

Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná

Alessandro Torres Campos^{1*}, Elcio Silvério Klosowski¹, Eliane Gasparino¹ e Aloísio Torres de Campos²

¹Grupo de Pesquisas em Ambiente do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Universidade do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. ²Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. O presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial de redução de temperatura do ar por meio de sistemas de resfriamento adiabático evaporativo para a região de Maringá, Estado do Paraná. Foram utilizados dados de 13 anos da Estação Climatológica Principal de Maringá. Relacionou-se a temperatura ambiente, umidade relativa e potencial de redução de temperatura por meios evaporativos. Através dos resultados obtidos, foi possível depreender que, os meses que apresentam maior potencial de redução de temperatura foram: agosto, setembro, outubro e novembro, devido aos baixos valores de umidade relativa do ar. Os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, apesar de se situarem no verão, apresentaram menor potencial de redução de temperatura por meio de resfriamento adiabático evaporativo, devido à incidência de maiores valores de umidade relativa do ar. Entretanto, pelos valores analisados, conclui-se que esta técnica (resfriamento adiabático) apresenta-se promissora para os horários mais críticos (13h00min às 18h00min), com maior temperatura do ar.

Palavras-chave: conforto térmico, arrefecimento térmico, acondicionamento térmico, zoneamento térmico.

ABSTRACT. **Study of the air temperature reduction potential through the evaporative cooling system in the region of Maringá-PR Brazil.** The present work objective was to determine the air temperature reducing potential through the use of evaporative cooling systems for the Maringá-PR region using 13 years data from Maringá Meteorological Station. Temperature reducing potential through evaporative systems was related to the environmental temperature and relative humidity. Results pointed out that the months that the which presented the best potential of temperature reduction were August, September, October and November, due to the low values of relative humidity. The months of December, January, February and March presented lower potential of temperature reduction through evaporative cooling systems due to the incidence of larger values of relative humidity despite taking place in the summer. However, by the analyzed values, it was concluded that this technique (evaporative cooling) is promising to the most critical hours (13h00min to 18h00min), which presents the highest air temperature.

Key words: thermal comfort, thermal cooling, thermal conditioning, thermal zoning.

Introdução

Uma exploração rural economicamente viável requer edificações projetadas de forma que permitam o acondicionamento térmico natural, adotando medidas simples, que devem ser esgotadas, antes de serem adotados os mecanismos artificiais, como: a localização, as características construtivas, o pé direito, os materiais de cobertura, a arborização, o sombreamento e a ventilação naturais. Entretanto, para certas regiões do Brasil, em certos períodos do ano e, de acordo ainda com a densidade de criação, esses chamados “meios naturais” de acondicionamento térmico podem não serem suficientes para proporcionarem o conforto necessário

para animais de elevada produção, sendo necessário lançar mão dos meios chamados “artificiais” (Silva, 1999). Neste contexto, Tinôco (2000) expõe que os sistemas de resfriamento do ar por via evaporativa se tornaram imprescindíveis em regiões extremamente quentes, onde a ventilação simples, natural ou artificial, mesmo quando bem projetada, é insuficiente para reduzir a temperatura do ar no interior de galpões de aves. A mesma autora complementa que uma das formas de se fazer este resfriamento é por meio do sistema adiabático evaporativo, que possibilita uma redução da temperatura do ar em até 11°C, em algumas regiões, sendo que, no Brasil, a média desta redução é de 6°C.

O resfriamento adiabático evaporativo pode ser obtido por meio de sistemas de nebulização (associado a ventilação) ou passando o ar através de um material poroso umedecido ("pad systems") (Bottcher *et al.*, 1991). O ar não saturado, em contato com a superfície líquida livremente exposta, promove troca simultânea de calor e da massa. Como a pressão de vapor da água da superfície é maior que a do ar insaturado, ocorre vaporização de água. O calor necessário para esta mudança de estado vem do calor sensível sentido no ar e na água, resultando em um decréscimo da temperatura de ambos. Como a temperatura da vizinhança imediata da superfície de contato diminui criando um diferencial de temperatura da mistura vapor-ar, ocorre a transferência de calor. Uma mudança no meio ambiente resulta, portanto, na mudança de estado da água e na mudança de temperatura do sistema ar-vapor (Tinôco, 1988; Teixeira, 1995). O resfriamento adiabático evaporativo pode ser obtido também por outros processos, como pela aspersão de água sobre a cobertura da instalação ou por meio de chuveirões (para vacas no campo ou pós ordenha), como esclarece Silva (1998).

A eficiência de aplicação do Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo (ou SRAE) depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco de bulbo úmido (depressão psicrométrica) de cada região (Whitaker, 1979). Silva (1998) acredita que a eficiência do SRAE seja maior em climas quentes e secos, devendo ser tomados os devidos cuidados com diferentes manejos, principalmente em regiões úmidas.

Ao passar do estado líquido para o gasoso, a água retira do ambiente cerca de 584 cal para cada grama de água evaporada, dependendo da temperatura do ambiente (Lee e Sears, 1992).

Resultados do trabalho desenvolvido por Sartor (1997) indicam que o uso de sistema de Resfriamento Evaporativo em maternidades para suínos apresenta vantagens, quando relacionados ao consumo de ração, água e ganho de peso. Sartor *et al.* (1999) depreenderam que este sistema pode proporcionar reduções da temperatura retal de 40,6 para 39,2°C e da frequência respiratória de 122 para 70 respirações por minuto, das matrizes.

Roma Jr. *et al.* (2001) compararam o desempenho de galpões dotados de SRAE com galpão desprovido do sistema, na região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, concluindo que o equipamento reduz em média a temperatura de globo negro de 1 a 1,5°C, não alterando significativamente a umidade relativa.

Martins *et al.* (2001) realizaram simulações visando prever o potencial de redução de

temperatura a partir de resfriamento adiabático evaporativo utilizando equações do gráfico psicrométrico a partir de condições ideais pré-estabelecidas, tendo como variáveis de estado somente a temperatura e a umidade relativa do ar. Concluíram que as simulações são eficientes para desenvolver sistemas de controle para o conforto ambiental de instalações.

Medeiros e Baêta (1999) simularam as condições do ar, com e sem o emprego do sistema de resfriamento evaporativo, no período de dezembro a março, para cinco localidades do Estado de Minas Gerais. Apesar de terem utilizado dados horários, os autores concluem que, na ausência de valores de temperatura e umidade relativa do ar horários, o estudo de viabilidade do uso dos SRAE pode ser feito a partir dos dados horários-padrão (9, 15 e 21 horas), com aproximadamente 96% de confiabilidade.

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar, com base em dados das normais climatológicas, a potencialidade de utilização do Resfriamento Adiabático Evaporativo, nos diversos meses do ano, para a região de Maringá, Estado do Paraná.

Material e métodos

No presente trabalho foram utilizados dados climatológicos da Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM), que é vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), lotada na Universidade Estadual de Maringá, referentes ao período compreendido entre 1984 e 1996, totalizando 13 anos. Sua localização geográfica é de 23°25'S de Latitude, 51°57'W de Longitude, com 542 metros de altitude.

A Temperatura e Umidade Relativa do ar foram obtidas por meio de Psicômetro do tipo não aspirado, utilizando termômetros Incotherm, com divisão de escala de 0,1°C instalados em abrigo meteorológico padrão.

Na ECPM, são realizadas coletas de rotina em intervalos de uma hora, de 7h00min às 23h00min (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção e velocidade dos ventos).

Determinação do potencial de abaixamento da temperatura do ar por meio de resfriamento evaporativo

Em tese, a menor temperatura a que se poderia chegar, por meio de umedecimento do ar, seria aquela relativa à temperatura do ponto de orvalho, obtida a partir da equação 1:

$$t_d = \frac{(186,4905 - 237,3 \times \log_{10} e)}{(\log_{10} e - 8,2859)} \quad (1)$$

onde:

e = pressão atual de vapor (hPa);

A pressão atual de vapor, por sua vez, pode ser determinada a partir da equação 2:

$$e = e_{su} - A \times P (T_{bs} - T_{bu}) \quad (2)$$

onde:

e_{su} = pressão de saturação à temperatura de bulbo úmido (hPa);

A = constante psicrométrica, $0,00067 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

P = Pressão Atmosférica (hPa);

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$);

T_{bu} = Temperatura de bulbo úmido ($^\circ\text{C}$).

Para a determinação da pressão de saturação (e_{su}) utiliza-se a seguinte equação:

$$e_{su} = 6,1078 \times 10^{\frac{(7,5 \times T_{bu})}{(237,3 + T_{bu})}} \quad (3)$$

Considerando-se uma eficiência de 100%, o valor de potencial de redução da temperatura do ar ambiente, por meio de sistemas de resfriamento adiabático, seria equivalente à diferença entre a temperatura do ar seco e a temperatura do ponto de orvalho.

Agruparam-se mês a mês os valores do potencial de redução da temperatura do ar para o período entre 12h00min e 18h00min e procurou-se verificar se o comportamento destes valores obedecia a uma distribuição de probabilidade contínua, no caso, a distribuição normal na qual se tem dois parâmetros, a média (μ) e desvio padrão (σ). A função de densidade de probabilidade tem a seguinte forma:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

A variável transformada (Z) pode ser calculada por:

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{s} \quad (5)$$

Onde X é o limite superior da classe, \bar{X} é a média da amostra e "s" o desvio padrão. O valor de $F(Z)$ pode ser obtido através de tabelas dos valores da distribuição normal padrão. A $F(X)$, ou seja, a probabilidade de ocorrer um valor de potencial de redução da temperatura do ar menor ou igual ao da classe é calculada subtraindo-se do valor de $F(Z)$ de cada classe o valor de $F(Z)$ da classe anterior.

As freqüências esperadas (f_e), em cada classe, são obtidas multiplicando-se o valor de $F(X)$ pela soma de todas as freqüências.

Obtidas as distribuições de freqüência do potencial de redução da temperatura do ar, para cada mês do ano no período estudado, aplicou-se o teste

de aderência. Para tanto, utilizou-se o teste de normalidade proposto por Lilliefors (1967), citado por Campos (1983) aos níveis de 1 e 5%.

Resultados e discussão

Nas Figuras de 1 a 4 são apresentados os gráficos que mostram o potencial de redução da temperatura ambiente para instalações por meio de processos de resfriamento adiabático evaporativo, podendo-se observar também a variação da temperatura e da Umidade Relativa do ar, para os meses de janeiro a dezembro, média de 13 anos, para a região de Maringá.

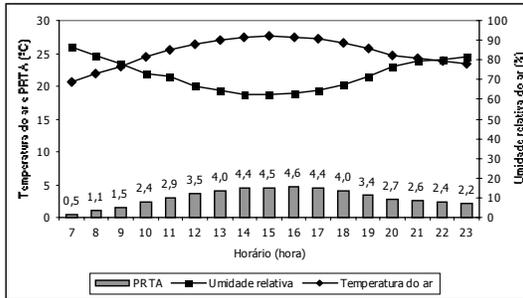
Como pode ser observado nas Figuras de 1 a 4, a partir das 13h00min, até as 17h00min, que é um período considerado crítico, com elevada incidência de radiação solar, existe um potencial de redução da temperatura do ar acima de $4,0^\circ\text{C}$, para todos os meses, independente da estação do ano e da Umidade Relativa do ar, exceção feita ao mês de fevereiro (potencial acima de 4°C a partir das 14h00min até as 17h00min).

Logicamente, os valores do potencial de redução de temperatura apresentam comportamento inversamente proporcional aos valores verificados para Umidade Relativa do ar, uma vez que o processo implica em incremento de umidade no ambiente. Quanto maior o valor de Umidade Relativa, mais próximo da saturação se encontra o ar ambiente e, por conseguinte, menores volumes de água poderão ser inseridos, visando à redução adiabática da temperatura. Por outro lado, quanto maior a temperatura ambiente, maior é o potencial de redução de temperatura por meios evaporativos. Como pode ser constatado nas Figuras de 1 a 4, o pico de temperatura do ar em Maringá ocorre às 15h00min, sendo que o pico dos valores de potencial de redução de temperatura, de forma geral, ocorre aproximadamente neste mesmo horário. De acordo com Tinóco (2000), uma vez que o resfriamento evaporativo implica em redução da temperatura do ar, com conseqüente aumento da sua umidade relativa, pressupõe-se que este sistema seja mais eficiente em regiões de clima quente e seco. Contudo, em certas regiões úmidas, nota-se que o horário mais quente do dia é acompanhado pela redução da umidade relativa do ar, possibilitando o uso deste sistema nas horas de maior estresse calórico nestes locais.

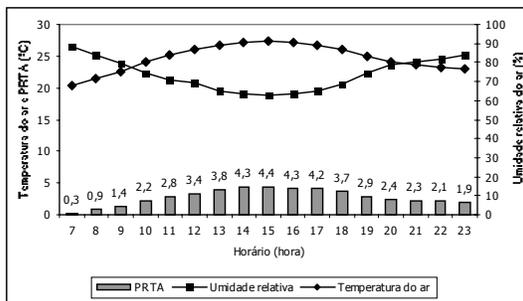
Os maiores valores de potencial de redução de temperatura do ar determinados para Maringá foram para os meses de agosto a novembro, cujos picos superaram 7°C para todos estes meses. Justifica-se este comportamento por se tratar de períodos situados parcialmente no inverno e na primavera, onde a Umidade Relativa, historicamente, apresenta baixos valores. Estudando dados climáticos da Carolina do

Norte, Timmons e Baughman (1983) determinaram potencial de redução de temperatura usando sistemas de resfriamento evaporativo, variando de 8 a 11°C.

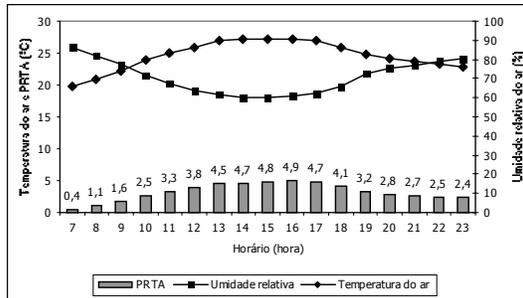
recomenda valores de 5-15°C, para a faixa de conforto. Teixeira (1997), apresenta o intervalo de 10-20°C, como faixa de conforto para galinhas poedeiras, e 18-21; 15-18 e 15-18°C para frangos nas 6ª, 7ª e 8ª semanas de criação, respectivamente.



Janeiro



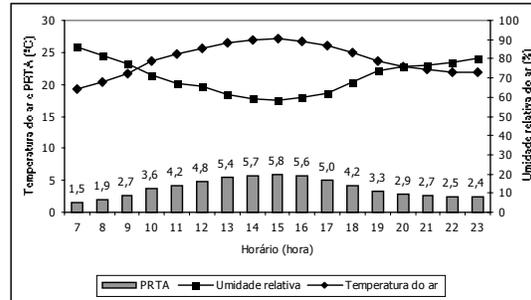
Fevereiro



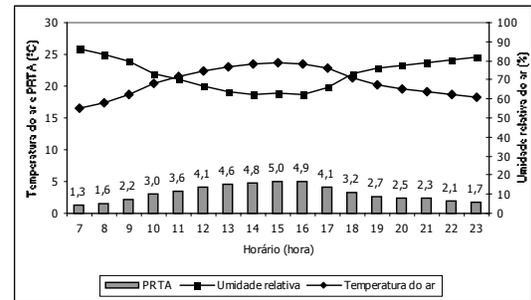
Março

Figura 1. Potencial de redução de temperatura do ar (PRTA), por meio de processo de resfriamento adiabático evaporativo (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C), para os meses de janeiro, fevereiro e março, para a região de Maringá, Estado do Paraná

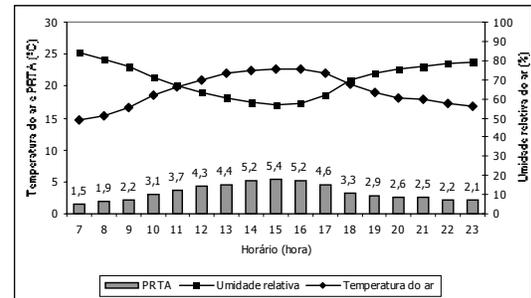
Porém, ao se considerar as médias das temperaturas para os horários mais críticos (13h00min às 18h00min), de, 24,6; 25,1; 27,1 e 28,4°C, para os meses de agosto, setembro, outubro e novembro, respectivamente, percebe-se que estas temperaturas apresentam valores médios superiores àqueles preconizados para o confinamento de várias espécies animais. De acordo com Silva (1999), para suínos, a faixa de temperaturas ótimas (conforto térmico), para cobertura, gestação, maternidade, pré-creche, creche e terminação, são de: 18-21; 18-20; 16-18; 22-25; 18-21 e 18-21°C, respectivamente. Para vacas em lactação, Hahn (1993)



Abril



Maio



Junho

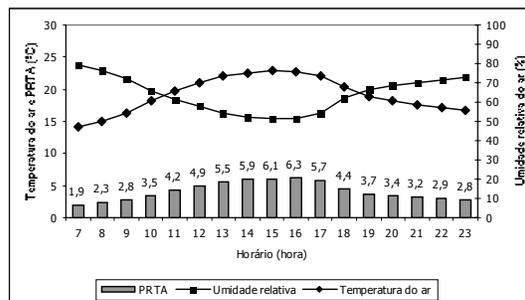
Figura 2. Potencial de redução de temperatura do ar (PRTA), por meio de processo de resfriamento adiabático evaporativo (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C), para os meses de abril, maio e junho, para a região de Maringá, Estado do Paraná

Todos estes valores indicam que, mesmo em se tratando de estações caracterizadas por apresentarem temperaturas mais amenas (parte do inverno e primavera), há a possibilidade de utilização dos sistemas de resfriamento adiabático para criações confinadas, com grande sensibilidade às variações de temperatura.

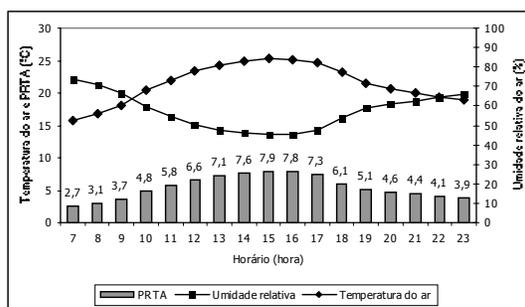
Ressalva-se que os valores analisados constituem médias de 13 anos. Para determinados períodos do dia, podem ocorrer picos de temperatura que

provoquem altas taxas de mortalidade por estresse térmico, caso não se disponha de equipamentos que promovam uma redução efetiva da temperatura, principalmente para espécies mais sensíveis, como, por exemplo, frangos de corte criados em alta densidade.

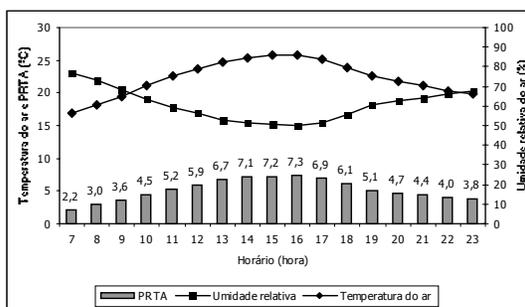
respectivamente. Apesar destes valores relativamente elevados, o potencial de redução de temperatura, para estes meses é menor. Este fato ocorre devido à incidência de maiores valores de Umidade Relativa neste período, 60, 64, 65 e 62% para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente (de 13h00min-18h00min).



Julho



Agosto

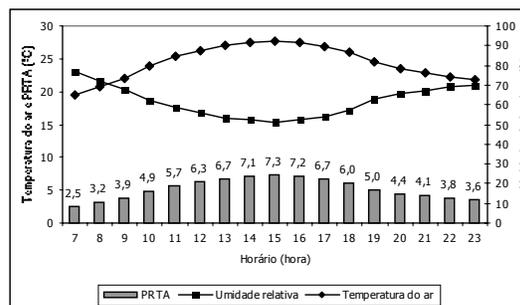


Setembro

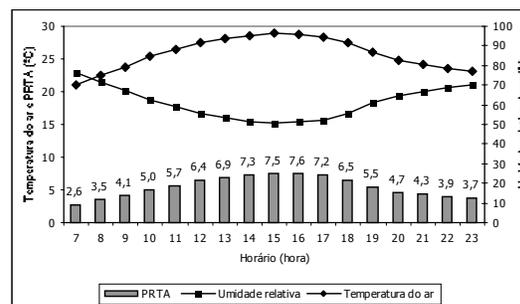
Figura 3. Potencial de redução de temperatura do ar (PRTA), por meio de processo de resfriamento adiabático evaporativo (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C), para os meses de julho, agosto e setembro para a região de Maringá, Estado do Paraná

Depreende-se das Figuras 3 e 4 que os maiores valores de temperatura do ar foram de 25,3; 25,7; 27,7 e 28,9°C para os meses de agosto, setembro, outubro e novembro, respectivamente.

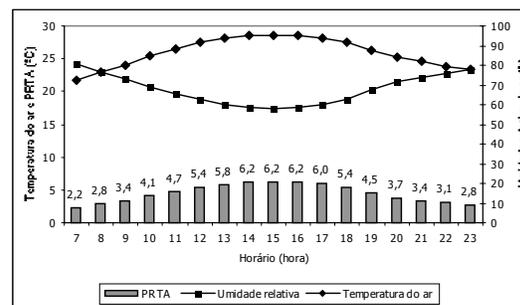
Analisando o período de verão, considerando os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março (Figuras 1 e 4), observa-se que as temperaturas mais elevadas no período de 13h00min-18h00min, apresentaram médias de: 28,3; 27,3; 26,9 e 26,9°C,



Outubro



Novembro



Dezembro

Figura 4. Potencial de redução de temperatura do ar (PRTA), por meio de processo de resfriamento adiabático evaporativo (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C), para os meses de outubro, novembro e dezembro para a região de Maringá, Estado do Paraná

Pelas Figuras (1 e 4) observa-se que, para o horário mais quente do dia (15h00min), o potencial de redução de temperatura foi de, 6,2; 4,5; 4,4 e 4,8°C, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente. Em dezembro, mês cuja temperatura, nos horários mais críticos, se aproxima dos 30°C, verificou-se o maior potencial.

Em se tratando de projetos, evidentemente, é impossível que os equipamentos de resfriamento adiabático evaporativo (tais como nebulizadores, aspersores, placas evaporativas) apresentem 100% de eficiência. Para fins práticos, Abreu *et al.* (1999) recomendam que se considere um rendimento de 80%. Neste caso, os valores de potencial de redução de temperatura, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março seriam de 5,0; 3,6; 3,5 e 3,8°C,

respectivamente, considerando estas médias. Cabe aqui ressaltar que as médias atenuam os valores de temperatura que podem ocorrer para alguns horários e dias do período considerado, podendo ocorrer valores muito mais elevados.

A Figura 5 mostra as Freqüências Observadas e Estimadas dos valores de potencial de redução de temperatura para a região de Maringá.

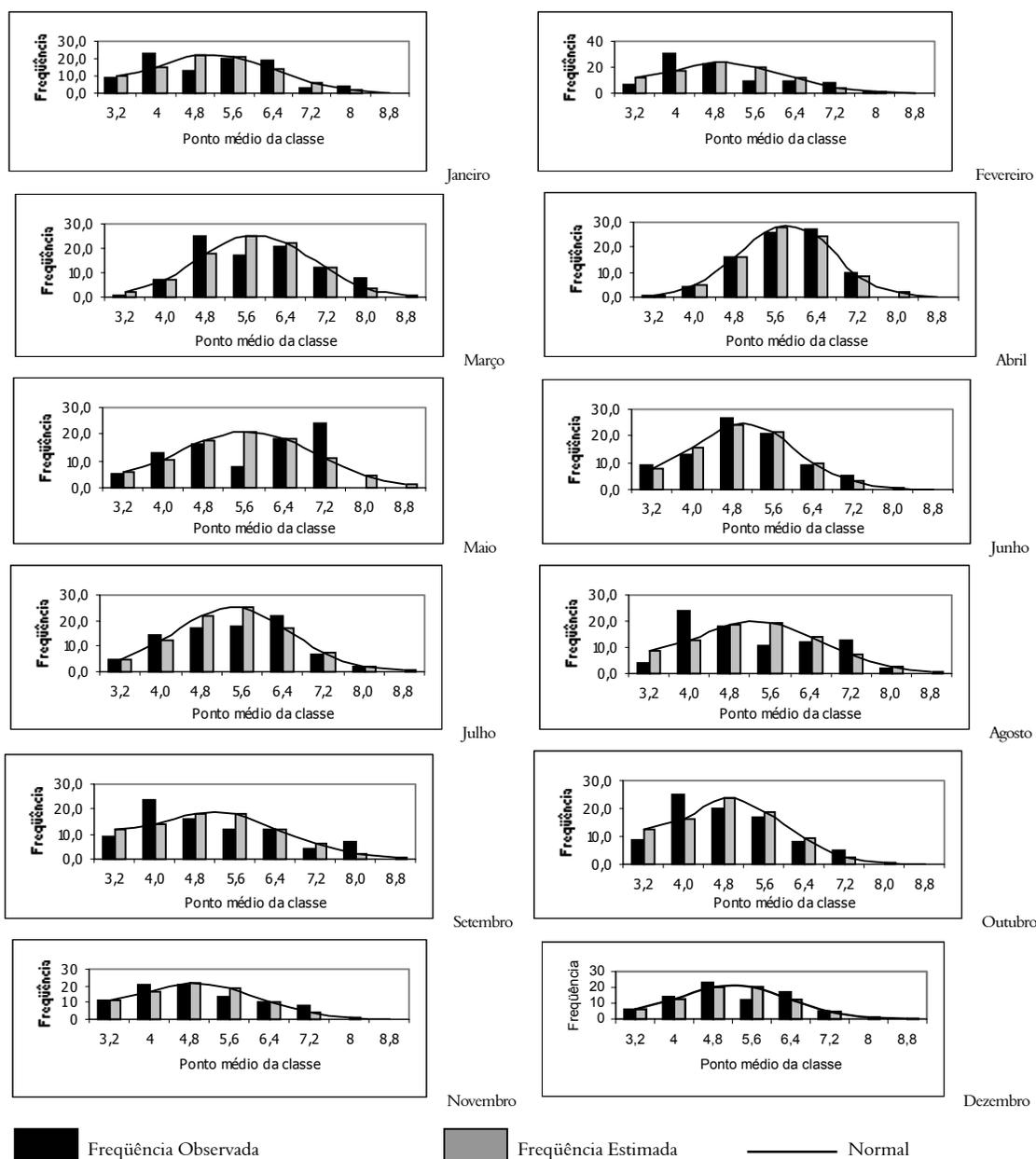


Figura 5. Freqüências Observadas, Estimadas e Curva Normal, para os meses do ano, dos valores de potencial de redução de temperatura por processos de resfriamento adiabático evaporativo, para a região de Maringá, Estado do Paraná

Ao ajustar-se uma distribuição de probabilidade a um conjunto de dados, trabalha-se com a hipótese de que esta representa adequadamente aquele conjunto de dados. É interessante que se faça um teste estatístico para verificar se isto é correto, a princípio aceita-se a hipótese de que o modelo escolhido representa bem os dados apenas através de uma inspeção visual no histograma de frequência e nas diferenças entre frequência observada e a teórica (Assis *et al.*, 1996).

Como pode ser observado na Figura 5, os valores estimados da distribuição de frequência de valores de potencial de redução de temperatura por processos de resfriamento adiabático evaporativo mantiveram-se bem próximos aos valores observados. Efetuando uma análise visual, constata-se um comportamento bastante semelhante a uma distribuição de frequência contínua do tipo normal quando se estuda o período mensal.

Após aplicado o teste de aderência preconizado por Lilliefors (1967), citado por Campos (1983), verificou-se a normalidade deste conjunto de dados aos níveis de significância de 1 e 5% desta forma, a distribuição normal pode ser utilizada para estudar os dados apresentados em todos os meses.

Dado o exposto, verifica-se que a distribuição normal pode ser utilizada para análise de frequência de valores de potencial de redução de temperatura para a região de Maringá.

Referências

- ABREU, P.G. *et al.* *Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte*. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1999. (Embrapa-CNPSA. Documentos, 59).
- ASSIS, F.N. *et al.* *Aplicações de estatística à climatologia*. Pelotas: Ed. Universitária, 1996.
- BOTTCHER, R.W. *et al.* Characterizing efficiency of misting systems for poultry. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.34, n.2, p.586-590, 1991.
- CAMPOS, H. *Estatística experimental não paramétrica*. 4.ed. Piracicaba: Fealq/Esalq, 1983.
- HAHN, G.L. *Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados*. Jaboticabal: FUNEP, 1993.
- LEE, J.E.; SEARS, F.W. *Termodinâmica*. Rio de Janeiro: McGraw Hill, 1992.
- MARTINS, J.H. *et al.* Simulação do conforto ambiental para frangos de corte empregando o resfriamento adiabático evaporativo utilizando a linguagem Matlab. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...* Cascavel: Unioeste-SBEA, 2001. (CD-ROM).
- MEDEIROS, C.M.; BAÊTA, F.C. Modelagem do desempenho de galinhas poedeiras criadas com uso de resfriamento evaporativo. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.7, n.4, p.177-302, 1999.
- ROMA JR., L.C. *et al.* Avaliação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) em instalações tipo Free-Stall para bovinos de leite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Cascavel: Unioeste-SBEA, 2001. (CD-ROM).
- SARTOR, V. *Efeito do resfriamento evaporativo e da ventilação forçada no conforto térmico ambiental de verão, em maternidade de suínos*. 1997. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- SARTOR, V. *et al.* Efeito de sistemas de resfriamento evaporativo nas respostas fisiológicas de matrizes lactantes e de suas leitgadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.4, p.1-13, 1999.
- SILVA, I.J.O. Climatização das instalações para bovino leiteiro. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). *Ambiência na produção de leite*. Piracicaba: FEALQ, 1998. cap.6, p.114-145.
- SILVA, I.J.O. Sistemas naturais e artificiais do controle do ambiente - climatização. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. Piracicaba: FEALQ, 1999. cap.4, p.81-111.
- TEIXEIRA, V.H. *Resfriamento adiabático evaporativo na edificação de maternidade para suínos*. 1995. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.
- TEIXEIRA, V.H. *Construções e ambiência: instalações para suínos e aves*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.
- TIMMONS, M.B.; BAUGHMAN, G.R. Experimental evaluation of poultry mist-fog systems. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.26, n.1, p.207-210, 1983.
- TINÓCO, I.F.F. *Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte*. 1988. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- TINÓCO, I.F.F. Ambiência e instalações na produtividade de frangos de corte com enfoque em túnel de vento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM CLIMA QUENTE, 1, 2000, Maringá. *Anais...* Maringá: UEM, 2000. p.35-49.
- WHITAKER, J.H. *Agricultural building and structure*. Heston: Heston Publishing Company, 1979.

Received on February 18, 2002.

Accepted on April 26, 2002.