

Ajuste de sete modelos de distribuições densidade de probabilidade às séries históricas de umidade relativa mensal em Mossoró – RN

Adjustment of models of seven probability distribution density to historic series of monthly relative humidity in Mossoró – RN

Janilson Pinheiro de Assis^{1*}, Roberto Pequeno de Sousa¹, Roseano Medeiros da Silva², Paulo César Ferreira Linhares³

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi verificar o ajuste de 12 séries históricas de umidade relativa mensal (%) no período de 1970 a 2007, em Mossoró - RN, à sete modelos de distribuição densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson (Tipo III), Gumbel e Weibull, através dos testes Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, a 10% de probabilidade e do Logaritmo da Máxima Verossimilhança. Verificou-se a superioridade do ajustamento das distribuições Gama, Gumbel e Normal, quando comparada com as outras quatro distribuições. No geral, os critérios de ajuste concordaram com a aceitação da hipótese H_0 . No entanto, deve-se salientar que o teste de Kolmogorov-Smirnov apresenta um nível de aprovação de uma distribuição sob teste muito elevado, o que gera uma certa insegurança aos critérios do teste, mas neste estudo como os dados são aproximadamente simétricos ele é o mais recomendado.

Palavras-chave: umidade relativa, função densidade de probabilidade, modelagem, aderência.

ABSTRACT – The objective was to check the fit of 12 time series of monthly relative humidity (%) from 1970 to 2007 in Natal, RN, seven models of the probability density distribution Normal, Log-Normal, Beta, Gamma, Log-Pearson (Type III), Gumbel and Weibull, through the Kolmogorov-Smirnov test, chi-square, Cramer-Von Mises, Anderson Darling, Kuiper, a 5% probability and the logarithm of maximum likelihood. It was the superiority of the adjustment range of distributions, Gamma, Gumbel and Normal, compared with the other fox distributions. In general, the adjustment criteria agreed with the acceptance of the H_0 hypothesis. However, it should be noted that the Kolmogorov-Smirnov test shows a level of approval of a distribution under test very high, which creates some uncertainty to the test criteria, but in this study as the data is approximately symmetric it is recommended.

Keywords: relative humidity, density function, modeling, adherence.

INTRODUÇÃO

Segundo Müller (1989), as melhores condições para criação de animais seria de uma temperatura entre 13 e 18°C, uma umidade relativa de 60 a 70%, velocidade do vento de 5 a 8 Km/h, solos férteis, sem parasitas e bactérias, radiação solar com incidência encontradas na primavera e no outono. A temperatura, a umidade relativa e os níveis de radiação solar entre latitudes de 30° dos hemisférios Norte e Sul, geralmente, estão longe do ideal ou da zona de conforto para o ponto ótimo de criação dos animais domésticos. Por isso, o pecuarista deve estudar os meios para modificar o impacto do ambiente sobre a produtividade dos animais. Em relação às plantas, Mota, Roskoff e Silva, (1999) observa que a alta umidade relativa atmosférica tem no mínimo dois efeitos benéficos possíveis no crescimento das plantas, pois muitas plantas podem diretamente absorver umidade do ar saturado de alta umidade e, além disso, o nível fotossintético das plantas cresce com a umidade e, sob a ação da luz. Ainda de acordo com esses autores a umidade do ar e temperatura são causas iniciais de grande número de fenômenos meteorológicos, influenciando diretamente sobre as condições ambientais, principalmente na melhoria da qualidade do conforto ambiental e,

indiretamente através de outros elementos, como o desmatamento e a expansão populacional, associada com o crescimento do número de edificações, intenso fluxo de veículos e a poluição atmosférica, que são fatores decisivos para a formação de ilhas de calor. Os autores acrescentam ainda que a umidade do ar é frequentemente medida pela umidade relativa, isto é, pelo quociente entre a tensão atual do valor e a tensão máxima do vapor à mesma temperatura.

O conhecimento da umidade relativa do ar e suas correlações com outras variáveis do clima auxiliam na tomada de decisão do planejamento das mais diversas atividades, como por exemplo: na operação de sistemas de aeração de grãos e sementes armazenadas, na climatização de ambientes para criação de animais e na manutenção do conforto ambiental.

A umidade atmosférica é a quantidade de vapor de água que existe na atmosfera. A sua medição é muito importante, devido à sua ação sobre a temperatura do ar e sobre a velocidade da evaporação da água à superfície do solo. Por outro lado, a condensação do vapor de água existente na atmosfera pode dar origem a diversos fenômenos meteorológicos como, por exemplo: o nevoeiro, a chuva, o granizo, etc.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/06/2012; Aprovado em 10/02/2013

¹Professor do Departamento de Ciências Vegetais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró – RN, Brasil. janilson@ufersa.edu.br; rpequeno@ufersa.edu.br

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró – RN, Brasil. roseanomedeiros@ufersa.edu.br

³Engenheiro Agrônomo do Departamento de Ciências Vegetais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró – RN, Brasil. paulolinhares@ufersa.edu.br

O estudo do comportamento da umidade relativa do ar, precipitação pluvial, evaporação, evapotranspiração, direção e velocidade do vento, radiação solar global, ocorrência de orvalho, nevoeiro, granizo, geada e neve, entre outros, é um importante instrumento na tomada de decisões relacionadas as atividades agropecuárias e humanas na construção civil e turismo. Dentre essas variáveis climáticas, a radiação solar global, definida como o total de energia emitida pelo sol, que incide sobre a superfície terrestre, com comprimento de onda compreendido entre 150 e 4.000 nm, bem como a umidade relativa do ar (ROSEMBERGUE, 1974; SLATER, 1980; SAMPAIO et al., 1999; CARGNELUTTI FILHO, 2004), é fundamental principalmente em relação as atividades agropecuárias.

O clima é um fator de grande influência no controle do crescimento das plantas. Além disso, as produtividades agrícolas são elementos probabilísticos (variáveis aleatórias), no sentido de que dependem das variáveis climáticas, tais como temperatura e radiação solar global da região durante a época de crescimento de uma cultura.

A análise estatística das variáveis aleatórias meteorológicas observadas ao longo do tempo, como forma de se compreender os fenômenos atmosféricos, determinando seus padrões de ocorrência e propiciando uma adequada previsibilidade do comportamento do tempo e clima de uma região é uma ferramenta de grande valor no planejamento e na gestão de inúmeras atividades agrícolas, agropecuárias, sociais, de turismo e humanas em geral. Sendo assim, o planejamento adequado das atividades agropecuárias, bem como de outras decisões passa, obrigatoriamente, pelo conhecimento do comportamento probabilístico dos elementos do tempo e clima (temperatura, umidade relativa, vento, chuva, radiação solar, etc.), com a finalidade de implementar ações e procedimentos adequados como forma de evitar ou minimizar os possíveis prejuízos causados pela ação das intempéries.

A simples construção de um histograma e polígono de frequências para visualização dos dados amostrais, é insuficiente para inferir dentre as diversas distribuições densidade de probabilidade conhecidas, a que melhor se ajusta aos dados em estudo. Portanto, faz-se necessário o uso de critérios e testes de aderência para verificar se a distribuição de probabilidade dos dados de uma variável em análise, pode ser representada por uma determinada função de distribuição de probabilidade conhecida.

Existem na literatura diversas distribuições de probabilidade para variáveis aleatórias discretas e contínuas. Entre as que se ajustam a dados discretos estão os modelos de Bernoulli, Binomial, Binomial Negativa, Hipergeométrica, Geométrica e Poisson. Já as distribuições Uniforme, Normal, Log-Normal, Gama, Weibull, Gumbell, Exponencial, Beta, Qui-quadrado, t de Student, F de Snedecor, entre outras, podem ser ajustadas à série de dados amostrais de variáveis aleatórias contínuas.

Estudos de ajustes de distribuição de probabilidade ou estimativas de probabilidade usando função de distribuição de probabilidade teóricas em relação a variáveis climáticas como precipitação pluvial

(BERLATO, 1987; BOTELHO; MORAIS, 1999; SAMPAIO, et al. 1999; CATALUNHA et al., 2002; MURTA et al., 2005), temperatura do ar (MOTA; ROSSKOFF; SILVA, 1999; BURIOL et al. 2000a; 2000b; ASSIS et al, 2004) e radiação solar (BURIOL et al., 2000a; 2000b; ASSIS et al., 2004), foram desenvolvidos enfatizando os benefícios no planejamento de atividades que reduzem prováveis riscos climáticos.

Os testes de aderência tais como o Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, Lilliefors, Shapiro-Wilk e do Logaritmo da Máxima Verossimilhança (CAMPOS, 1983; ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996; MORETIN; BUSSAB, 2003; COOKE, 1993), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição sob teste, verificando se os valores da amostra podem ser razoavelmente considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica. Já o Logaritmo da Máxima Verossimilhança mostra uma boa qualidade do ajuste se o seu valor for alto e negativo (COOKE, 1993). Segundo Kmenta (1990), o critério da qualidade do ajuste através do Logaritmo da Máxima Verossimilhança revela o aspecto trabalhoso da estimação através do método da Máxima Verossimilhança o qual é um método não linear, pois a regressão é não linear, cuja característica é a descoberta real das estimativas dos parâmetros θ 's, onde essas estimativas são obtidas por meio de um computador graças à aplicação sistemática do método de tentativa e erro, ou seja, métodos numéricos, como o de Gauss Newton, Newton – Rapson, etc., que exigem um valor inicial para o parâmetro θ . Neste caso utiliza-se uma técnica matemática onde a série chama-se expansão de $f(x)$ da série de Taylor no ponto $x = a$. Em essência, o que o computador faz é substituir diferentes valores dos parâmetros na função de verossimilhança, e assim calcular o valor da função e repetir esses passos até que não possa haver mais aumento no valor da função Verossimilhança, e por isso o valor do seu logaritmo deve ser o maior possível com sinal negativo. Tal processo dá ótimos resultados se a função de Verossimilhança só tiver um pico bem definido, mas pode haver problemas se essa função tiver mais de um pico ou se ela for muito achatada no topo, onde nesta situação a função de Verossimilhança é muito sensível a mudanças nos dados amostrais da série histórica, o que significa que mesmo um leve erro de medida ou um erro de arredondamento pode fazer oscilar, de maneira marcante o valor do parâmetro teta (θ) e eliminar, assim o, alto grau de confiança, na estimativa resultante. Isso ocorre, porque se o computador iniciar sua pesquisa para maximização do valor do parâmetro θ , na vizinhança de $\hat{\theta}_1$, ele irá parar em $\hat{\theta}_1$ e apresentará este resultado como a estimativa de Máxima Verossimilhança de θ , enquanto a estimação correta de Máxima Verossimilhança de θ é, na verdade $\hat{\theta}_2$. Não há muito que fazer, neste caso, salvo fazer com que o computador estude todo o domínio dos valores possíveis de θ , no entanto se tal domínio for infinito o computador estará diante de uma tarefa que não pode ser executada. Frequentemente, porém, o domínio dos valores paramétricos é finito e, neste caso, o problema de se achar o ponto de máximo absoluto torna-se possível. Ou seja, A

diferença entre a regressão não linear e a regressão linear é que a solução das equações normais usualmente requer um método numérico iterativo, pois a solução analítica geralmente não pode ser encontrada. Na maioria dos problemas com modelos não lineares, é mais prático encontrar as estimativas de mínimos quadrados por procedimentos de procura numérica direta do que, inicialmente, obter as equações normais e, então, usar métodos numéricos para encontrar a solução dessas equações iterativamente. O método de Gauss-Newton por exemplo, também conhecido como método da linearização, usa uma expansão em série de Taylor para aproximar o modelo de regressão não linear com termos lineares e, então, aplica mínimos quadrados ordinário para estimar os parâmetros, o que leva aos mesmos valores obtidos através do método da Máxima Verossimilhança. Iterações desses passos geralmente conduzem a uma solução para o problema de regressão não linear.

Nos testes de aderência a hipótese de nulidade (H_0) admite que a distribuição seja aquela especificada (Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson (Tipo III), Gumbel, Weibull dentre outras) com os seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996; CATALUNHA et al., 2002).

O uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que elas se relacionam. Algumas têm boa capacidade de estimação para pequeno número de dados, outras requerem grande série de observações. Devido ao número de parâmetros de sua equação, algumas podem assumir diferentes formas, enquadrando-se em um número maior de situações, ou seja, são mais flexíveis. Desde que respeitado o aspecto da representatividade dos dados, as estimativas dos seus parâmetros para uma determinada região podem ser estabelecidas como de uso geral, sem prejuízo da precisão na estimação da probabilidade (CATALUNHA et al., 2002).

O ajuste de modelos probabilísticos aos dados diários de chuva, produtividade e crescimento de plantas, além de fornecer um resumo sucinto destes dados, representa uma técnica eficiente para a análise dessas informações. Cada distribuição de frequência se apresenta de determinada forma. Esta forma pode ser aproximada através da utilização de equações de densidade de probabilidade com alguns parâmetros de forma, de escala ou de localização, extraídos da amostra em questão. A utilização ou não de uma distribuição reside na capacidade da mesma em estimar os dados observados, com base em seus parâmetros, e esta capacidade é medida através de testes de aderência (ALMEIDA, 1995).

Diante dessas considerações o presente trabalho teve por objetivo avaliar o ajuste de séries históricas de umidade relativa mensal (%), com um nível de significância de 10 % de probabilidade, através dos testes Kolmogorov-Smirnov, Qui-quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, e também utilizando o Logaritmo da Máxima Verossimilhança às funções densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson (Tipo III), Gumbel, Weibull, em Mossoró - RN, a fim de modelar o comportamento desta variável climática como contribuição ao planejamento de todas as atividades que dependem deste elemento do clima

e também utilizá-la como subsídio para estudos mais aprofundados de inferência estatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de umidade relativa diária foram obtidos na Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), cujas coordenadas de posição são: latitude de 5° 12' 36" S, longitude de 37° 18' 43" W e altitude de 40,5 m acima do nível do mar, estando localizado a apenas 40 km do Atlântico Norte, e foram coletados no período de 1970 a 2007, totalizando 38 anos de observações. Segundo a classificação de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw^h, isto é, seco, muito quente.

Foram ajustados os seguintes modelos de funções densidade de probabilidade: Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson (Tipo III), Gumbel, Weibull. Os parâmetros e a parametrização utilizada para o ajuste de cada distribuição, usando recursos disponíveis no programa VTFIT (COOKE, 1993) estão disponíveis na literatura (COOKE, 1993; JOHNSON; KOTZ, 1970; ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996; MORETIN; BUSSAB, 2003). Deve-se salientar que as funções foram escolhidas dentre algumas comumente utilizadas para este tipo de análise (THOM, 1966; HASTINGS; PEACOCK, 1975). Para tanto, aplicou-se os testes de aderência Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, a 10% de probabilidade e também utilizou-se o Logaritmo da Máxima Verossimilhança (COOKE, 1993; CAMPOS, 1983; ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996) nas 12 séries históricas de dados de umidade relativa diária, para verificar o ajuste dos dados aos modelos das distribuições teóricas referidas acima (COOKE, 1993; MORETIN; BUSSAB, 2004; ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996) totalizando 504 ajustes (12 séries de dados × 7 distribuições × 6 critérios).

Ao se ajustar uma série de dados a uma distribuição densidade de probabilidade, trabalha-se com a hipótese de que a distribuição pode representar adequadamente aquele conjunto de dados. Para tanto um critério de comprovar esta hipótese é através da aplicação de testes não paramétricos.

Os modelos avaliam o grau de dependência de uma variável aleatória e apesar de nenhum poder ser considerado como representante da verdade, alguns são mais apropriados do que outros. O objetivo da modelagem é obter a relação entre uma variável resposta e as variáveis explanatórias, além de uma medida de precisão dessa relação. (COLLET, 1991).

As estimativas dos parâmetros dessas funções de distribuição, para cada conjunto de dados, foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança (COOKE, 1993). O valor numérico do logaritmo da função de máxima

verossimilhança $\left(\ln(L) = \sum_{i=1}^n \ln[\hat{f}(x_i)] \right)$, também foi

utilizado como critério para indicar o grau de ajustamento (WORLEY et al., 1990; COOKE, 1993). Essa estatística possui poder para discriminar ajustes em que os demais testes fracassam em apontar (SHAPIRO; BRAIN, 1981). Quanto maior é o valor do logaritmo da função de máxima

verossimilhança melhor é o ajuste obtido. Quando as freqüências na amostra de dados e a função de densidade de probabilidade são plotadas no mesmo gráfico, a comparação visual permite identificar de modo subjetivo o quão ajustados estão os dados à distribuição (COOKE, 1993). Portanto, esse é um método gráfico simples, e pequenas diferenças nas estimativas ou uma melhor sobreposição indicam melhor ajuste dos dados à função de densidade considerada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho estudou-se o comportamento da umidade relativa mensal em Mossoró - RN, a partir das médias mensais da umidade relativa registradas pela Estação climatológica da UFERSA, no

período 1970 a 2007. A análise estatística dos dados permitiu concluir que a umidade relativa é bastante alta nos meses de fevereiro a junho, sendo superior a 70%.

Observa-se também que os valores médios mensais da umidade relativa para Mossoró - RN são bastante heterogêneos (Figura 1), onde percebe-se que no início do ano os valores ficam acima de 70 %, no entanto durante todo o segundo semestre os valores caem para menos de 70 %, caracterizando assim a região como muito úmida nos seis primeiros meses do ano e como seca nos seis últimos meses do período. A umidade relativa cresce de janeiro até junho onde atinge o seu máximo no final do mês (24/06), e decresce até setembro chegando ao mínimo no dia 20/09, voltando a crescer sempre com valores acima de 65% no restante do ano.

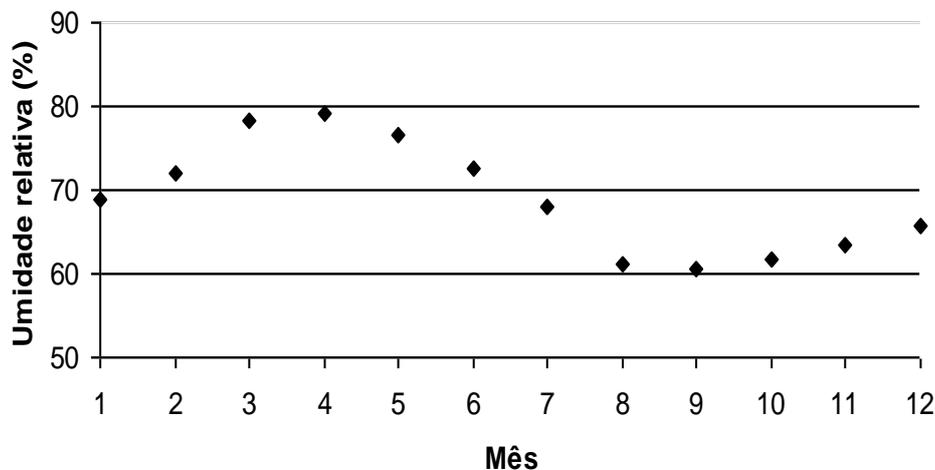


Figura 1. Variação temporal da Umidade Relativa mensal (%), em Mossoró – RN.

Tendo em vista o comportamento da umidade relativa mensal no segundo semestre descrito anteriormente, devem-se tomar precauções especiais na operação de sistemas de aeração de grãos e sementes armazenadas, na climatização de ambientes para criação de plantas e animais, e na manutenção do conforto ambiental.

Os dados de umidade relativa média mensal se ajustam as distribuições de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson Tipo III, Gumbel e Weibull (Tabelas 1 e 2) e apresentam melhor ajuste aos modelos das distribuições de probabilidade Gama, Gumbel e Normal, devendo esta última distribuição ser o melhor modelo escolhido pela simplicidade, abrangência parcimônia e aplicabilidade inferencial, permitindo fazer valiosas inferências, no que se referem as estimativas de valores, previsões probabilísticas, norteando assim todas as atividades que dependem desta variável aleatória climática particularmente as atividades agropecuárias. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva, et al. (2002). Vale ressaltar que com relação à distribuição Normal, as médias mensais da umidade relativa seguem aproximadamente a distribuição densidade de probabilidade normal, exceto para os meses de agosto e setembro, onde valores discrepantes muito provavelmente tenham surgido nesses meses, conforme consta nas tabelas 1 e 2.

Todos os critérios de ajustes adotados através dos testes de Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, bem como o Logaritmo da Máxima Verossimilhança indicaram a aceitação da hipótese H_0 a um nível de probabilidade p -valor $\geq 0,10$ (tabelas 3 a 14). Resultados semelhantes com chuva foram obtidos por Ribeiro et al. (2007).

O teste de Kolmogorov-Smirnov apesar de apresentar um elevado nível de aprovação, deve ser recomendado nesse estudo para verificar o ajuste de uma distribuição de probabilidade teórica a uma distribuição de probabilidade empírica de umidade relativa média mensal em porcentagem, pois tem a vantagem de não exigir o agrupamento em classes de freqüências destes dados numéricos, como exige o teste de Qui-Quadrado.

O Logaritmo da Máxima Verossimilhança devido aos seus valores se mostrou um excelente elemento indicador da aderência das séries históricas, sendo que o valor negativo o maior possível um elemento indicativo do melhor ajuste ou aderência dos dados reais aos modelos estudados nesse trabalho.

CONCLUSÕES

A umidade relativa apresentou-se mais alta (>70%), nos meses de fevereiro a julho (outono-inverno), atingindo o valor máximo de 80 % no final de abril e o valor mínimo de 60 % no final de setembro.

Em todos os meses do 1º semestre do ano, exceto janeiro, a umidade relativa mensal foi superior a 70%, por isso, a região é considerada úmida nesta época do ano.

-No segundo semestre a umidade relativa média mensal em % foi inferior a 70%, sendo assim, deve-se tomar precauções especiais na operação de sistemas de aeração de grãos e sementes armazenadas, na climatização de ambientes para criação de plantas e animais e na manutenção do conforto ambiental.

Os dados das médias mensais da umidade relativa se ajustaram às distribuições de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Beta, Gama, Log-Pearson III, Gumbel e Weibull e apresentaram melhor ajuste ao modelo da distribuição de probabilidade Gama, Gumbel e Normal, devendo esta última distribuição ser considerada o melhor modelo pela simplicidade, abrangência, robustez e aplicabilidade inferencial.

Os testes não paramétricos Kolmogorov-Smirnov, Qui-quadrado, Cramer Von-Mises, Anderson Darling, Kuiper, bem como o Logaritmo da Máxima Verossimilhança indicaram a aceitação da hipótese H_0 a um nível de probabilidade p-valor maior que 10%.

O teste de Kolmogorov-Smirnov apesar de apresentar um elevado nível de aprovação, deve ser recomendado nesse estudo para verificar o ajuste de uma distribuição de probabilidade teórica a uma distribuição de probabilidade empírica de umidade relativa média mensal.

O Logaritmo da Máxima Verossimilhança devido aos seus valores se mostrou um excelente elemento indicador da aderência das séries históricas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M. B. **Características climatológicas do regime de chuva em Minas Gerais**. Viçosa, 1995. 64f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 1995.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicação de estatística a climatologia: teoria e prática**. Pelotas: UFPEL, 1996. 161p.
- ASSIS, J. P.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; SPAROVEK, G.; TIMM, L. C. Ajuste de series históricas de temperatura e radiação solar global diária às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n.1, p. 113-121, 2004.
- BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 93 f. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.
- BOTELHO, V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do Município de Lavras, Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, p. 697-706, 1999.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J.L.; MATZENAUER, R.; TAZZO, I.F. Disponibilidade de radiação solar para o cultivo do tomateiro durante o inverno no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, p113-120, 2000a.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J. L.; MATZENAUER, R.; MARCON, I. A. Condições térmicas para o cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS: 1. temperaturas baixas limitantes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, p. 205-213, 2000b.
- CAMPOS, H. **Estatística não paramétrica**, Piracicaba: ESALQ/USP, 1983. 349 p. 4ª ed.
- CARGNELUTTI FILHO, A; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. Ajuste de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1157-1167, dez. 2004.
- CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.153-162, 2002.
- COLLET, D. **Modeling binary data**. London: Chapman & Hall, 1991.
- COOKE, R.A. **VTFIT: A routine for fitting homogenous Probability density functions**. User documentation. Blacksburg: Department of agricultural Engineering. Virginia, Polytecnic Institute, 1993. 21p.
- HASTINGS, N.A.J., PEACOCK, J.B. **Statistical distributions: A handbook for students and practitioners**, Longon Butterworths, England, 1975. 129p.
- JOHNSON, N. L.; KOTZ, S. Weibull distribution. In: **Distribution in statistics: continous univariate distribution**, 1. New York: J. Willey & Sons, 1970. p.250-271.
- KMENTA, J. **Elementos de econometria: teoria econométrica básica - Volume 2, 2ª Edição**. São Paulo: Editora ATLAS S.A, 1990. 469 p.
- MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística básica**. , São Paulo: Saraiva, 2003. 526p.
- MOTA, F. S.; ROSSKOFF, J. L. C.; SILVA, J. B. Probabilidade de ocorrência de dias com temperaturas iguais ou superiores a 35°C no florescimento de arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, p. 147-149, 1999.
- MÜLLER, P.B. **Bioclimatologia - Aplicada aos animais domésticos**. Editora Sulina, 3ª Edição, Porto Alegre, 1989, 262 p.
- MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P.; CHAVES, M. A. Precipitação mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 29, n. 5, p. 988-994, set./out., 2005.
- RIBEIRO, T. B.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável pela região de Barbacena, MG. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 31, n. 5, p. 1297-1302, set./out, 2007.
- ROSEMBERGUE, N. J. **Microclimate: the biological environment**. New York: Hohn Wiley & Sons, 1974, 315p.

- SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; SOUZA, M. R.; GUIMARÃES, J. C.; SILVA, A. M. Precipitação provável para o município de Lavras/MG, utilizando a distribuição Log-Normal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 382-389, abr./jun., 1999.
- SHAPIRO, S. S.; BRAIN, C. W. A review of distributional testing procedure and development of a censored sample distributional test. *In: Statistical distribution in scientific work*, v.5, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co. 1981.
- SILVA, J. B.; BURGUEÑO, L. E. T.; FERREIRA, C. C.; PEREIRA, R. S. Umidade relativa em Pelotas, RS. I – Análise estatística. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 129-134, 2002.
- SLATER, P. N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Massachussets: Addison-Wesley, 1980. 575p.
- THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Roma: FAO, 1966. 50p. (Technical Notes, 81).
- WORLEY, J.W.; BOLLINGER, J.A.; WOESTE, F.E. & KLINE, K.S. Graphic distribution analysis (GDA). **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.6, n.3, p.367-371, 1990.

Tabela 1 – Frequência do número de ajuste de séries históricas de umidade relativa mensal à sete modelos de distribuição de densidade de probabilidade. Mossoró- RN, 2012.

Mês	Distribuições de Probabilidade													
	Normal		Log-Normal		Beta		Gama		Log-Pearson III		Gumbel		Weibull	
Jan	5	8,47%	5	8,47%	4	8,51%	5	8,33%	5	9,43%	6	10,00%	5	8,77%
Fev	5	8,47%	5	8,47%	4	8,51%	6	10,00%	4	7,55%	5	8,33%	5	8,77%
Mar	5	8,47%	5	8,47%	5	10,64%	6	10,00%	6	11,32%	5	8,33%	5	8,77%
Abr	5	8,47%	5	8,47%	3	6,38%	4	6,67%	4	7,55%	6	10,00%	4	7,02%
Mai	5	8,47%	5	8,47%	3	6,38%	5	8,33%	4	7,55%	4	6,67%	5	8,77%
Jun	5	8,47%	5	8,47%	3	6,38%	5	8,33%	4	7,55%	5	8,33%	5	8,77%
Jul	5	8,47%	5	8,47%	5	10,64%	5	8,33%	4	7,55%	4	6,67%	4	7,02%
Ago	4	6,78%	4	6,78%	4	8,51%	4	6,67%	4	7,55%	5	8,33%	4	7,02%
Set	4	6,78%	4	6,78%	3	6,38%	4	6,67%	4	7,55%	6	10,00%	4	7,02%
Out	5	8,47%	5	8,47%	4	8,51%	5	8,33%	5	9,43%	4	6,67%	5	8,77%
Nov	5	8,47%	5	8,47%	4	8,51%	5	8,33%	4	7,55%	4	6,67%	5	8,77%
Dez	6	10,17%	6	10,17%	5	10,64%	6	10,00%	5	9,43%	6	10,00%	6	10,53%
TOTAL	59	100,00%	59	100,00%	47	100,00%	60	100,00%	53	100,00%	60	100,00%	57	100,00%

Tabela 2 – Frequência do número de ajuste de séries históricas de umidade relativa mensal à sete modelos de distribuição de densidade de probabilidade, Mossoró-RN, 2012.

Distribuição de probabilidade	Mês													%
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Normal	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	6	14,94%	
Log-Normal	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	6	14,94%	
Beta	4	4	5	3	3	3	5	4	3	4	4	5	11,90%	
Gama	5	6	6	4	5	5	5	4	4	5	5	6	15,19%	
Log-Pearson III	5	4	6	4	4	4	4	4	4	5	4	5	13,42%	
Gumbel	6	5	5	6	4	5	4	5	6	4	4	6	15,19%	
Weibull	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	5	6	14,43%	
TOTAL	35	34	37	31	31	32	32	29	29	33	32	40	100,00%	

Tabela 3 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de janeiro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-55,944	0,119	0,199	0,365	0,073	0,465
Log-Normal	-55,917	0,113	0,191	0,360	0,055	0,475
Beta	-47,756	0,143	0,231	2,398	0,073	0,236
Gama	-56,958	0,119	0,465	0,309	0,047	0,485
Log-Pearson III	-50,653	0,093	0,179	0,252	0,038	0,771
Gumbel	-56,219	0,124	0,194	0,270	0,036	0,985
Weibull	-55,143	0,130	0,167	0,235	0,029	0,978

Tabela 4 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de fevereiro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN-2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-55,844	0,109	0,189	0,345	0,053	0,465
Log-Normal	-55,917	0,113	0,191	0,360	0,056	0,465
Beta	-47,756	0,133	0,231	2,398	0,071	0,226
Gama	-55,958	0,109	0,465	0,309	0,046	0,465
Log-Pearson III	-55,653	0,090	0,179	0,252	0,036	0,761
Gumbel	-56,209	0,114	0,194	0,270	0,030	0,975
Weibull	-55,133	0,100	0,167	0,235	0,028	0,975

Tabela 5 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de março no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-64,482	0,146	0,286	1,020	0,160	0,107
Log-Normal	-64,603	0,151	0,291	1,067	0,169	0,107
Beta	-54,395	0,162	0,292	2,779	0,157	0,007
Gama	-64,655	0,149	0,277	0,940	0,150	0,107
Log-Pearson III	-63,948	0,131	0,251	0,732	0,106	0,393
Gumbel	-64,074	0,125	0,219	0,535	0,063	0,602
Weibull	-63,358	0,131	0,240	0,661	0,089	0,309

Tabela 6 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de abril no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-41,700	0,102	0,170	0,237	0,035	0,669
Log-Normal	-41,671	0,103	0,174	0,252	0,036	0,669
Beta	-34,335	0,072	0,142	2,103	0,030	0,901
Gama	-41,695	0,093	0,152	0,207	0,029	0,669
Log-Pearson III	-41,480	0,086	0,148	0,178	0,023	0,901
Gumbel	-44,327	0,125	0,220	0,660	0,105	0,347
Weibull	-44,613	0,096	0,158	0,292	0,032	0,669

Tabela 7 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de maio no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-		Cramer	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
		Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Von Mises		
Normal	-56,006	0,104	0,185	0,425	0,058	0,933
Log-Normal	-55,833	0,101	0,179	0,394	0,052	0,933
Beta	-47,991	0,099	0,195	2,075	0,052	0,836
Gama	-55,979	0,100	0,191	0,397	0,055	0,933
Log-Pearson III	-54,697	0,063	0,124	0,159	0,013	0,968
Gumbel	-60,602	0,150	0,293	1,192	0,190	0,024
Weibull	-55,603	0,107	0,183	0,436	0,063	0,933

Tabela 8 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de junho no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-		Cramer	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
		Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Von Mises		
Normal	-60,433	0,135	0,237	0,542	0,092	0,101
Log-Normal	-60,482	0,140	0,247	0,560	0,096	0,101
Beta	-51,071	0,132	0,242	2,274	0,090	0,065
Gama	-60,538	0,137	0,240	0,480	0,082	0,180
Log-Pearson III	-60,376	0,124	0,236	0,468	0,078	0,180
Gumbel	-61,068	0,165	0,297	0,556	0,089	0,493
Weibull	-59,711	0,155	0,277	0,526	0,086	0,180

Tabela 9 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de julho no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-		Cramer	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
		Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Von Mises		
Normal	-61,709	0,123	0,213	0,499	0,079	0,720
Log-Normal	-61,833	0,128	0,223	0,524	0,083	0,720
Beta	-49,509	0,122	0,221	4,016	0,103	0,836
Gama	-61,874	0,124	0,216	0,458	0,071	0,393
Log-Pearson III	-61,287	0,097	0,177	0,344	0,049	0,491
Gumbel	-61,721	0,083	0,149	0,287	0,030	0,779
Weibull	-61,009	0,094	0,171	0,327	0,043	0,491

Tabela 10 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de agosto no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-				
		Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-56,769	0,090	0,177	0,336	0,045	0,836
Log-Normal	-56,849	0,095	0,179	0,357	0,049	0,836
Beta	-49,001	0,107	0,203	2,167	0,055	0,545
Gama	-56,908	0,096	0,190	0,352	0,048	0,836
Log-Pearson III	-56,727	0,086	0,162	0,294	0,035	0,968
Gumbel	-58,548	0,109	0,202	0,467	0,045	0,440
Weibull	-56,895	0,093	0,183	0,352	0,043	0,836

Tabela 11 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de setembro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-				
		Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-41,961	0,078	0,150	0,250	0,033	0,901
Log-Normal	-41,906	0,075	0,147	0,238	0,031	0,901
Beta	-33,630	0,083	0,164	2,144	0,027	0,945
Gama	-41,994	0,084	0,163	0,275	0,040	0,945
Log-Pearson III	-41,857	0,075	0,133	0,218	0,025	0,669
Gumbel	-45,549	0,130	0,259	0,918	0,143	0,392
Weibull	-41,966	0,080	0,151	0,278	0,036	0,945

Tabela 12 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de outubro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson	Qui-Quadrado (χ^2)
					Darling (A - D)	
Normal	-34,382	0,122	0,211	0,408	0,061	0,720
Log-Normal	-34,339	0,119	0,206	0,401	0,062	0,241
Beta	-28,390	0,146	0,259	2,614	0,096	0,720
Gama	-34,488	0,120	0,207	0,435	0,070	0,241
Log-Pearson III	-34,285	0,110	0,204	0,317	0,045	0,779
Gumbel	-38,260	0,162	0,291	1,211	0,195	0,060
Weibull	-34,316	0,143	0,253	0,525	0,093	0,720

Tabela 13 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de novembro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-39,347	0,125	0,217	0,463	0,067	0,206
Log-Normal	-39,240	0,123	0,216	0,458	0,067	0,269
Beta	-30,082	0,113	0,194	2,407	0,065	0,493
Gama	-39,363	0,127	0,225	0,517	0,079	0,269
Log-Pearson III	-39,654	0,132	0,231	0,587	0,078	0,549
Gumbel	-45,128	0,171	0,310	1,511	0,225	0,030
Weibull	-39,086	0,113	0,215	0,477	0,067	0,669

Tabela 14 – Critérios da qualidade do ajuste de séries históricas de umidade relativa, no mês de dezembro no período de 1970 a 2007, à modelos de distribuições teóricas de densidade de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Log Pearson III, Gumbel e Weibull. Mossoró-RN, 2012.

Critérios da qualidade do ajuste						
Distribuição de probabilidade	Logarítimo da máxima verossimilhança (ln(L))	Kolmogorov-Smirnov (K - S)	Kuiper (K)	Cramer Von Mises	Anderson Darling (A - D)	Qui-Quadrado (χ^2)
Normal	-54,109	0,180	0,329	0,759	0,131	0,273
Log-Normal	-54,104	0,179	0,330	0,760	0,132	0,273
Beta	-39,905	0,188	0,344	4,096	0,139	0,273
Gama	-54,172	0,168	0,310	0,651	0,109	0,273
Log-Pearson III	-54,751	0,147	0,272	0,594	0,085	0,141
Gumbel	-55,145	0,187	0,342	0,804	0,118	0,720
Weibull	-56,053	0,268	0,504	3,189	0,585	0,141