/Productivity Impact Calculator), o WEATHERMAN e o USCLIMATE.

Séries sintéticas de dados climáticos são úteis em estudos relacionados à quantificação das taxas médias de erosão do solo. Cecilio et al. (2004) compararam as perdas de água e solo em uma bacia hidrográfica localizada em Viçosa, MG, com as calculadas pelo modelo WEPP, que utiliza o gerador climático CLIGEN, enquanto Amorim (2004) o avaliou para as condições edafoclimáticas brasileiras, comparando as perdas de água e solo calculadas com as observadas sob condições de chuva natural. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que os parâmetros internos do modelo WEPP, entre eles os parâmetros do gerador climático, devem ser calibrados com cuidado para as condições brasileiras, para a obtenção de estimativas mais confiáveis das perdas de solo e água.

Geradores climáticos também são significativos para a obtenção de parâmetros de entrada para a modelagem de ecossistemas. Friend et al. (1997) obtiveram as principais variáveis de entrada para um modelo utilizado na análise da dinâmica de ecossistemas terrestres, a partir de séries sintéticas. Este recurso também foi usado por Kittel et al. (1995) na construção de um banco de dados bioclimáticos, o que permitiu a análise da sensibilidade de um ecossistema às mudanças climáticas.

O modelo SDA, desenvolvido por Evangelista (2003), com base em séries sintéticas de dados climáticos, permite o dimensionamento e manejo de sistemas de drenagem agrícola em regiões de clima úmido e subúmido. A base de dados climáticos requeridos pelo modelo é gerada através do programa gerador de dados climáticos CLIGEN, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

O modelo CLIGEN gera dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento e temperatura do ponto de orvalho, além dos dados relacionados às características da precipitação, ou seja, o total diário precipitado, a duração da precipitação, a in-

tensidade máxima de precipitação e o tempo no qual ela ocorre (Nicks et al., 1995).

Com base no exposto objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desempenho do modelo CLIGEN em gerar os principais dados climáticos de entrada de modelos agrônômicos e hidrológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Base de dados climáticos

Os dados de entrada do gerador climático CLIGEN são: probabilidade de ocorrência de dia chuvoso, tendo o dia anterior sido chuvoso, valor mensal; probabilidade de ocorrência de dia chuvoso, embora o dia anterior tenha sido seco, valor mensal; média mensal de intensidade máxima de precipitação; frequência acumulada de ocorrência do tempo de pico; média mensal, desvio-padrão e coeficiente de assimetria do total diário precipitado, das temperaturas máxima e mínima do ar, da radiação solar e da temperatura do ponto de orvalho. Esses dados se referem a médias mensais de séries históricas do local de interesse.

A metodologia utilizada no modelo CLIGEN para gerar os elementos meteorológicos, é descrita a seguir (Nicks et al., 1995):

Precipitação total diária

O número e a ocorrência de eventos de precipitação total diária são determinados utilizando-se a primeira ordem da cadeia de Markov, com dois estados. O método da cadeia de Markov baseia-se no cálculo de duas probabilidades condicionais, ou seja, de um dia ser chuvoso, desde que o dia anterior tenha sido seco $P(W/D)$ e possibilidade de um dia ser chuvoso, desde que o dia anterior também o seja $P(W/W)$.

Se o dia anterior ao dia simulado for chuvoso, a probabilidade de ocorrência de chuva será $P(W/W)$; caso contrário, será $P(W/D)$.

A precipitação total diária é estimada a partir de uma equação originada da distribuição Pearson tipo III, expressa por:

$$P = \mu + \frac{2s}{g} \left(\left[\frac{g}{6} \left(x' - \frac{g}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1 \right) \quad (1)$$

em que:

- P – precipitação total diária, mm;
- μ – média mensal da precipitação total diária, mm;
- s – desvio padrão da precipitação total diária, mm;
- g – coeficiente de assimetria da precipitação diária, adimensional; e
- x' – variável normal padronizada, adimensional.

A duração das precipitações diárias é estimada conforme proposto por Arnold et al. (1990), considerando-se a precipitação máxima em 30 min, ou seja:

$$D_p = \frac{9,212}{-2 \ln(1 - \alpha_{0,5})} \quad (2)$$

em que:

- D_p – duração da precipitação, h;
 $\alpha_{0,5}$ – razão entre a precipitação máxima ocorrida em 30 min e a precipitação total diária, adimensional.

A intensidade máxima instantânea de precipitação é estimada pela equação proposta por Arnold & Williams (1989), expressa por:

$$i_p = -2 P \ln(1 - \alpha_{0,5}) \quad (3)$$

em que i_p é a intensidade máxima instantânea de precipitação (mm h^{-1})

A obtenção do tempo compreendido entre o início do evento de chuva até o tempo de ocorrência da intensidade máxima instantânea de precipitação, é realizada por meio do estudo de frequência dos valores obtidos na série histórica considerada.

Os valores diários de radiação solar, temperaturas máxima e mínima do ar e temperatura do ponto de orvalho, são gerados utilizando-se a distribuição normal padrão.

Base de dados utilizados

Os dados de entrada do modelo CLIGEN, ou seja, a média mensal, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria da precipitação total, das temperaturas máxima e mínima do ar, da temperatura do ponto de orvalho e da velocidade do vento, além da probabilidade de um dia ser chuvoso, tendo o anterior sido chuvoso e da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido seco o anterior, foram obtidos a partir da série histórica da região de Viçosa, para o período de 1972 a 2001, no total de 30 anos. As informações relativas à duração dos eventos de precipitação, a intensidade máxima instantânea de precipitação e o tempo para a sua ocorrência, foram extraídas de dados pluviográficos. Gerou-se, com o modelo CLIGEN, uma série sintética de elementos climatológicos, para o período de 50 anos.

Análise dos dados

Para possibilitar uma análise dos elementos meteorológicos gerados pelo CLIGEN, os valores gerados foram comparados com os valores observados. A metodologia adotada para a comparação dos resultados, fundamenta-se na análise de regressão linear simples, nos coeficientes de determinação (R^2) e angular (a) das respectivas regressões e na comparação visual dos resultados, por meio de gráficos e tabelas. Os valores observados e gerados foram ajustados numa função $y = ax$, isto é, com intercepto zero.

Utilizou-se também o cálculo do intervalo de confiança a 95% de significância para as médias mensais, com o objetivo de se avaliar estatisticamente os valores gerados pelo CLIGEN, pela visualização de gráficos de barras de erro. O intervalo de confiança foi obtido por

$$IC = \bar{X} \pm t_{0,025} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

em que:

- IC – intervalo de confiança;
 \bar{X} – média gerada pelo modelo
 $t_{0,025}$ – valor de t crítico bilateral a nível de 5,0%
 s – desvio padrão dos valores observados
 n – número de dados da amostra.

Calcularam-se também as variações percentuais (δ) entre as médias mensais dos valores gerados pelo CLIGEN e os observados na série histórica. A partir do módulo dos valores das variações percentuais (δ) calculou-se também o valor médio das variações percentuais (VMVP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela geração de séries sintéticas de dados climáticos da região de Viçosa, MG, empregando-se o CLIGEN e o ajustamento dessas séries às séries de dados observados por meio da análise estatística, são apresentados a seguir.

Número de dias chuvosos e precipitação total diária

Os valores médios mensais do número de dias chuvosos e precipitação total diária, os respectivos desvios-padrão dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, as variações percentuais dos valores gerados em relação aos valores observados e o valor médio dessas variações, encontram-se na Tabela 1, na qual se constata que, para o número de dias chuvosos (NW), em julho a média mensal gerada pelo CLIGEN superestimou os dados observados, em 13,6% e, em outubro, a média mensal observada foi superestimada em 9,7%. Com relação aos desvios-padrão, em maio se teve uma subestimativa igual a 44,4%, seguido do mês de janeiro, com uma subestimativa de 42,7%. O VMVP das médias mensais foi igual a 4,7%, demonstrando que o modelo CLIGEN estimou com precisão o número de dias chuvosos.

Pelos resultados, ressalta-se que as médias mensais de precipitação geradas pelo CLIGEN apresentaram pequenas variações em relação aos valores observados, indicando variação média de 2,3% e os desvios-padrão mostraram, em média, variações percentuais de 7,7%.

Vê-se, na Figura 1A, a relação entre os valores do número de dias chuvosos observados e os gerados pelo CLIGEN, além das barras de erro, que indicam o intervalo de confiança associado ao nível de significância de 95% para cada ponto de correspondência entre os valores observados e os gerados pelo CLIGEN, nos meses do ano. A linha de equivalência ($X = Y$) representa uma condição de igualdade entre os valores observados e os gerados.

O ajustamento da equação de regressão aos dados observados do número de dias chuvosos, realizado com o CLIGEN, pode ser considerado bom, ou seja, declividade $a = 0,998$ e $R^2 = 0,98$.

Nota-se, na Figura 1B, a relação entre os valores de precipitação observados e os gerados pelo CLIGEN. O coeficiente de determinação igual a 0,99 indica alta correlação entre os valores observados e os gerados pelo modelo. Este resultado é confirmado pelas barras de erro que interceptam, simultaneamente, as linhas de equivalência e de regressão.

Tabela 1. Valores médios mensais do número de dias chuvosos (NW), da precipitação total diária (P) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, valores das variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado				CLIGEN							
	NW (dias)	S _{NW} (dias)	P (mm)	S _P (mm)	NW (dias)	S _{NW} (dias)	δ_{NW} (%)	δ_{S-NW} (%)	P (mm)	S _P (mm)	δ_P (%)	δ_{S-P} (%)
Jan	17,0	5,5	12,4	12,5	16,4	3,2	-3,8	-42,7	12,4	11,9	-0,3	-5,1
Fev	12,1	3,9	9,3	8,8	12,2	3,4	0,2	-12,2	9,2	8,4	-0,8	-4,1
Mar	13,6	5,4	10,1	9,3	14,2	3,4	4,9	-36,6	10,2	9,4	0,7	0,9
Abr	9,7	3,7	6,6	5,6	9,6	2,9	-0,5	-23,2	6,5	5,9	-0,9	6,1
Mai	9,0	5,1	4,1	3,5	8,5	2,8	-5,6	-44,4	3,9	3,8	-5,8	7,6
Jun	6,5	5,0	3,2	1,9	6,7	2,9	3,3	-41,4	3,1	2,1	-2,5	12,3
Jul	5,3	4,6	3,5	2,4	6,0	3,0	13,6	-34,2	3,3	1,7	-4,9	-27,5
Ago	5,0	3,3	3,2	1,8	5,4	2,1	7,8	-36,1	2,9	1,5	-6,6	-15,3
Set	7,7	4,7	7,7	5,0	7,8	3,0	0,9	-36,4	7,4	4,7	-3,3	-6,4
Out	13,1	4,1	8,6	7,7	14,3	3,4	9,7	-17,6	8,6	7,8	0,2	1,7
Nov	16,2	3,6	12,7	12,9	16,0	2,4	-1,5	-32,5	12,9	12,4	1,1	-4,1
Dez	19,0	3,7	13,4	14,1	18,1	3,8	-4,7	3,3	13,5	14,2	0,5	0,9
VMVP							4,7	30,0			2,3	7,7

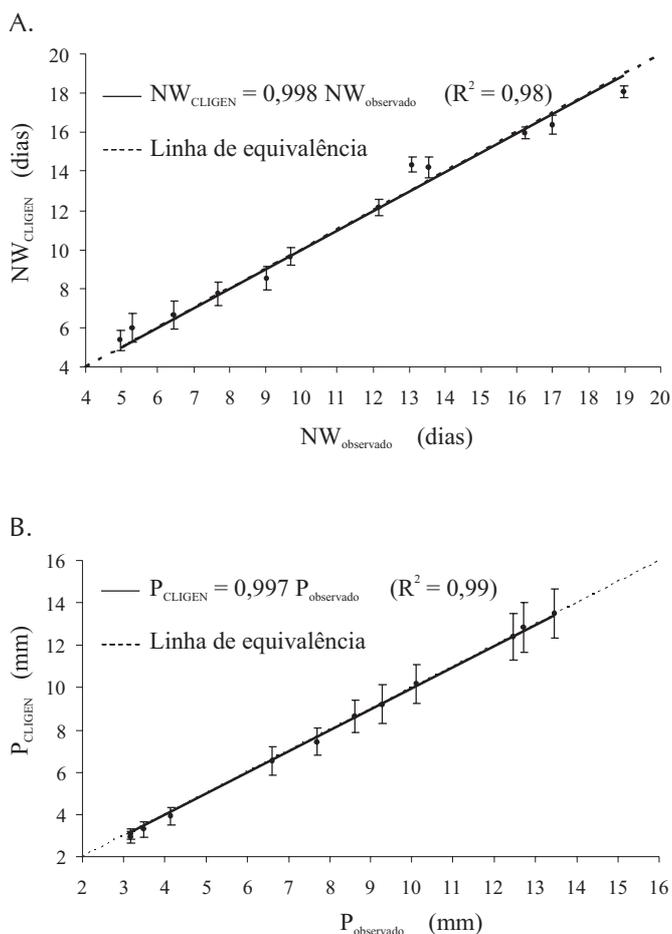


Figura 1. Relação entre os valores observados e os gerados pelo CLIGEN, (A) para o número médio de dias com precipitação (NW), (B) para a precipitação total diária, e o intervalo de confiança, associado a um nível de significância de 95%

Probabilidades condicionais da cadeia de Markov

Probabilidade de um dia ser chuvoso, tendo-o sido também o anterior e probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido seco o dia anterior

Os valores médios mensais da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido chuvoso o anterior, da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido seco o anterior e dos respectivos desvios-padrão dos valores observados e os gerados pelo CLIGEN, as variações percentuais dos valores gerados em relação aos valores observados e o valor médio dessas variações, encontram-se na Tabela 2.

Comparando-se os resultados gerados de P(W/W) com os valores observados, verifica-se que as maiores variações percentuais ocorreram em junho e agosto. No primeiro mês, a média mensal gerada pelo CLIGEN subestimou os dados observados em 13,8% e, em agosto, esta média foi superestimada em 21,4%. Com relação aos desvios-padrão, no mês de dezembro constatou-se uma superestimativa de 44,4% e, no do mês de fevereiro, de 28,6%.

A média das variações percentuais entre os resultados obtidos de P(W/D) utilizando-se o CLIGEN e os valores observados, foi de 3,5% e os desvios-padrão apresentaram, em média, uma variação de 25,4% em relação aos valores observados.

Em maio, a média mensal de P(W/D) gerada pelo CLIGEN subestimou os valores observados em 7,1%, e em dezembro, 6,4%.

A Figura 2A mostra a relação entre os valores de P(W/W) observados e os gerados pelo CLIGEN. O coeficiente de determinação igual a 0,97 indica que, apesar das diferenças observadas em alguns meses, foi alta a correlação entre os valores observados e os gerados.

Pela análise de regressão entre o $P(W/D)_{CLIGEN}$ e o $P(W/D)_{observado}$ (Figura 2B) observa-se alta correlação entre

Tabela 2. Valores médios mensais da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o anterior também chuvoso (P(W/W)), da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido seco o anterior (P(W/D)) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado				CLIGEN							
	P(W/W) (dec.)	S _{P-W/W} (dec.)	P(W/D) (dec.)	S _{P-W/D} (dec.)	P(W/W) (dec.)	S _{P(W/D)} (dec.)	$\delta_{P(W/W)}$ (%)	$\delta_{S-P(W/W)}$ (%)	P(W/D) (dec.)	S _{P(W/D)} (dec.)	$\delta_{P(W/D)}$ (%)	$\delta_{S-P(W/D)}$ (%)
Jan	0,69	0,15	0,38	0,18	0,68	0,11	-1,4	-26,7	0,37	11,9	-2,6	-44,4
Fev	0,59	0,18	0,31	0,12	0,60	0,16	1,7	-11,1	0,30	8,4	-3,2	-8,3
Mar	0,56	0,18	0,34	0,17	0,59	0,13	5,4	-27,8	0,35	9,4	2,9	-23,5
Abr	0,41	0,14	0,29	0,12	0,40	0,18	-2,4	28,6	0,29	5,9	0,0	-8,3
Mai	0,36	0,17	0,28	0,17	0,32	0,17	-11,1	0,0	0,26	3,8	-7,1	-41,2
Jun	0,29	0,25	0,20	0,14	0,33	0,19	13,8	-24,0	0,19	2,1	-5,0	-28,6
Jul	0,27	0,25	0,17	0,13	0,26	0,27	-3,7	8,0	0,18	1,7	5,9	-46,2
Ago	0,28	0,24	0,15	0,08	0,22	0,18	-21,4	-25,0	0,16	1,5	6,7	-25,0
Set	0,38	0,23	0,22	0,12	0,38	0,19	0,0	-17,4	0,22	4,7	0,0	-16,7
Out	0,55	0,14	0,34	0,13	0,59	0,14	7,3	0,0	0,34	7,8	0,0	-15,4
Nov	0,63	0,11	0,42	0,14	0,63	0,09	0,0	-18,2	0,43	12,4	2,4	-21,4
Dez	0,71	0,09	0,47	0,19	0,69	0,13	-2,8	44,4	0,44	14,2	-6,4	-26,3
VMVP							5,9	19,3			3,5	25,4

os valores observados e os gerados pelo CLIGEN.

A maioria das barras de erros relativos às médias mensais de P(W/W) e P(W/D) intercepta as linhas de equivalência e de regressão. Pela análise dos resultados obtidos, evidencia-se que o CLIGEN mostrou bom desempenho ao estimar as probabilidades médias mensais de P(W/W) e P(W/D).

Temperaturas máxima, mínima e do ponto de orvalho

Os resultados relativos aos valores médios mensais das

temperaturas máxima, mínima e do ponto de orvalho e dos respectivos desvios-padrão dos valores gerados pelo CLIGEN, as variações percentuais em relação aos valores observados e o valor médio dessas variações, acham-se nas Tabelas 3 e 4.

Percebe-se que os valores de temperatura gerados pelo CLIGEN apresentam pequenas variações percentuais em relação aos valores observados, tanto para as médias mensais quanto para os desvios-padrão. Com relação às médias mensais, as temperaturas máximas, mínimas e do

Tabela 3. Valores médios mensais das temperaturas máxima (T_x) e mínima (T_n) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado				CLIGEN							
	T_x (°C)	S _{Tx} (°C)	T_n (°C)	S _{Tn} (°C)	T_x (°C)	S _{Tx} (°C)	δ_{Tx} (%)	δ_{S-Tx} (%)	T_n (°C)	S _{Tn} (°C)	δ_{Tn} (%)	δ_{S-Tn} (%)
Jan	28,42	2,52	18,21	1,28	28,45	2,51	0,11	-0,40	18,18	1,28	-0,16	0,00
Fev	29,15	1,98	18,20	1,28	29,13	1,94	-0,07	-2,02	18,20	1,28	0,00	0,00
Mar	28,47	2,01	17,76	1,43	28,48	1,99	0,04	-1,00	17,75	1,43	-0,06	0,00
Abr	26,64	2,19	16,02	2,12	26,63	2,14	-0,04	-2,28	15,99	2,12	-0,19	0,00
Mai	25,04	2,21	13,31	2,43	25,06	2,24	0,08	1,36	13,35	2,48	0,30	2,06
Jun	24,03	2,22	10,98	2,57	24,06	2,23	0,12	0,45	10,99	2,68	0,09	4,28
Jul	23,86	2,38	10,43	2,48	23,83	2,36	-0,13	-0,84	10,37	2,46	-0,58	-0,81
Ago	25,04	3,57	11,51	2,50	25,01	3,23	-0,12	-9,52	11,47	2,55	-0,35	2,00
Set	25,42	3,44	13,86	2,43	25,38	3,46	-0,16	0,58	13,87	2,41	0,07	-0,82
Out	26,47	3,45	16,15	1,93	26,40	3,46	-0,26	0,29	16,07	1,96	-0,50	1,55
Nov	27,02	3,17	17,40	1,71	27,03	3,15	0,04	-0,63	17,37	1,69	-0,17	-1,17
Dez	27,49	2,72	18,09	1,45	27,47	2,73	-0,07	0,37	18,03	1,51	-0,33	4,14
VMVP							0,10	1,64			0,23	1,40

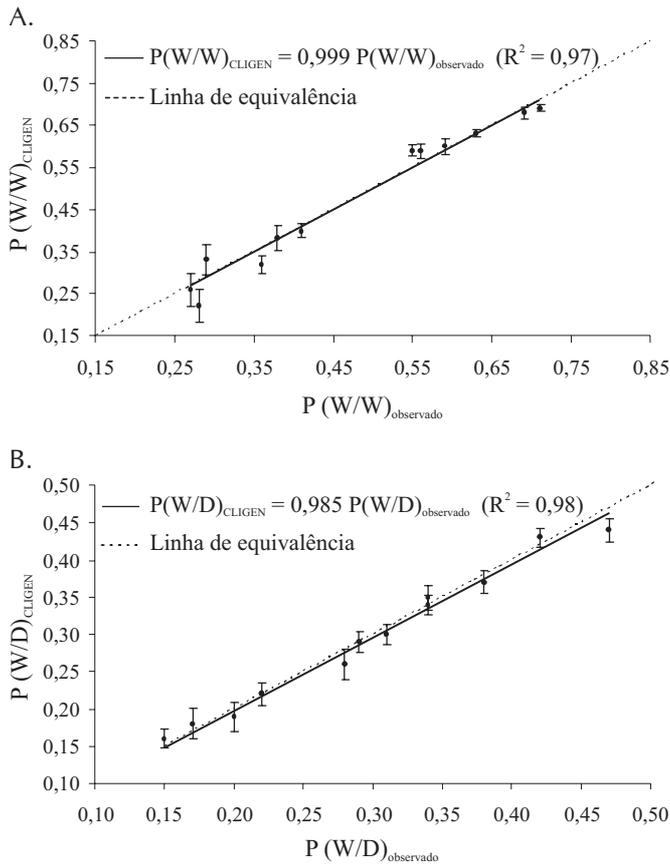


Figura 2. Relação entre os valores observados e gerados pelo CLIGEN (A) para a probabilidade de um dia ser chuvoso tendo-o sido também o anterior P(W/W) e (B) probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o dia anterior seco (P(W/D)) e o intervalo de confiança associado a um nível de significância de 95%

Tabela 4. Valores médios mensais da temperatura do ponto de orvalho (TPO) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado		CLIGEN			
	TPO (°C)	S _{TPO} (°C)	TPO (°C)	δ_{TPO} (%)	S _{TPO} (°C)	$\delta_{\delta-TPO}$ (%)
Jan	18,90	1,28	18,88	-0,11	1,83	42,97
Fev	18,92	1,28	18,88	-0,21	1,59	24,22
Mar	18,72	1,43	18,71	-0,05	1,67	16,78
Abr	17,24	2,12	17,17	-0,41	2,04	-3,77
Mai	15,17	2,43	15,05	-0,79	2,15	-11,52
Jun	13,40	2,57	13,29	-0,82	2,32	-9,73
Jul	12,60	2,48	12,52	-0,63	2,31	-6,85
Ago	12,90	2,50	12,82	-0,62	2,75	10,00
Set	14,29	2,43	14,17	-0,84	2,69	10,70
Out	16,19	1,93	16,06	-0,80	2,54	31,61
Nov	17,54	1,71	17,44	-0,57	2,29	33,92
Dez	18,67	1,45	18,59	-0,43	2,00	37,93
VMVP			0,52	20,00		

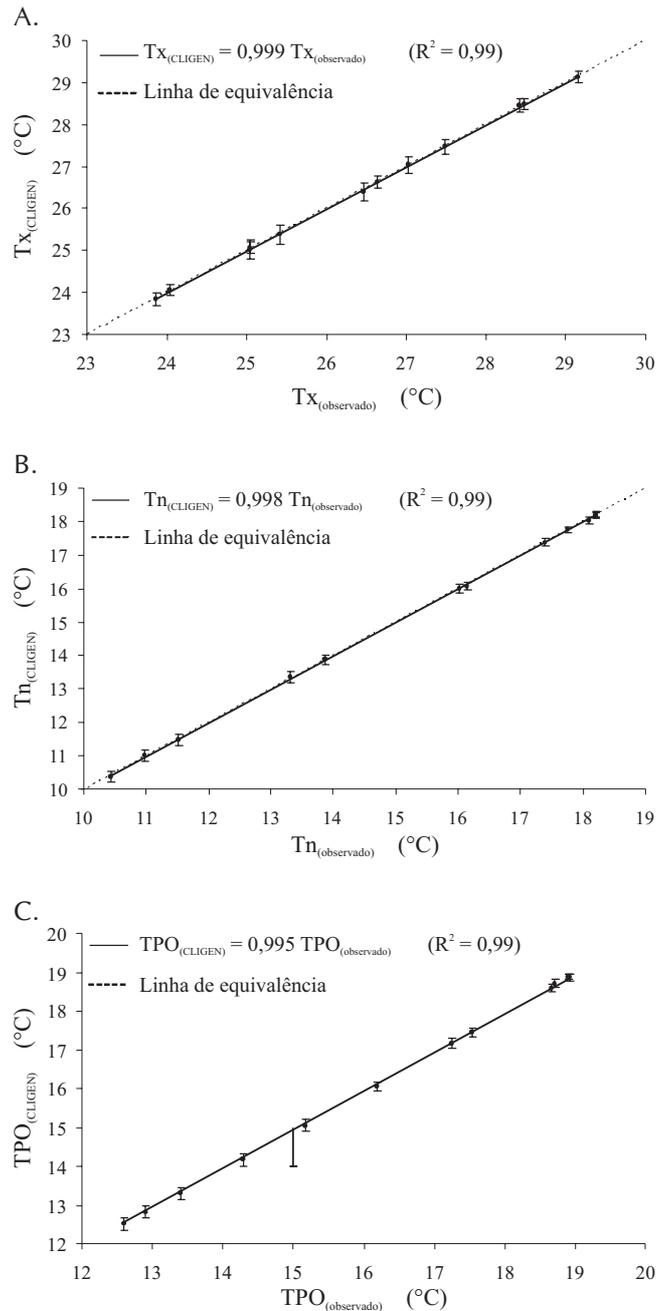


Figura 3. Relação entre os valores observados e os gerados pelo CLIGEN para as temperaturas, máxima, mínima e do ponto de orvalho (T_x , T_n e TPO), e o intervalo de confiança associado a um nível de significância de 95%

ponto de orvalho apresentaram variações percentuais de 0,10, 0,23 e 0,52%, respectivamente, e os desvios-padrão indicaram variações médias de 1,64, 1,4, e 20%, respectivamente.

A Figura 3 mostra a relação entre os valores das temperaturas máxima, mínima e do ponto de orvalho, observados e gerados pelo CLIGEN. Obteve-se um coeficiente de determinação próximo da unidade para todas as temperaturas, o que indica alta correlação entre os dados observados e os gerados pelo modelo. Este resultado é confirmado pelas barras de erro que interceptam, simultaneamente, as linhas de equivalência e de regressão.

Radiação solar e velocidade do vento

Os resultados relativos aos valores médios mensais de radiação solar e velocidade do vento, dos respectivos desvios-padrão dos valores gerados pelo CLIGEN, as variações percentuais em relação aos valores observados e o valor médio dessas variações, encontram-se na Tabela 5.

A partir da comparação dos resultados gerados pelo CLIGEN com os dados observados, é possível se constatar pequenas variações percentuais dos desvios-padrão e das médias mensais de radiação solar e velocidade do vento. Considerando-se os valores médios das variações percentuais (VMVP) obtidos para a radiação solar, verifica-se que o VMVP da média mensal foi de 0,5% e o do desvio padrão, de 10,37%. Para a velocidade do vento, tem-se que o VMVP da média mensal foi de 0,5% e, o do desvio padrão, de 1,22%.

A Figura 4 apresenta a relação entre os valores de radiação solar e a velocidade do vento, observados e os gerados pelo CLIGEN. Nota-se que o CLIGEN forneceu estimativas dessas variáveis altamente correlacionadas com os valores observados ($R^2 = 0,99$) cujo resultado é confirmado pelas barras de erro que interceptam, simultaneamente, as linhas de equivalência e de regressão.

Duração da precipitação, intensidade máxima de precipitação padronizada e tempo de ocorrência padronizado da intensidade máxima

Os resultados relativos aos valores médios mensais da duração dos eventos diários de precipitação, da intensidade máxima de precipitação padronizada, do tempo de sua ocorrência e dos respectivos desvios-padrão dos valores gerados pelo CLIGEN, as variações percentuais em relação aos valores observados e o valor médio dessas variações, acham-se nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

De maneira geral, os valores de duração dos eventos de precipitação e da intensidade máxima de precipitação padro-

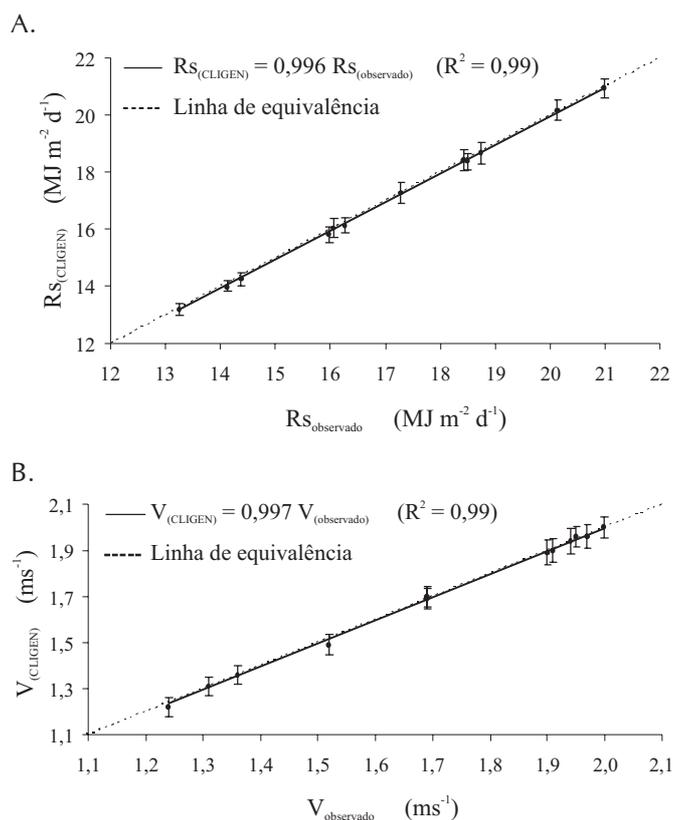


Figura 4. Relação entre os valores observados e os gerados pelo CLIGEN (a) para a radiação solar diária (R_s), (b) e velocidade do vento (v), e o intervalo de confiança associado a um nível de significância de 95%

nizada gerados pelo CLIGEN, apresentaram grandes variações percentuais em relação aos valores observados, tanto para as médias mensais quanto para os desvios-padrão, mas os valores gerados do tempo padronizado para a ocorrência da intensidade máxima de precipitação indicaram pequenas

Tabela 5. Valores médios mensais de radiação solar (R_s), de velocidade do vento (v) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado				CLIGEN							
	R_s ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	S_{R_s}	v (m s^{-1})	S_v	R_s ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	S_{R_s}	δ_{R_s} (%)	$\delta_{S_{R_s}}$ (%)	V (m s^{-1})	S_v (m s^{-1})	δ_v (%)	δ_{S_v} (%)
Jan	20,13	5,66	2,00	0,73	20,16	4,93	0,18	-12,90	2,00	0,73	0,0	0,0
Fev	20,99	5,04	1,95	0,67	20,93	5,01	-0,30	-0,58	1,96	0,67	0,5	0,0
Mar	18,50	4,56	1,69	0,69	18,38	4,50	-0,61	-1,28	1,69	0,71	0,0	2,9
Abr	16,27	3,94	1,52	0,66	16,13	3,83	-0,86	-2,79	1,49	0,70	-2,0	6,1
Mai	14,36	3,61	1,31	0,63	14,26	3,36	-0,73	-6,70	1,31	0,62	0,0	-1,6
Jun	13,26	3,05	1,24	0,61	13,18	3,15	-0,56	3,26	1,22	0,62	-1,6	1,6
Jul	14,12	3,14	1,36	0,66	14,00	3,29	-0,91	4,60	1,36	0,66	0,0	0,0
Ago	15,97	3,99	1,69	0,72	15,82	3,81	-0,99	-4,49	1,70	0,72	0,6	0,0
Set	16,05	5,02	1,90	0,83	16,03	3,97	-0,12	-20,82	1,89	0,82	-0,5	-1,2
Out	17,28	5,75	1,94	0,84	17,26	4,29	-0,09	-25,28	1,94	0,84	0,0	0,0
Nov	18,43	5,82	1,91	0,79	18,43	4,60	-0,02	-20,93	1,90	0,78	-0,5	-1,3
Dez	18,73	5,88	1,97	0,78	18,68	4,65	-0,25	-20,83	1,96	0,78	-0,5	0,0
VMVP							0,5	10,37			0,5	1,22

Tabela 6. Valores médios mensais da duração dos eventos diários de precipitação (D_{ip}) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado		CLIGEN			
	D_{ip} (h)	S_{Dip} (h)	D_{ip} (h)	δ_{Dip} (%)	S_{Dip} (h)	δ_{s-Dip} (%)
Jan	3,94	4,49	2,57	-34,7	1,49	-66,7
Fev	2,53	3,23	1,71	-32,5	0,94	-70,8
Mar	3,20	3,89	2,06	-35,7	1,24	-68,1
Abr	1,98	2,33	1,68	-15,4	0,96	-58,8
Mai	1,74	2,17	1,35	-22,8	0,70	-67,6
Jun	1,38	1,80	1,30	-5,5	0,72	-60,2
Jul	2,93	3,23	1,58	-46,2	0,91	-71,7
Ago	1,89	2,21	1,27	-32,9	0,65	-70,4
Set	2,97	3,08	2,20	-26,1	1,19	-61,3
Out	2,69	3,60	1,93	-28,3	1,12	-69,0
Nov	3,32	3,86	2,76	-16,8	1,50	-61,2
Dez	3,37	3,98	2,86	-15,2	1,57	-60,7
VMVP			26,0		65,6	

variações percentuais em relação aos valores observados.

Considerando-se, ainda, os resultados gerados com os observados, verifica-se que as variações percentuais para a média e o desvio padrão da duração da precipitação, foram de 26 e 65,6%, da intensidade máxima de precipitação padronizada de 22,2 e 61% e do tempo de ocorrência da intensidade máxima padronizado de, 9,6 e 3,8%.

Considerações sobre o modelo CLIGEN

Em geral, o modelo CLIGEN apresentou bom desempenho em estimar os elementos climáticos analisados, como se

observa através dos altos índices estatísticos obtidos, mostrando a grande proximidade dos dados gerados com os valores observados na série original. Desta forma, percebe-se que o modelo CLIGEN pode ser considerado uma alternativa promissora para geração de séries sintéticas de elementos climáticos de elevada importância para avaliação de sistemas agrônômicos e hidrológicos. Por outro lado, esses resultados devem ser confirmados pela realização de estudo em outras localidades de diferentes cenários.

Oliveira (2003) realizou estudo semelhante para algumas localidades situadas no estado do Rio de Janeiro, comparando apenas os dados referentes às características da precipitação, gerados pelo CLIGEN e pelo CLIMABR (Oliveira, 2003), com os dados observados. Naquele trabalho, foi notório o bom desempenho de ambos os modelos, sendo que as principais limitações foram relativas ao desempenho dos modelos ao gerar o perfil de precipitação.

Zanetti (2003) desenvolveu um gerador de séries sintéticas de precipitação diária (ClimaBR) baseando-se em registros pluviográficos. O desempenho do modelo foi comparado com os dados observados e com dados obtidos, através do CLIGEN e apresentando resultados que mostram a potencialidade dos dois modelos para a geração de séries sintéticas de dados climatológicos.

Com o WEEP e variando os parâmetros de entrada para três localidades dos Estados Unidos, Pruski & Nearing (2002) evidenciaram que 1% na variação da precipitação anual, em termos da quantidade de precipitação por dia chuvoso, resultou numa variação de 2,5% no escoamento superficial e de 2,4% nas perdas de solo. Resultados como estes ressaltam a importância do modelo computacional CLIGEN quando da geração de séries sintéticas de elementos climáticos para aplicações hidrológicas no WEEP.

Fora do Brasil, vários outros autores (Elliot & Arnold, 2000; Zhang & Garbrecht, 2003, Yu, 2000; Zhang et al., 1996) avaliaram o desempenho do modelo CLIGEN, comparando os

Tabela 7. Valores médios mensais da intensidade máxima de precipitação padronizada (i_p), do tempo até a ocorrência da intensidade máxima instantânea de precipitação padronizado (t_p) e os respectivos desvios-padrão (s) dos valores observados e gerados pelo CLIGEN, variações percentuais (δ) em relação aos valores observados e o valor médio das variações percentuais (VMVP) para a região de Viçosa, MG.

Mês	Observado				CLIGEN							
	i_p (dec.)	S_{ip} (dec.)	\bar{i}_p (dec.)	S_{Tp} (dec.)	i_p (dec.)	S_{ip} (dec.)	δ_{ip} (%)	δ_{s-ip} (%)	\bar{i}_p (dec.)	S_{Tp} (dec.)	δ_{Tp} (%)	δ_{s-Tp} (%)
Jan	5,37	4,90	0,34	0,26	5,68	4,77	5,7	-2,6	0,33	0,25	-2,9	-3,8
Fev	4,51	3,47	0,36	0,24	5,43	4,54	20,5	30,9	0,32	0,25	-11,1	4,2
Mar	5,03	2,95	0,34	0,27	5,27	4,45	4,7	50,8	0,35	0,25	2,9	-7,4
Abr	4,41	2,89	0,39	0,25	6,18	5,56	40,2	92,5	0,33	0,25	-15,4	0,0
Mai	4,38	2,40	0,37	0,26	5,48	4,33	25,1	80,6	0,34	0,27	-8,1	3,8
Jun	3,51	1,93	0,39	0,27	5,34	3,83	52,1	98,7	0,35	0,25	-10,3	-7,4
Jul	5,38	3,00	0,39	0,28	5,45	4,16	1,3	38,5	0,33	0,26	-15,4	-7,1
Ago	4,11	2,97	0,37	0,24	5,20	3,75	26,6	26,3	0,33	0,25	-10,8	4,2
Set	4,59	2,21	0,35	0,26	5,99	4,44	30,4	100,7	0,32	0,24	-8,6	-7,7
Out	4,34	2,81	0,37	0,25	5,74	5,19	32,2	84,5	0,33	0,25	-10,8	0,0
Nov	4,34	2,68	0,37	0,26	5,24	4,21	20,8	57,1	0,34	0,26	-8,1	0,0
Dez	5,12	2,79	0,38	0,26	5,46	4,63	6,7	65,8	0,34	0,26	-10,5	0,0
VMVP							22,2	60,8			9,6	3,8

dados observados com os simulados. Os resultados obtidos se aproximaram dos encontrados neste trabalho, ou seja, os valores simulados apresentaram altas correlações com os observados; desta forma, torna-se evidente a segurança que o modelo oferece em gerar dados climáticos para uso em modelos de simulação agronômicos e hidrológicos.

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, conclui-se que:

1. O modelo CLIGEN mostrou-se eficiente na estimativa dos principais elementos climáticos necessários para avaliação de modelos agronômicos e hidrológicos.

2. Os valores de intensidade máxima de precipitação e da duração dos eventos diários de precipitação gerados pelo modelo CLIGEN, apresentaram sensíveis variações percentuais em relação aos valores observados.

LITERATURA CITADA

- Amorim, R. S. S. Avaliação dos modelos de predição hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras. Viçosa: UFV, 2004. 120p. Tese Doutorado
- Arnold, J. G.; Williams, J. R. Stochastic generation of internal storm structure at a point. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.32, n.1, p.161-167, 1989.
- Arnold, J. G.; Williams, J. R.; Nicks, A. D.; Sammons, N. B. A basin scale simulation model for soil and water resources management. College Station: Texas A&M University Press, 1990. 236p.
- Cecílio, R. A.; Rodrigues, R. D. G.; Baena, L. G. N.; Oliveira, F. G. Analysis of the RUSLE and WEPP models for a small watershed located in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. In: *International Soil Conservation Organization Conference*, 13, 2004, Brisbane, Australia. *Proceedings...* Brisbane: ISCO, 2004. n.658.
- Elliot, W. J.; Arnold, C. D. Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from Uganda. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 44, n.1, p.3-58, 2000.
- Evangelista, A. W. P. Metodologia para dimensionamento e manejo de sistemas de drenagem agrícola. Viçosa: UFV, 2003. 106p. Tese Doutorado
- Friend, A. D.; Stevens, A. K.; Knox, R. G.; Cannell, M. G. R. A process-based terrestrial biosphere model of ecosystem dynamics. *Ecological Modelling*. Amsterdam, v.95, n.1, p.249-287, 1997.
- Kittel, T. G. F.; Rosenbloom, N. A.; Painter, T. H.; Schimel, D. S. The VEMAP integrated database for modeling United States ecosystem/vegetation sensitivity to climate change. *Journal of Biogeography*, Oxford, v.2, p.857-862, 1995.
- Nicks, A. D.; Lane, L. J.; Gander, G. A. Weather Generator. In: Flanagan, D. C.; Nearing, M. A. *USDA-Water erosion prediction project (WEPP)*. West Lafayette: USDA/ARS, 1995. cap. 2, p.2.1-2.22.
- Oliveira, V. P. S. Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação. Viçosa: UFV, 2003. 156p. Tese Doutorado
- Pruski, F. F.; Nearing, M. A. Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.57, n.1, p.7-16, 2002.
- Yu, B. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.43, n.2, p.301-307, 2000.
- Zanetti, S. S. Modelo computacional para geração de séries sintéticas de precipitação e do seu perfil instantâneo. Viçosa: UFV, 2003. 71p. Dissertação Mestrado
- Zhang, X. C.; Garbrecht, J. D. Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.46, n.2, p.311-320, 2003.
- Zhang, X. C.; Nearing, M. A.; Risse L. M.; McGregor, K. C. Evaluation of WEPP runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.855-863, 1996.