

ISSN 0104-1347

# Aplicação de modelo para geração de séries sintéticas de dados climáticos: Parte II - velocidade do vento e umidade relativa

## Model application to generate synthetic series of climatic data: Part II – wind speed and relative humidity

Luiz Gustavo Nascentes Baena<sup>1</sup>, Fernando Falco Pruski<sup>2</sup>, Demetrius David da Silva<sup>3</sup>,  
Gilberto Chohaku Sediya<sup>2</sup>

**Resumo:** Para permitir a sua aplicação em modelos de simulação do crescimento de culturas e modelagem de ecossistemas, um gerador climático deve possuir a habilidade de produzir séries sintéticas de diversas variáveis climáticas como temperaturas máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, tendo-se, neste trabalho aplicado um modelo para a geração de séries sintéticas de velocidade do vento e umidade relativa. A distribuição de probabilidade Pearson tipo III foi utilizada para a geração da velocidade do vento enquanto a distribuição beta foi utilizada para a geração da umidade relativa. O modelo permitiu representar de forma precisa as séries observadas das variáveis, sendo que o módulo do erro relativo percentual foi sempre inferior a 12%, o índice de confiança foi sempre superior a 0,75 e os testes de aderência foram significativos para todas as variáveis.

**Palavras-Chave:** Gerador climático, modelos matemáticos, Climatologia.

**Abstract:** To apply the climatic generators to estimate the crop growth and the ecosystem modeling, they must be able to produce synthetic series of several variables, as maximum and minimum temperatures, solar radiation, wind speed and relative humidity. In this paper a model to generate synthetic series of speed of the wind and relative humidity was applied. The Pearson type III probability distribution was used to generate the wind speed while the beta distribution was used to generate the relative humidity. The model allows representing precisely the observed series. The module of the relative error was lower than 12%; the agreement index higher than 0,75 and the K-S and chi-square tests were significant for all the analyzed variables.

**Key words:** Weather generator, mathematical model, climatology.

### Introdução

O conhecimento da velocidade do vento é importante em diversas áreas, como em estudos sobre a erosão do solo, exploração de energia eólica, análise do acamamento de plantas e de deformação da paisagem. A umidade relativa também é importante em diversas áreas como em processos industriais diversos, instrumentos de precisão,

colheita e armazenagem de grãos, evaporação em lagos, necessidade de irrigação, determinação de índices de conforto para o homem e animais, entre outros. Estas duas variáveis climáticas atuam de forma associada com outras variáveis como a precipitação, temperaturas máxima e mínima e radiação solar, caracterizando o clima de uma determinada região.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, SQSW 101 BL. A apt. 304. Setor Sudoeste. Brasília - DF. [Lbaena@aneel.gov.br](mailto:Lbaena@aneel.gov.br).

<sup>2</sup> Prof. Titular, Phd., Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, [ffpruski@ufv.br](mailto:ffpruski@ufv.br)

<sup>3</sup> Prof. Adjunto, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, [david@ufv.br](mailto:david@ufv.br)

Ao contrário das temperaturas máxima e mínima e da radiação solar, que são geradas de forma conjunta para preservar a forte associação existente entre elas e cujo modelo para geração de séries sintéticas é apresentado na primeira parte deste artigo, a velocidade do vento e a umidade relativa normalmente são geradas de forma individualizada pelos geradores climáticos mais conhecidos na literatura, como o CLIGEN e o WGEN.

As distribuições Pearson tipo III (CLIGEN, WINDGEN) e gama (EPIC, WGEN), são as mais utilizadas para a geração da velocidade do vento, enquanto as distribuições triangular (EPIC), normal (CLIGEN) e beta (SEDIYAMA et al., 1978, YAO, 1974) são as mais comumente utilizadas para a geração da umidade relativa. A seleção da melhor distribuição de probabilidade varia conforme as condições de cada local, sendo recomendada a verificação do ajuste de cada distribuição aos dados de cada região.

O presente trabalho teve como objetivo a aplicação de um modelo para a geração de séries sintéticas de velocidade do vento e umidade relativa, complementando o modelo apresentado na Parte I do artigo.

### Material e métodos

Para a obtenção dos parâmetros de entrada necessários para a geração das variáveis climáticas foram utilizadas 170 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 1), com, no mínimo, 5 anos de séries de dados sem falhas. As séries de cada estação, contendo os dados de velocidade do vento e umidade relativa foram separadas com base na condição do dia (seca ou chuvosa) e também por mês. A ocorrência ou não de chuva em determinado dia foi obtida pelo modelo desenvolvido por OLIVEIRA (2003).

Primeiramente calculou-se uma média para os três valores diários medidos (9, 15 e 21 h), sendo então calculados a média e o desvio padrão de cada variável, além do coeficiente de assimetria da velocidade do vento.

A velocidade média diária do vento foi estimada a partir de uma distribuição de probabilidade Pearson tipo III normalizada, cuja



Figura 1. Estações climatológicas utilizadas no estudo.

função acumulativa de probabilidade é expressa pela equação

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

em que V é velocidade média diária do vento, m/s; m é a média mensal da velocidade do vento, m/s; s é o desvio padrão da velocidade do vento; e x' é a variável normal padrão, adimensional.

Os valores diários de velocidade do vento são gerados utilizando-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria dos valores observados desta variável.

A distribuição de probabilidade beta foi utilizada para a geração da umidade relativa no modelo para geração de dados climáticos. A sua função de distribuição acumulada de probabilidade pode ser expressa pela equação

$$F(X) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^1 X^{(p-1)}(1-X)^{q-1} dx \quad (2)$$

Os valores dos parâmetros p e q são obtidos pelas equações (YAO, 1974)

$$p = \frac{\mu_1'(\mu_1' - \mu_2')}{(\mu_2' - \mu_1')^2} \quad (3)$$

$$q = \frac{(1 - \mu_1')(\mu_1' - \mu_2')}{(\mu_2' - \mu_1')^2} \quad (4)$$

em que,  $\mu_1'$  e  $\mu_2' =$  média e variância dos dados observados, respectivamente.

Os valores diários de umidade relativa são gerados utilizando-se metodologia proposta por SEDIYAMA et al. (1978), a qual consiste em, primeiramente, gerar um conjunto de números aleatórios, variando entre zero e um, com extensão igual ao número de dias da série sintética gerada. Substitui-se então a probabilidade de ocorrência da umidade relativa (equação 2) pelo valor do número aleatório obtido para o dia, resolvendo-se a equação, sendo x o valor obtido para a umidade relativa para o evento considerado e a resolução desta equação efetuada pelo método das somas de Riemann (ZANETTI, 2003).

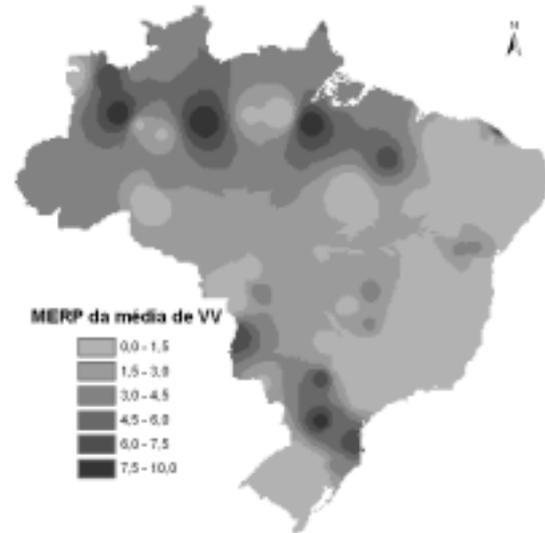
Para a validação do modelo foram geradas séries de velocidade do vento e umidade relativa com 100 anos de duração para as 94 estações climatológicas estudadas. A comparação dos resultados obtidos com a aplicação do modelo desenvolvido e os valores observados foi feita utilizando as médias mensais e desvios padrão de cada variável. Os testes utilizados nesta comparação foram: a) erros relativos percentuais; b) coeficiente de correlação da equação de regressão linear entre os dados observados e gerados pelo modelo; c) índice de concordância, proposto por WILLMOTT (1981); índice de confiança, proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997); e d) testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado.

## Resultados e discussão

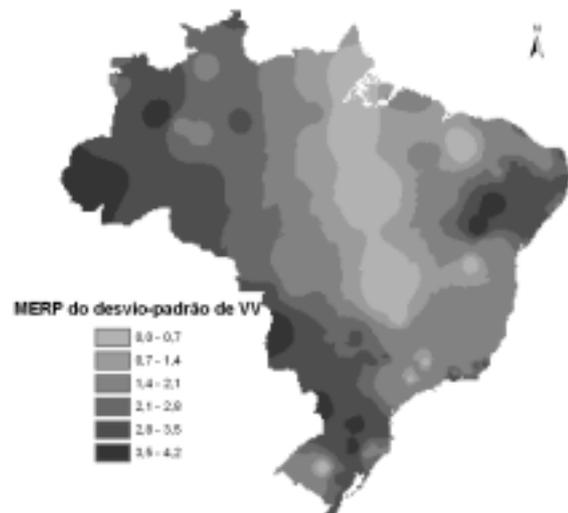
### *Velocidade do vento*

A distribuição espacial dos valores médios anuais do módulo do erro relativo percentual (MERP) ao longo do território brasileiro estão

apresentados nas Figuras 2a e 2b, para a média e o desvio padrão, respectivamente, da velocidade do vento (VV). Os valores do MERP variaram, em geral, entre 0 e 4,5% para a média e entre 0,7 e 3,5% para o desvio padrão, sendo, portanto, a amplitude de variação do MERP para estas duas estatísticas bastante similar.



(a)



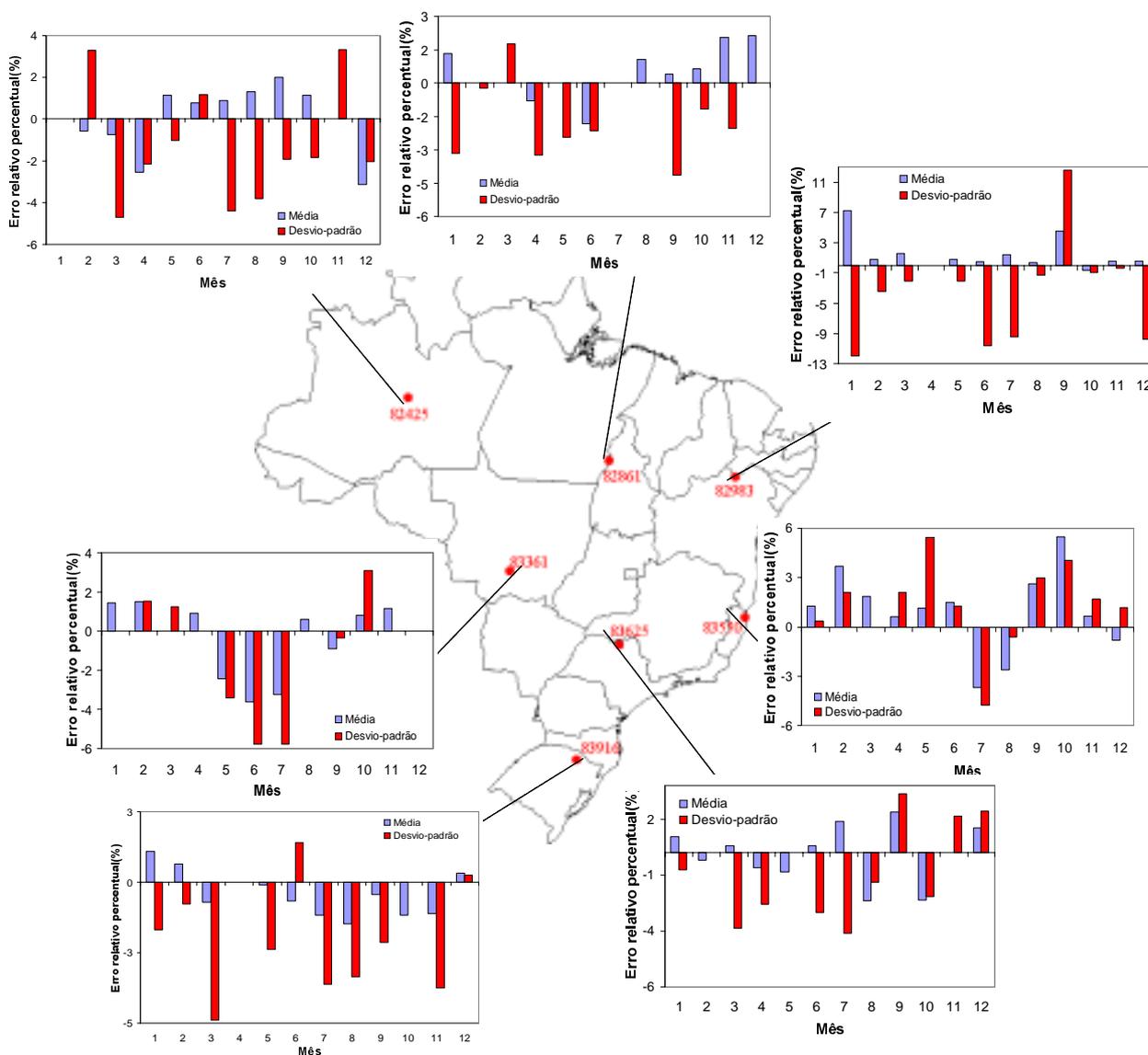
(b)

**Figura 2.** Módulo dos erros relativos percentuais da média (a) e do desvio padrão (b) para a velocidade do vento.

Na Figura 3 são apresentados os erros relativos percentuais para sete estações climatológicas distribuídas ao longo do país, podendo-se observar uma tendência de superestimativa da média na estação Petrolina e de subestimativa na estação Lagoa Vermelha. Os valores do erro relativo percentual foram mais altos para o desvio padrão, com uma tendência geral de subestimativa dos valores observados, sendo que essa tendência só não ocorreu

nas estações Cuiabá e São Mateus.

Assim como para a temperatura mínima não foi observada uma variação expressiva dos valores do MERP ao longo do ano para nenhuma das duas estatísticas, sendo que os valores foram todos muito baixos, variando em torno de 2% para os erros médios anuais, com valores mensais de até 12% (janeiro e setembro para o desvio padrão da estação Petrolina).



Estações climatológicas: Coari – 82425, Conceição do Araguaia – 82861, Petrolina – 82983, Cuiabá – 83361, São Mateus – 83550, Barretos – 83625 e Lagoa Vermelha – 83914

**Figura 3.** Erros relativos percentuais da velocidade do vento para sete estações climatológicas distribuídas ao longo do país.

**Quadro 1.** Coeficiente de correlação (r) e índices de concordância (d) e de confiança (c) para a média ( $\bar{x}$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da velocidade do vento

Estação	r		d		c	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Coari	0,990	0,976	0,995	0,985	0,985	0,961
Conceição do Araguaia	0,996	0,989	0,997	0,990	0,993	0,979
Petrolina	0,993	0,930	0,993	0,949	0,986	0,882
Cuiabá	0,997	0,979	0,997	0,988	0,994	0,967
São Mateus	0,995	0,994	0,996	0,994	0,991	0,987
Barretos	0,993	0,988	0,997	0,992	0,990	0,980
Lagoa Vermelha	0,998	0,991	0,998	0,991	0,995	0,982
<b>Média</b>	<b>0,994</b>	<b>0,978</b>	<b>0,996</b>	<b>0,984</b>	<b>0,991</b>	<b>0,963</b>

No Quadro 1 são apresentados os valores do coeficiente de correlação e dos índices de concordância e de confiança para a média e o desvio padrão da velocidade do vento nas sete estações climatológicas. Os valores foram sempre superiores a 0,88, o que pode ser considerado como um desempenho ótimo. Os valores do índice de confiança foram superiores para a média, apesar dessa tendência não ter sido verificada para os valores do erro relativo percentual, sendo que na estação Petrolina essa diferença foi mais expressiva. Além disso, nesta estação foram observados os valores do índice de confiança menos expressivos, de forma semelhante ao já observado anteriormente para os erros relativos percentuais. Os maiores valores do índice de confiança ocorreram nas estações Lagoa Vermelha e São Mateus.

Na Figura 4 são apresentadas as distribuições de frequência dos eventos observados e gerados de velocidade do vento para as sete estações climatológicas analisadas. O perfil de distribuição das sete estações possui uma assimetria positiva, tanto para os dados observados quanto para os gerados, sendo que esta assimetria é mais evidente nas estações Conceição do Araguaia, Coari, Cuiabá e Lagoa Vermelha. Os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado não foram significativos a 20 e 5% de significância, respectivamente, comprovando a similaridade entre as distribuições observada e gerada da velocidade do vento.

A análise do erro relativo percentual, sempre inferior a 12%, do índice de confiança, sempre superior a 0,88, e da distribuição de frequência dos dados observados e gerados, que mostrou aderência em todas as estações, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov (20%) e Qui-quadrado (5%), permite constatar a eficiência do modelo para a geração da velocidade do vento, já que todos os testes apresentaram resultados muito bons.

#### *Umidade relativa*

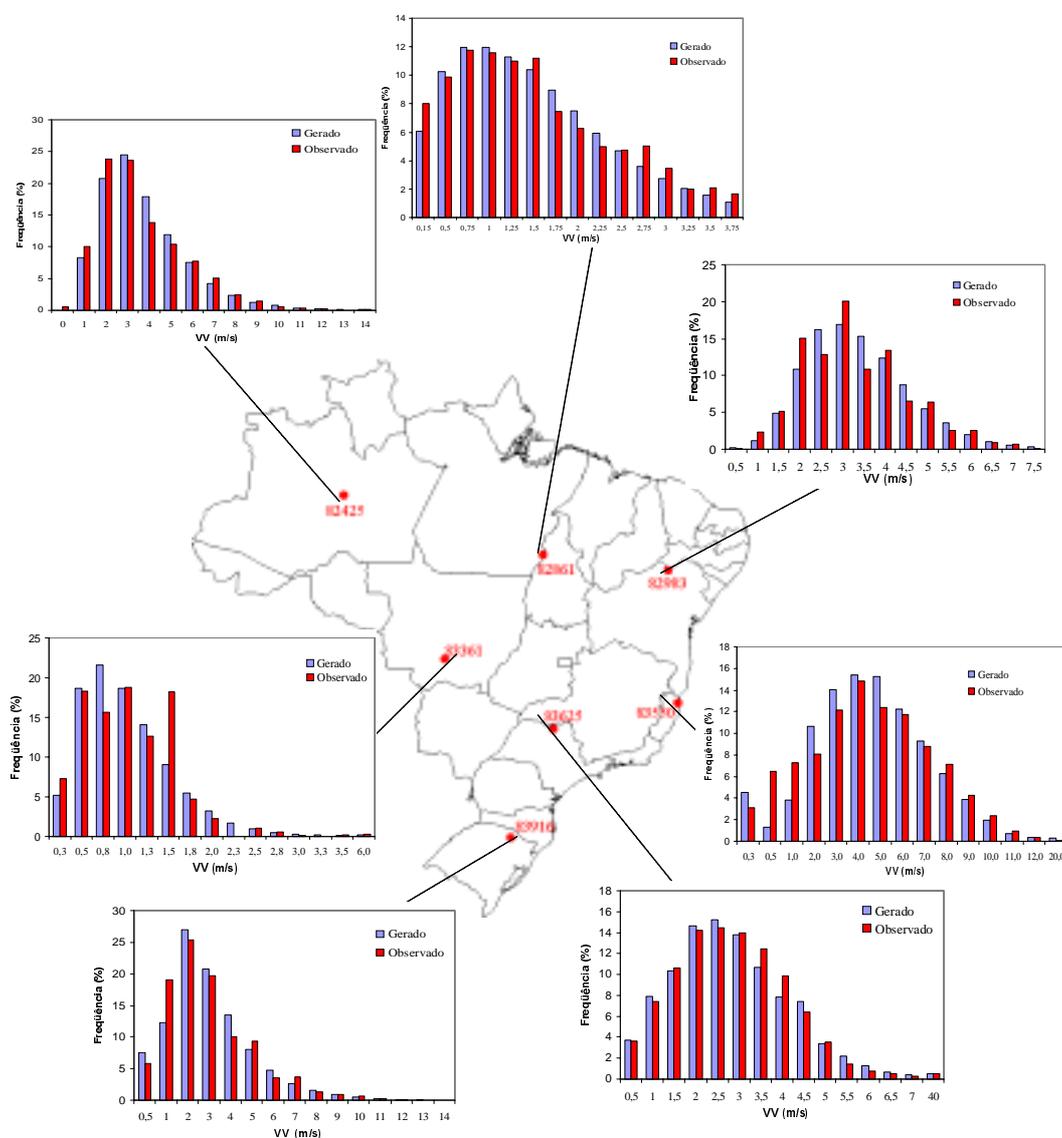
A distribuição espacial dos valores médios anuais do módulo do erro relativo percentual (MERP) ao longo do território brasileiro estão apresentados nas Figuras 5a e 5b, para a média e o desvio padrão, respectivamente, da umidade relativa (UR). Os valores do MERP foram muito baixos para todas as estações, situando-se, em geral, entre **0 e 2,4%** para a média e entre **0 e 2,1%** para o desvio padrão. Observou-se também uma tendência dos valores do MERP serem superiores para a média em relação ao desvio padrão, fato já observado anteriormente para a radiação solar.

Na Figura 6 são apresentados os erros relativos percentuais para sete estações climatológicas distribuídas ao longo do país, sendo que ocorreu uma tendência de subestimativa da média em seis estações. Essa tendência não ocorreu na estação São Mateus, que apresentou apenas uma tendência de superestimativa do desvio padrão. Além disso, não

foi observada uma variação expressiva dos valores do MERP ao longo do ano para nenhuma das duas estatísticas, sendo que os valores foram todos muito baixos, variando em torno de 1,5% para os erros médios anuais, com valores mensais de até 7,5% (dezembro para o desvio padrão da estação Petrolina).

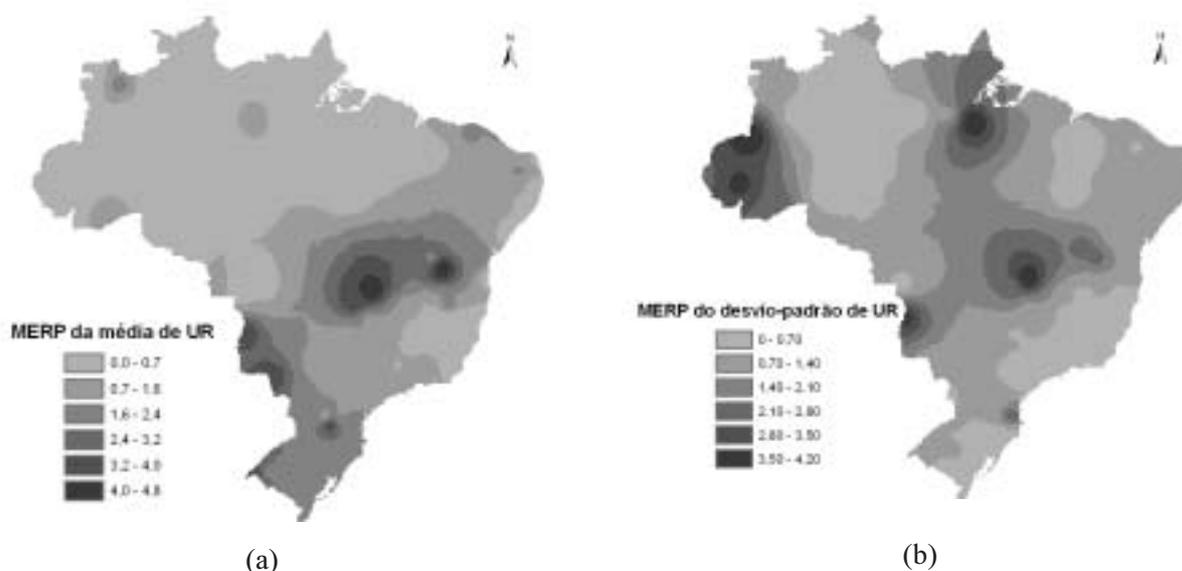
No Quadro 2 são apresentados os valores do coeficiente de correlação e dos índices de concordância e de confiança para a média e o desvio padrão da umidade relativa de sete estações

climatológicas. Os valores foram superiores a 0,75 para todas as sete estações, o que corresponde a um desempenho muito bom, sendo que se evidenciou uma tendência inversa à observada para os erros relativos percentuais, com a média apresentando valores mais expressivos que o desvio padrão, com exceção da estação São Mateus. Os menores valores de  $c$  foram observados nas estações Coari e Conceição do Araguaia, enquanto os maiores valores foram observados na estação Lagoa Vermelha.



Estações climatológicas: Coari – 82425, Conceição do Araguaia – 82861, Petrolina – 82983, Cuiabá – 83361, São Mateus – 83550, Barretos – 83625 e Lagoa Vermelha – 83916

**Figura 4.** Distribuições de frequência dos valores observados e gerados pelo modelo para a velocidade do vento (VV).



**Figura 5.** Módulo dos erros relativos percentuais da média (a) e do desvio padrão (b) para a umidade relativa.

**Quadro 2.** Coeficiente de correlação ( $r$ ) e índices de concordância ( $d$ ) e de confiança ( $c$ ) para a média ( $\bar{x}$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da umidade relativa

Estação	$r$		$d$		$c$	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Coari	0,980	0,887	0,975	0,936	0,955	0,830
Conceição do Araguaia	0,996	0,837	0,998	0,907	0,994	0,759
Petrolina	0,998	0,930	0,995	0,962	0,993	0,895
Cuiabá	0,998	0,959	0,998	0,978	0,996	0,937
São Mateus	0,941	0,954	0,953	0,975	0,897	0,930
Barretos	0,993	0,963	0,996	0,980	0,990	0,943
Lagoa Vermelha	0,974	0,892	0,944	0,923	0,920	0,823
<b>Média</b>	<b>0,983</b>	<b>0,917</b>	<b>0,980</b>	<b>0,951</b>	<b>0,963</b>	<b>0,874</b>

Na Figura 7 são apresentadas as distribuições de frequência dos eventos observados e gerados de umidade relativa para as sete estações climatológicas analisadas. O perfil de distribuição de seis estações possui uma assimetria negativa, tanto para os dados observados quanto para os gerados, sendo que esta assimetria é mais evidente nas estações Conceição do Araguaia, São Mateus e Cuiabá.

Para determinadas classes de algumas estações foi observada uma diferença expressiva entre as frequências de ocorrência dos dados observados e gerados, sendo que essa diferença foi mais

expressiva nas estações Petrolina e Conceição do Araguaia. Apesar disso, os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado não foram significativos a 20 e 5% de significância, respectivamente, comprovando a similaridade entre as distribuições observada e gerada da umidade relativa.

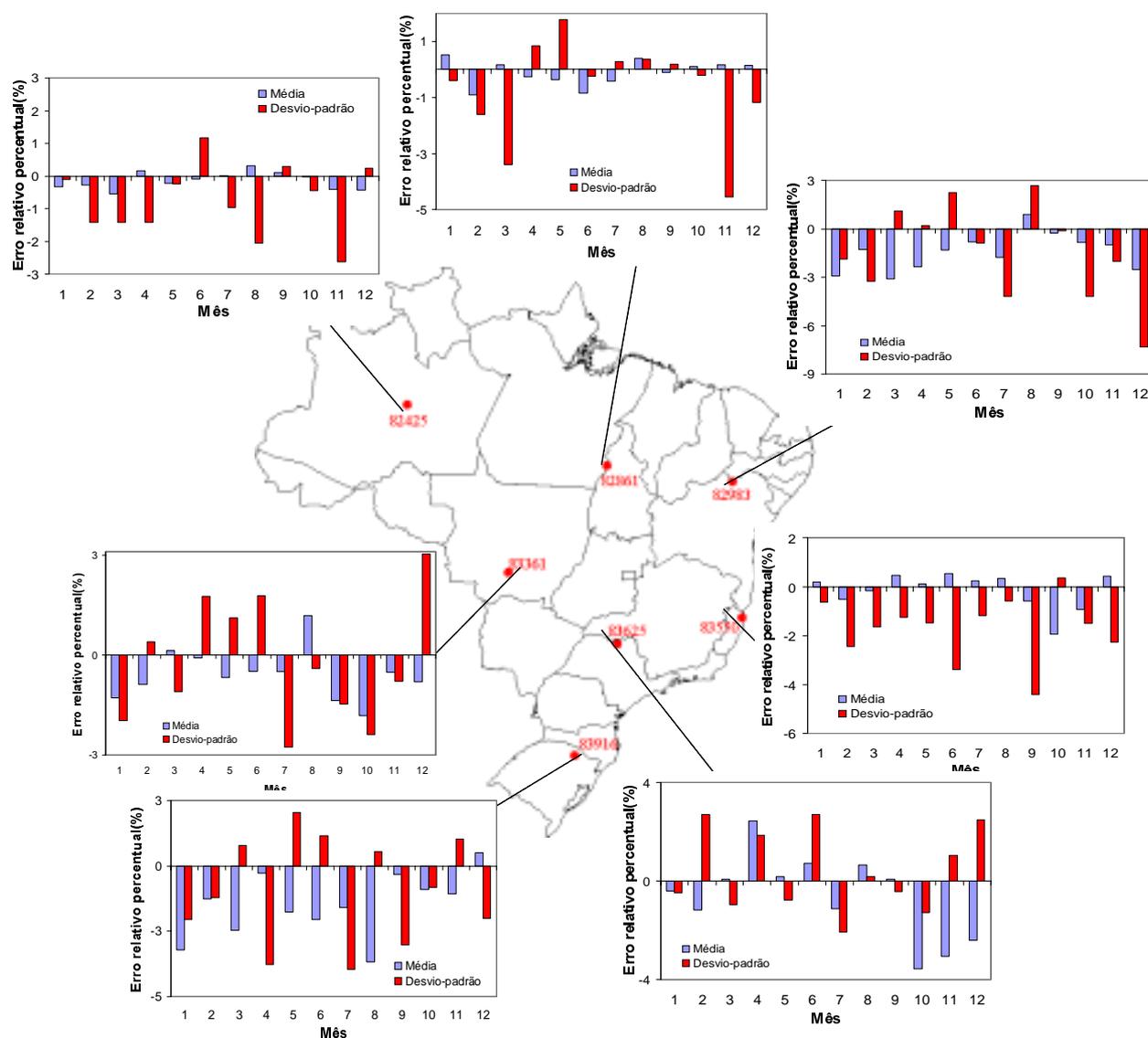
A análise do erro relativo percentual, sempre inferior a 7%, do índice de confiança, sempre superior a 0,75, e da distribuição de frequência dos dados observados e gerados, que mostrou aderência em todas as estações, pelos testes de Kolmogorov-

Smirnov (20%) e Qui-quadrado (5%), permite constatar a eficiência do modelo para a geração da umidade relativa, já que todos os testes apresentaram resultados considerados muito bons.

### Conclusões

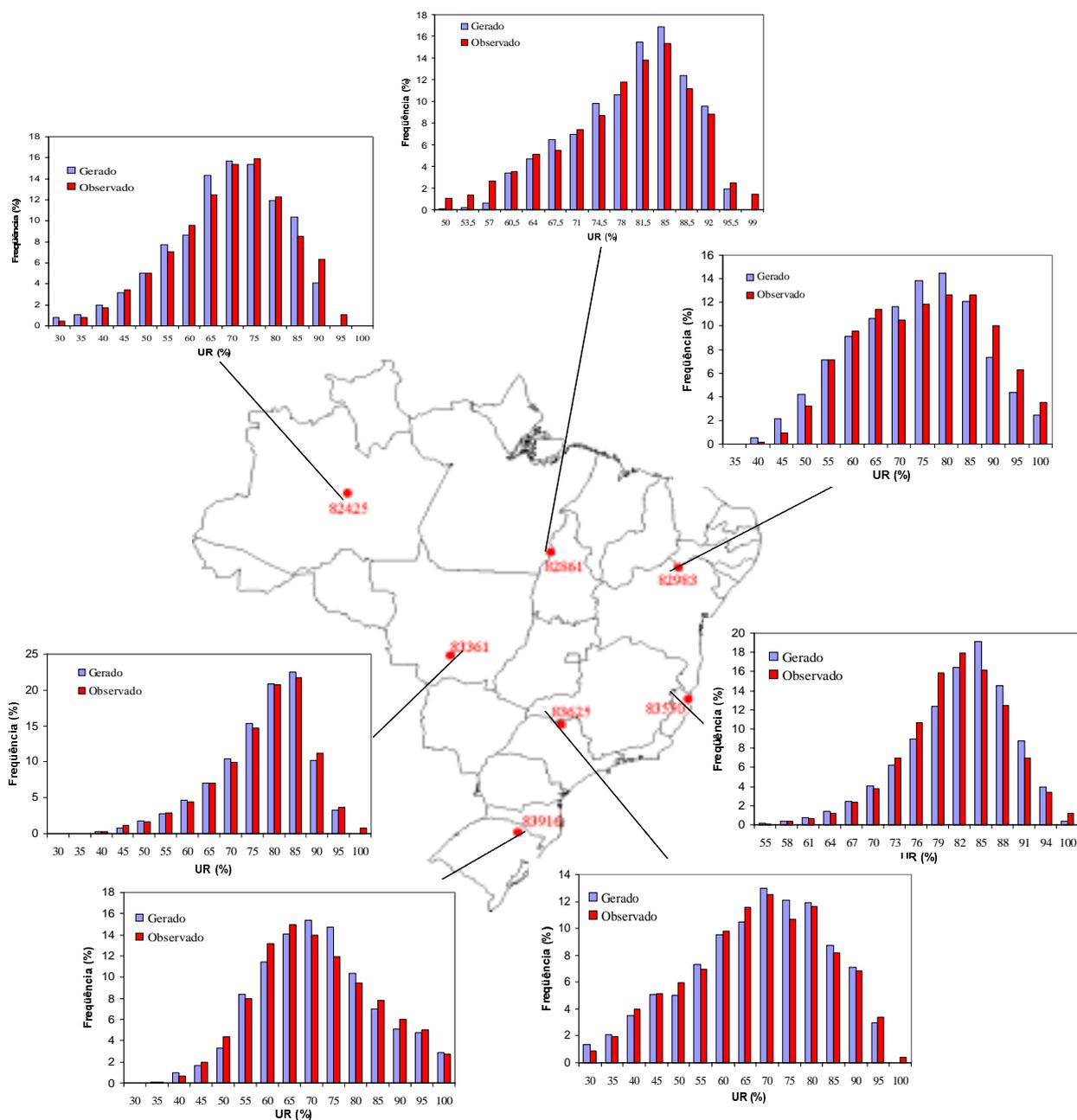
A análise dos resultados obtidos permitiu verificar que o modelo para a geração de séries

sintéticas de velocidade do vento e umidade relativa permite representar de forma precisa as séries observadas destas variáveis para as condições climáticas brasileiras, conforme comprovado pela análise do módulo do erro relativo percentual, do índice de confiança e dos testes de aderência, que não foram significativos para todas as variáveis.



Estações climatológicas: Coari – 82425, Conceição do Araguaia – 82861, Petrolina – 82983, Cuiabá – 83361, São Mateus – 83550, Barretos – 83625 e Lagoa Vermelha – 83916

**Figura 6.** Erros relativos percentuais da umidade relativa para sete estações climatológicas distribuídas ao longo do país.



Estações climatológicas: Coari – 82425, Conceição do Araguaia – 82861, Petrolina – 82983, Cuiabá – 83361, São Mateus – 83550, Barretos – 83625 e Lagoa Vermelha – 83916

**Figura 7.** Distribuições de frequência dos valores observados e gerados pelo modelo para a umidade relativa (UR).

### Referências Bibliográficas

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

OLIVEIRA, V.P.S. **Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação**. 2003. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SEDIYAMA, G.C. et al. Simulação de parâmetros climáticos para a época de crescimento das plantas.

**Revista Ceres**, v.25. n.141. p. 455-466, 1978.

n.13, p.17-31, 1974.

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

ZANETTI, S.S. **Modelo computacional para geração de séries sintéticas de precipitação e do seu perfil instantâneo**. 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

YAO, A.Y.M. A statistical model for the surface relative humidity. **Journal of Applied Meteorology**.