

PREDIÇÃO DO DECLÍNIO NA PRODUÇÃO LEITEIRA COM AUXÍLIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Pedro Hurtado de Mendoza Borges^{1*}, Zaíra Morais dos Santos Hurtado de Mendoza²,
Pedro Hurtado de Mendoza Morais³, Ronei Lopes dos Santos³,
Charles Esteffan Cavalcante³, Felipe Schmitz Ruver³

SAP 20842 Data envio: 18/10/2018 Data do aceite: 18/12/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 4, out./dez., p. 411-419, 2019

RESUMO - Objetivou-se com o presente estudo prever as perdas na produção leiteira devido às condições climáticas para cada dia do ano, considerando-se o nível normal de produtividade do animal. As condições climáticas foram avaliadas com base no índice de temperatura e umidade. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar para determinar o referido índice foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia, referentes a uma série histórica de 29 anos proveniente da Estação Meteorológica Convencional do município de Nova Xavantina (MT). Em seguida, desenvolveram-se as redes neurais artificiais para estimar o índice de temperatura e umidade, em função do dia do ano no calendário juliano, e prever a correspondente perda na produção leiteira de acordo com a produtividade do animal. Optou-se pelas redes de múltiplas camadas do tipo perceptron. O número de camadas e neurônios variou no estabelecimento das diferentes arquiteturas. O ajuste verificou-se com base nos valores do erro quadrático médio, dos índices de desempenho e eficiência, bem como nos testes de normalidade e aderência. Os valores estimados pelas redes e os obtidos a partir da série histórica não discrepam significativamente. A rede com melhor desempenho foi selecionada para uma análise gráfica de resíduos. Concluiu-se que foi possível estimar as perdas na produção leiteira com adequada confiabilidade e precisão, em função das condições climáticas para cada dia do ano, com auxílio das redes neurais artificiais desenvolvidas neste estudo.

Palavras-chave: desempenho animal, inteligência artificial, conforto ambiental.

PREDICTION OF DECLINE IN MILK PRODUCTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT - The objective of present study was to predict losses in milk production due to climatic conditions for each day of the year, considering the normal level of productivity of the animal. The climatic conditions were evaluated based on the temperature and humidity index. The data of temperature and relative humidity of the air to determine referred index were obtained on the website of the National Institute of Meteorology, referring to a historical series of 29 years coming from the Conventional Meteorological Station of the municipality of Nova Xavantina (Mato Grosso do Sul, Brazil). Then, the artificial neural networks were developed to estimate the Temperature and Humidity Index, as a function of the day of the year in the Julian calendar, and to predict the corresponding loss in milk production according to the productivity of the animal. We chose the “perceptron” multi-layer networks. The number of layers and neurons varied in the establishment of the different architectures. The adjustment based on mean square error, performance and efficiency indexes, as well as normality and adherence tests. The values estimated by the networks and those obtained from the historical series did not differ significantly. The best performing network was selected for a graphical residue analysis. It was concluded, that it was possible to estimate losses in milk production with adequate reliability and precision, as a function of the climatic conditions for each day of the year, with the help of the artificial neural networks developed in this study.

Keywords: animal performance, artificial intelligence, environmental comfort.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o controle do ambiente de instalações zootécnicas em termos de bem-estar animal tem sido uma constante preocupação, pois alterações fisiológicas em resposta ao excessivo calor podem causar grandes prejuízos aos produtores. Estudos tem revelado a sensibilidade dos animais ao estresse térmico e a

considerável diminuição do desempenho produtivo e reprodutivo, sendo mais acentuado durante o verão, quando a temperatura e a umidade do ar atingem os máximos valores (PERISSINOTTO et al., 2007; SOUZA et al., 2010). De acordo com esses autores, as vacas lactantes reduzem a ingestão de matéria seca para

¹Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Titular, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá, CEP 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil. pborges@ufmt.br. *Autor para correspondência.

²Doutora em Ciências Florestais, Professora Associada, Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá, CEP 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil.

³Graduando do Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá, CEP 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil.

amenizar o incremento calórico, o que traz como consequência a redução na produção leiteira.

O impacto de fatores ambientais na produção animal tem sido avaliado por meio de diversos índices de conforto térmico e são estimados, em função da temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar. O índice de temperatura e umidade (ITU) é o mais utilizado para expressar o conforto animal em relação ao ambiente. Desta forma, a partir de medições das variáveis climatológicas temperatura e umidade relativa do ar realizadas em instalações zootécnicas ou nas proximidades, pode-se determinar o mencionado ITU. Os dados podem servir como apoio à tomada de decisão, com o intuito de aliviar o estresse por calor nos animais. Também, o estudo desse índice pode contribuir na definição de padrões das condições ambientais e na elaboração de um modelo empírico de previsão.

Os modelos empíricos para previsão de variáveis meteorológicas podem ser ajustados aos dados por meio de distribuições probabilísticas. Entretanto, um dos principais inconvenientes nos modelos de simulação que considera esse tipo de variável encontra-se na incapacidade de reconhecer a sua forma real, isto é, ignorar ou não distinguir a instabilidade do tempo de duração de uma determinada condição. Para superar essas deficiências nos modelos matemáticos e estatísticos tradicionais, Bilgili e Sahin (2010) e Wu et al. (2010), utilizaram redes neurais artificiais. Esses autores destacam que, os modelos de simulação com variáveis climáticas devem possuir uma grande quantidade de dados observados para serem confiáveis.

A aplicação de redes neurais artificiais (RNAs) tem sido proposta por vários autores para modelar a precipitação, a evapotranspiração e a umidade (ALVES SOBRINHO et al., 2011; CARVALHO et al., 2012; YASAR et al., 2012). Também, Santos et al. (2016) aplicaram redes neurais artificiais do tipo perceptron com múltiplas camadas para monitorar suínos e obtiveram resultados precisos e com adequada exatidão. Esses estudos mostram a viabilidade do uso dos referidos modelos e a sua habilidade para a previsão de dados com base em informações anteriores. As redes artificiais são modelos semelhantes às estruturas neurais biológicas e tem capacidade computacional adquirida por meio de aprendizagem e generalização.

Com base nos estudos consultados infere-se que as referidas redes constituem uma poderosa e viável ferramenta computacional para o processamento de dados e que podem ser muito úteis para estimar índices de conforto térmico a partir de valores de variáveis climáticas registrados próximos às instalações zootécnicas. Assim, esses modelos devem proporcionar os fundamentos necessários para caracterizar o ambiente térmico e dessa forma auxiliar no manejo dos animais. Esta problemática motivou a elaboração do presente trabalho, que tem por objetivo estimar as perdas na produção leiteira, em função do Índice de Temperatura e Umidade, aplicando-se redes neurais artificiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas informações meteorológicas provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Devido à elevada atividade leiteira da região, optou-se pela Estação Climatológica Convencional de Nova Xavantina (MT), código OMN 83319 (operante desde 05/08/2017), nas coordenadas geográficas de 140 42' 00" latitude Sul, 520 21' 00" longitude Oeste e altitude de 316 m.

Os dados referem-se ao período compreendido entre 01/01/1988 a 31/12/2017, totalizando 29 anos. A região apresenta clima tropical, segundo Peel et al. (2007), classificado como *Aw*, com temperatura média anual de 25,1°C e pluviosidade média anual de 1498 mm (INMET, 2018).

Acessando a base de dados BDMEP coletaram-se os valores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar para as séries históricas de dados horários correspondentes as 00:00, 12:00 e 18:00 h. Embora, a elevação solar ao longo do dia poderia influenciar o ITU, apenas os valores das variáveis climáticas nesses três horários encontram-se disponíveis. Os dados foram armazenados devidamente em planilhas eletrônicas excel. Em seguida, esses valores foram tabulados e organizados, de acordo com o dia e horário, totalizando cerca de 1095 leituras por ano. Para o tratamento e processamento dos dados, bem como para definir a arquitetura das redes neurais artificiais utilizou-se o programa estatístico STATISTICA 8.0 (STATSOFT, 2007).

Na análise do ITU, aplicou-se a classificação proposta por Rosenberg et al. (1983), que considera o conforto normal para os valores inferiores a 74, alerta aos produtores, isto é, devem ser tomadas algumas medidas para evitar perdas entre 74 e 78, perigo no intervalo entre 78 e 84 em que as perdas são inevitáveis e quando esse indicador seja superior a 84, corresponde ao estado de emergência, comprometendo-se a saúde do animal. Em seguida, o citado índice foi determinado pela equação sugerida por Thom (1958), dada por:

$$ITU = Tbs + 0,36 \cdot Tpo + 41,2$$

Em que:

ITU = índice de temperatura e umidade (adimensional),

Tbs = temperatura de bulbo seco (°C) e

Tpo = temperatura do ponto de orvalho (°C).

Os valores do ITU estimados analisaram-se inicialmente por estatísticas descritivas com o objetivo de caracterizar a distribuição dos dados. Assim, determinaram-se a média, valores máximos e mínimos, desvio-padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança para 95% de probabilidade.

O declínio na produção leiteira estimou-se, em função do nível de produtividade normal (PN). Essa variável é uma referência de forma genérica, considerando-se uma situação em que o animal não está

submetido ao estresse térmico, ou seja, a produtividade que teria na condição de termoneutralidade. Neste estudo adotaram-se os níveis normais de produção 10, 15, 20, 25, 30 e 35 kg vaca⁻¹ dia⁻¹, bem como a expressão adaptada por Hahn (1993):

$$DPL = -1,075 - 1,736 \cdot PN + 0,02474 \cdot PN \cdot ITU$$

Em que:

DPL = declínio da produção leiteira (kg dia⁻¹),

PN = nível de produção (kg dia⁻¹) e

ITU = índice de temperatura e umidade (adimensional).

Com base nos trabalhos de Terra e Passador (2012), Ventura et al. (2012), Georgens et al. (2014) e Valente et al. (2014), optou-se pelas redes neurais artificiais com a estrutura perceptrons de múltiplas camadas (MPL). Para definir a arquitetura variou-se o número de camadas intermediárias e o número de neurônios nas camadas.

Como variável de entrada foi introduzido o dia do ano no calendário juliano, sendo a variável de saída o ITU. Essas variáveis foram normalizadas no intervalo de 0 a 1 para evitar a saturação dos valores da função de ativação. Em todas as arquiteturas utilizou-se a função logística para ativar as redes. As camadas conectaram-se por sinapses completas, adotando-se a retro propagação do erro como algoritmo de aprendizagem.

Para reduzir o número de redes obtidas e selecionar as mais adequadas, foram considerados os coeficientes e índices fornecidos pelo próprio programa, correspondentes ao treinamento, seleção e validação, bem como determinaram-se o erro médio e a raiz do erro quadrático médio (GEORGENS et al., 2014; BORGES et al., 2017). As redes neurais classificadas como satisfatórias foram analisadas de forma mais rigorosa, conforme sugerido por Borges et al. (2017). Esse procedimento baseou-se na elaboração do gráfico de dispersão e histograma de resíduos.

Também, foram aplicados os testes analíticos de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, Qui-Quadrado e t-Student entre os valores observados e os estimados. Em seguida, calcularam-se os coeficientes de correlação e concordância de Willmott para avaliar a precisão e a exatidão das redes. Finalmente, multiplicaram-se esses dois coeficientes e obteve-se o índice de desempenho para verificar a eficiência, pois este último mede a proximidade entre os valores estimados pelas redes e os observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresentam-se as principais estatísticas descritivas do ITU para cada mês do ano, obtidas das 18436 observações provenientes da série histórica de 29 anos. Nessa Tabela pode-se constatar que os valores médios do citado índice ficaram no intervalo de alerta estabelecido por Rosenberg et al. (1983).

Pela própria Tabela deduz-se que os mínimos valores sempre foram inferiores a 72, entretanto, os máximos indicaram estado de emergência em pelo menos um dia de cada mês. O desvio padrão superior a 3,5 unidades mostra a elevada dispersão em relação à média, levando em consideração que as faixas de alerta e perigo possuem uma amplitude de 4 unidades. Esses valores concordam com o esperado e confirmam a alta variabilidade dos fatores climáticos durante todo o ano, principalmente a temperatura e a umidade relativa do ar.

A precisão das observações considerou-se média com base no coeficiente de variação. Porém, os reduzidos intervalos de confiança obtidos, cuja maior amplitude foi 0,6 para julho e agosto, indicaram adequada precisão na determinação do ITU para o nível de 95% de probabilidade (Tabela 1). O mencionado intervalo depende do número de observações, o qual foi superior a 1500 em todos os meses, isso representa aproximadamente 50 leituras para cada dia. Esses resultados permitem afirmar com suficiente confiabilidade que o ITU permaneceu classificado como alerta durante a maior parte do ano, isto é, apenas os meses de junho, julho e agosto ofereceram condições de conforto térmico.

TABELA 1 - Estatísticas descritivas do índice de temperatura e umidade (ITU) para cada mês da série histórica estudada.

Meses	Estatística descritiva do ITU					
	Médias	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Intervalo de confiança (95%)
Janeiro	75,87	68,83	88,23	3,54	4,66	±0,18
Fevereiro	76,09	68,86	86,63	3,62	4,76	±0,18
Março	76,29	68,01	86,46	3,76	4,93	±0,19
Abril	76,37	62,39	86,42	4,14	5,42	±0,21
Maio	74,21	59,61	85,79	5,09	6,86	±0,25
Junho	72,49	61,89	85,58	5,78	7,98	±0,29
Julho	72,01	59,62	85,40	6,07	8,43	±0,30
Agosto	73,56	58,13	88,40	5,99	8,15	±0,30
Setembro	76,70	63,58	90,18	5,27	6,87	±0,27
Outubro	77,62	68,17	90,44	4,45	5,74	±0,22
Novembro	76,63	68,76	88,08	3,74	4,88	±0,19
Dezembro	76,02	68,50	87,98	3,52	4,51	±0,17
Anual	75,62	58,13	90,44	4,51	5,97	±0,26

Deve-se destacar que os coeficientes de variação mensais obtidos neste estudo foram superiores ao valor de 3,64% determinado por Souza et al. (2016) para o índice de temperatura e umidade em seis microrregiões do Estado da Paraíba. Estas discrepâncias têm como causa principal o universo dos dados utilizados em cada pesquisa.

Neste trabalho analisou-se o índice de temperatura e umidade diário correspondente a três horários para uma série histórica de 29 anos, entretanto, no citado anteriormente, esse coeficiente correspondeu aos valores médios diários de quatro anos, o que poderia ter reduzido a variabilidade dos dados. O valor médio deste índice (75,62) indica uma situação de alerta em relação ao conforto térmico para as vacas leiteiras em Nova Xavantina (MT). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2016) em três microrregiões do Estado da Paraíba (Alto Sertão, Sertão e Litoral, com

valores de 75,61; 76,41 e 76,62, respectivamente). Lima et al. (2006) determinaram um valor médio anual para este índice igual a 74,6 para a região leiteira do Vale da Paraíba (SP), caracterizando uma situação sem estresse térmico, porém, de alerta. Turco et al. (2006) relataram estado de alerta na maior parte do Estado da Bahia durante os meses mais quentes do ano, com valores médios desse indicador térmico entre 73 e 77. Com base nesses trabalhos pode-se afirmar que o índice deve ser monitorado diariamente, pois apresenta elevada amplitude durante períodos longos, sendo os dados médios insuficientes para garantir o conforto ambiental adequado das vacas leiteiras.

Com o propósito de caracterizar o índice para Nova Xavantina, optou-se por representar o máximo valor do referido atributo, em função do dia do ano no calendário juliano (Figura 1).

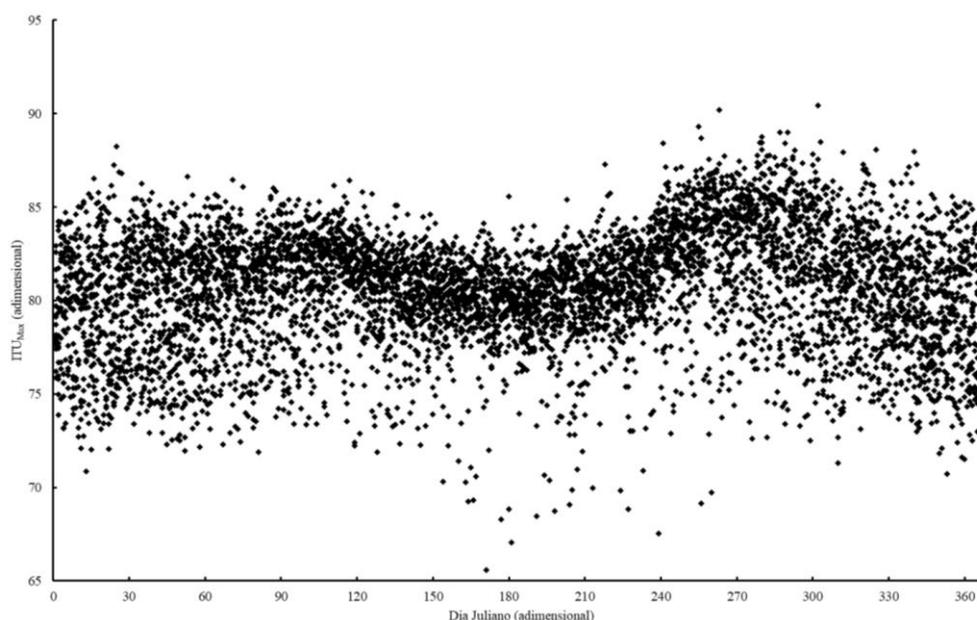


FIGURA 1 - Diagrama de dispersão com os valores do índice máximo de temperatura e umidade (ITU), em função do dia do ano para Nova Xavantina (MT), conforme a série histórica estudada.

Verificou-se que, em muitos dias, principalmente, durante setembro e outubro o ITU foi classificado na categoria de emergência, ou seja, foi maior do que 84, podendo levar a perdas consideráveis na produção leiteira e inclusive prejudicar a saúde do animal, de acordo com os relatos de Rodrigues et al. (2010), Almeida et al. (2013), Ricci et al. (2013) e Souza e Batista (2012).

Pode-se constatar também que, a maioria dos valores do ITU concentraram-se na faixa de perigo durante todo o ano, entre 78 e 84. Estes resultados demonstram que a previsão diária do ITU pode ser de grande valor para o planejamento e definição de ações no manejo do rebanho com a finalidade de amenizar o ambiente térmico.

De acordo como os critérios da bibliografia consultada, definiram-se e testaram-se diferentes arquiteturas de redes contendo até duas camadas intermediárias ou ocultas e cada uma possuindo como máximo oito neurônios, sendo avaliadas um total de 26

combinações. Entretanto, apenas seis apresentaram índices satisfatórios, dados pela pequena diferença entre os parâmetros obtidos por meio do programa, isto é, os índices de treinamento, seleção e teste (Tabela 2). Nesta Tabela observa-se que os referidos índices estão muito próximos, o que demonstra um eficiente desempenho das redes neurais artificiais, bem como uma adequada proporção no número de elementos que compõem os conjuntos de dados para as etapas de treinamento, seleção e teste.

Os menores valores para o erro médio e a raiz do erro quadrático médio corresponderam à primeira rede neural artificial, a qual está composta por um neurônio de entrada e outro de saída, bem como uma camada oculta com quatro neurônios. Por outro lado, essa arquitetura apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2), sendo inclusive superior a 0,81, valor mínimo recomendado por Georgens et al. (2014) para indicar uma

forte relação entre os valores observados e os estimados. Conforme essa Tabela deduz-se que o aumento do número de camadas ocultas e de neurônios não interferiu na

precisão, pois os melhores índices obtiveram-se com a rede 1 que possui apenas uma camada oculta.

TABELA 2 - Valores dos índices avaliados para cada arquitetura de rede neural artificial (RNA).

RNA	Arquitetura	Parâmetros do programa			Erro médio	R ²	RMSE*
		Treinamento	Seleção	Teste			
1	MLP 1:1-4-1:1	1,0021	0,9983	0,9976	0,0417	0,8359	4,6378
2	MLP 1:1-7-1:1	0,9218	0,9520	0,9508	-0,0449	0,6251	5,1763
3	MLP 1:1-2-1-1:1	0,9269	0,9600	0,9475	-0,0554	0,6038	5,2961
4	MLP 1:1-2-6-1:1	0,9363	0,9232	0,9586	0,0563	0,5712	5,3742
5	MLP 1:1-6-4-1:1	0,9759	0,9968	1,0326	0,0642	0,5461	5,5746
6	MLP 1:1-8-1-1:1	0,8397	0,9347	0,9343	-0,0678	0,5034	6,7314

*RMSE: Raiz do erro quadrático médio.

Estes resultados não concordam com as sugestões de Terra e Passador (2012), respeito do número de neurônios nas camadas, pois nenhum dos critérios propostos foi adequado aos dados do presente estudo. Entretanto, confirmaram-se as recomendações de Georgens et al. (2014). Os mesmos autores afirmaram que não existe um critério preciso para definir o número de neurônios nas camadas, sendo necessário o teste e

verificação de diversas redes por meio de tentativas. Considerando-se que a RNA 1 proporcionou os indicadores mais apropriados, somente essa arquitetura foi objeto de análise complementar gráfico e analítico para constatar a sua eficiência e confiabilidade. Assim, inicialmente elaboraram-se os histogramas de frequência e o diagrama dos resíduos como função do ITU estimado, ilustrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

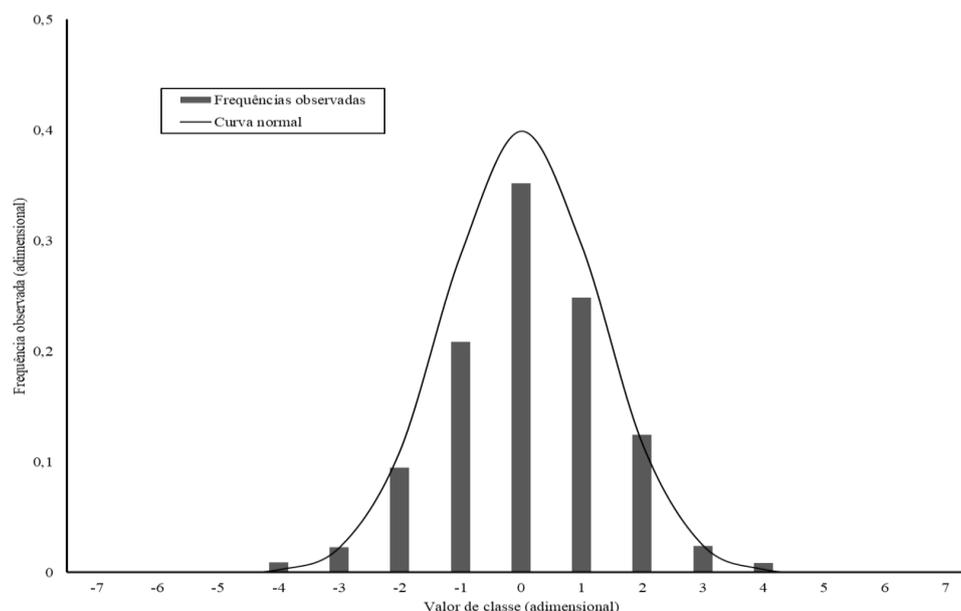


FIGURA 2 - Histograma de frequência relativa dos resíduos e curva normal para a RNA 1.

Na Figura 2 observa-se que as diferenças entre o Índice de Temperatura e Umidade observado e o estimado pelas redes neurais distribuíram-se com adequada simetria e próximos da curva normal, isto é, a maioria dos resíduos de pequena magnitude concentraram-se no centro, ao redor de zero e os restantes com valores mais elevados nos extremos. Essa característica do histograma de frequência em relação à normal constitui uma premissa fundamental

para definir critérios sobre a eficiência na predição das redes. Também, de acordo com a Figura 3 infere-se que não há relação entre os resíduos e o dia do ano que foi a variável independente considerada na rede elaborada, pois os pontos situaram-se aleatoriamente ao longo do eixo horizontal e não existem evidências de algum padrão de dependência funcional.

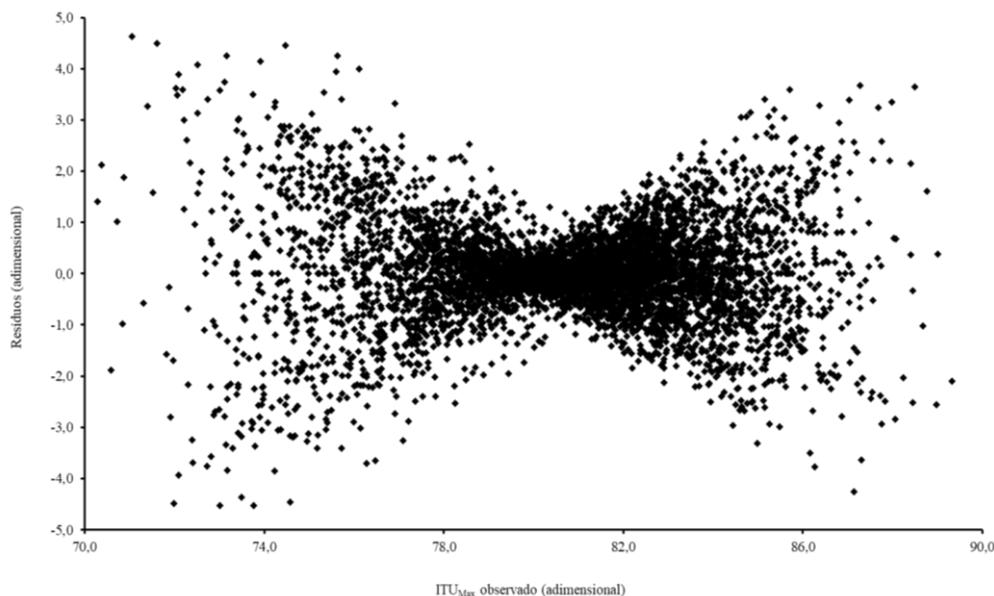


FIGURA 3 - Valores dos resíduos, em função do ITU máximo estimado para a RNA 1.

Embora a distribuição dos resíduos apresentou características de normalidade e não ficou evidenciado padrão de dependência funcional nos resíduos, a análise gráfica considera-se um procedimento subjetivo. Logo, verificou-se analiticamente a normalidade, conforme os testes de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk e o de aderência de Qui-Quadrado. Também, aplicou-se o teste t-Student para constatar que não há diferenças

estatísticas entre os valores observados e os estimados, bem como comprovou-se a eficiência das redes com base no índice de desempenho. Os resultados desses testes e critérios estatísticos constam na Tabela 3. Na mesma Tabela, os resíduos provenientes da RNA 1 (MPL 1:1-4-1:1) evidenciaram normalidade, conferindo maior confiabilidade à rede, tomando como referência os estudos de Torman et al. (2012) e Lopes et al. (2013).

TABELA 3 - Resultados dos testes e critérios estatísticos aplicados à rede neural artificial 1.

Testes ou critérios	Tipos	Estatísticas	Resultados
Kolmogorov-Smirnov	Normalidade	0,0981 ($p > 0,2$)	Não significativo
Lilliefors	Normalidade	$p > 0,2$	Não significativo
Shapiro-Wilk	Normalidade	0,9584 ($p = 0,0583$)	Não significativo
Qui-Quadrado	Aderência	17,05 ($p = 0,0732$)	Não significativo
Student (t)	Hipóteses	1,42 ($p = 0,0781$)	Não significativo
Coefficiente de correlação	Precisão da RNA	0,9142	Muito boa
Coefficiente de Willmott	Exatidão da RNA	0,9435	Excelente
Índice de desempenho	Qualidade do ajuste	0,8625	Muito boa

Também, o teste t-Student indicou que não existem diferenças entre os máximos valores do ITU observados e os estimados pela rede (Tabela 3). Nessa Tabela pode-se constatar que o coeficiente de correlação e o de concordância de Willmott superaram o valor mínimo de 0,7, sugerido por Terra e Passador (2012) e Georgens et al. (2014). Segundo os critérios de Paiva e Souza (2016), a precisão e a exatidão da rede neural classificaram-se, respectivamente, como muito adequada e excelente, sendo considerada muito boa a qualidade de ajuste. Assim, confirma-se a adequada confiabilidade da rede desenvolvida, o que justifica a sua aplicação para fins de planejamento e manejo do rebanho leiteiro.

O diagrama de dispersão com os valores médios do ITU máximo, em função do dia do ano no calendário juliano apresenta-se na Figura 4. Também, nessa Figura constam a curva de tendência correspondente à rede neural artificial obtida e os limites do intervalo de confiança para 5% de probabilidade de erro. De acordo com a referida Figura, os valores estimados pela rede acompanharam satisfatoriamente a tendência dos valores observados. Verifica-se, ainda, que a maioria dos valores observados se encontram entre os limites do intervalo de confiança, o que indica uma adequada precisão da rede para estimar o ITU máximo diário.

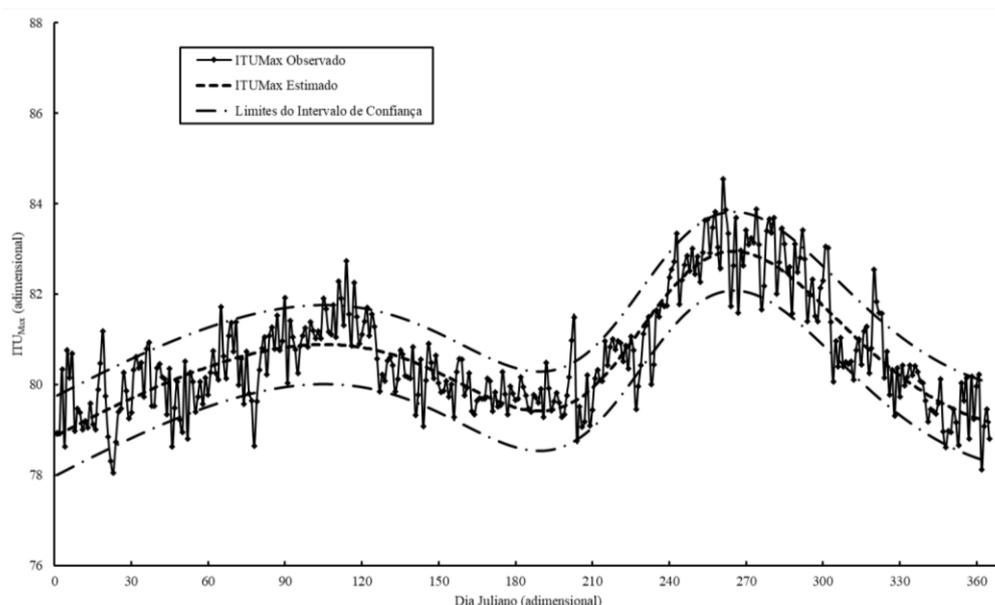


FIGURA 4 - Diagrama de dispersão com os valores médios observados e os estimados pela RNA1 do Índice de Temperatura e Umidade máximo para cada dia Juliano e os limites do intervalo de confiança.

Na Figura 5 representa-se o declínio da produção leiteira estimado pela rede neural, conforme o dia do ano para cada nível de produtividade. Pode-se constatar que, as perdas são maiores à medida que aumenta o nível de produção, acentuando-se nos meses de setembro e outubro. Essa tendência concorda com os resultados obtidos por Lima et al. (2006), Turco et al. (2006) e Souza et al. (2016). Considerando-se que a rede possibilita estimar o

ITU para qualquer dia do ano, ela pode auxiliar no planejamento de medidas simples para amenizar o ambiente térmico das vacas leiteiras. Como alternativas práticas e de baixo custo, Rodrigues et al. (2010), Bertoncelli et al. (2013) e Cerutti et al. (2013) relataram que o sombreamento natural ou artificial e a aspersão de água em instalações de ordenha melhoram significativamente os resultados produtivos.

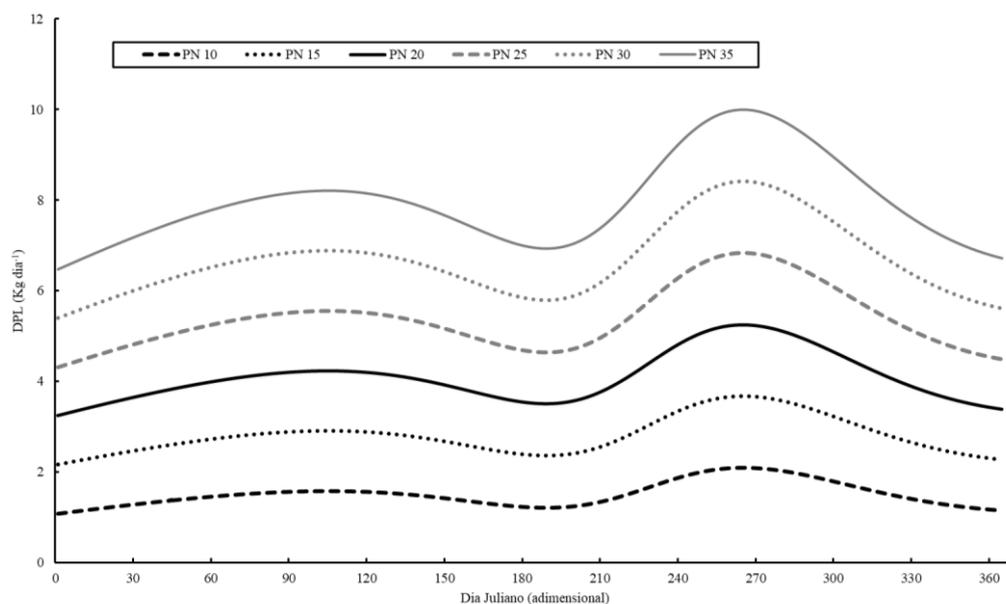


FIGURA 5 - Declínio da produção leiteira estimada pela rede, em função do dia Juliano.

Na Figura 5 verifica-se que o declínio na produção leiteira durante os meses de setembro e outubro pode variar entre 4 e 6 kg vaca⁻¹ dia⁻¹ para vacas com nível de produção de 20 kg dia⁻¹. Esses resultados concordam com os obtidos por Oliveira et al. (2017), avaliando o

zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado do Rio Grande do Sul.

Oliveira et al. (2018), estudando cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira

no sul do Brasil, observou perdas próximas de 6 kg dia⁻¹ para vacas com o citado nível.

Em decorrência dessas pesquisas pode-se afirmar que as redes desenvolvidas foram eficientes para prever o declínio da produção leiteira com adequada precisão e confiabilidade.

CONCLUSÕES

As redes neurais artificiais de múltiplas camadas do tipo perceptron estimaram o ITU satisfatoriamente.

Também, foi possível definir e verificar uma arquitetura apropriada para determinar o ITU, em função do dia juliano do ano.

As redes desenvolvidas apresentaram adequada confiabilidade e precisão nas previsões, o que justifica a sua aplicação.

As redes neurais obtidas podem ser uma útil ferramenta no manejo de vacas leiteiras e no planejamento de medidas para amenizar o ambiente térmico das salas de ordenha.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por permitir a utilização do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa das estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.L.P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S.B.P.; PEREIRA, D.F.; GUSELINI, C.; ALMEIDA, G.A.P. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.8, p.892-899, 2013.

ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; OLIVEIRA, P.T.S.; REBUCCI, L.C.S.; PERTUSSATTI, C.A. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.197-203, 2011.

BERTONCELLI, P.; MARTIN, T.N.; ZIECH, M.F.; PARIS, W.; CELLA, P.S. Conforto térmico alterando a produção leiteira. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.762-777, 2013.

BILGILI, M.; SAHIN, B. Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind speed prediction. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.109, n.1, p.61-72, 2010.

CARVALHO, D.F.; KHOURY JÚNIOR, J.K.; VARELLA, C.A.A.; GIORI, J.Z.; MACHADO, R.L. Rainfall erosivity for the state of Rio de Janeiro estimated by artificial neural network. **Revista Engenharia Agrícola**, v.32, n.1, p.197-207, 2012.

CERUTTI, W.G.; BERMUDEZ, R.F.; VIEGAS, J.; MARTINS, C.M.M.R. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.3, p.406-412, 2013.

GEORGENS, E.B.; LEITE, H.G.; GLERIANI, J.M.; SOARES, C.P.B.; CEOLIN, A. Influência da arquitetura na estimativa de volume de árvores individuais por meio de redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.289-295, 2014.

HAHN, G. **Bioclimatologia e instalações zootécnicas**: aspectos teóricos e aplicados. São Paulo: FUNEP, 1993. 28p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/porta/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

LIMA, K.A.O.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; PERISSINOTO, M.; SOUZA, S.R.L. Avaliação bioclimatológica da bacia leiteira do Vale do Paraíba-SP utilizando o ITU. **Veterinária Notícias**, v.12, n.2 (sup.), p.31, 2006.

LOPES, M.M.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; SOARES, J.B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Revista Transportes**, v.21, n.1, p.59-66, 2013.

OLIVEIRA, Z.B.; BOTTEGA, E.L.; KNIES, A.E.; OLIVEIRA, M.B.; SOUZA, I.J. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Energia na Agricultura**, v.32, n.3, p.221-228, 2017.

OLIVEIRA, Z.B.; SILVA, C.M.; SOUZA, I.J.; LINK, T.T.; BOTTEGA, E.L. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira no sul do Brasil. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.12, n.2, p.110-121, 2018.

PAIVA, C.M.; SOUZA, A.S.P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo da irrigação. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.39, n.1, p.42-51, 2016.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p.1633-1644, 2007.

PERISSINOTTO, M.; CRUZ, V.F.; PEREIRA, A.; MOURA, D.J. Influência das condições ambientais na produção de leite da vacaria da Mitra. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.143-149, 2007.

RICCI, G.; ORSI, A.M.; DOMINGUES, P.F. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite - Revisão. **Revista Veterinária e Zootecnia**, v.20, n.3, p.381-390, 2013.

RODRIGUES, A.L.; SOUZA, B.; PEREIRA FILHO, J.M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.6, n.2, p.14-22, 2010.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate**: the biological environment. New York: John Wiley, 1983. 495p.

- SANTOS, D.S.; ARCE, A.I.C.; PIZA, L.V.; SILVA, A.C.S.; COSTA, E.J.X.; TECH, A.R.B. Redes bluetooth associadas a redes neurais artificiais para monitoramento de suínos. **Revista Archivos de Zootecnia**, v.65, n.252, p.557-563, 2016.
- SOUZA, B.B.; BATISTA, N.L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.3, p.6-10, 2012.
- SOUZA, B.B.; SILVA, I.J.O.; MELLACE, E.M.; SANTOS, R.F.S.; ZOTTI, C.A.; GARCIA, P.R. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.6, n.2, p.59-65, 2010.
- SOUZA, B.B.; SILVA, G.A.; SILVA, E.M.N. Índice de conforto térmico para vacas leiteiras em diferentes microrregiões do estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v.4, n.1, p.12-16, 2016.
- STATSOFT. Software Statistica. Statsoft, v.8.0, 2007.
- TERRA, L.A.A.; PASSADOR, J.L. Redes neurais artificiais na previsão da inflação: aplicação como ferramenta de apoio à análise de decisões financeiras em organizações de pequeno porte. **Revista de Administração Mackenzie**, v.13, n.1, p.68-86, 2012.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Revista Weatherwise**, v.12, n.2, p.57-61, 1959.
- TORMAN, V.B.L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v.32, n.2, p.227-234, 2012.
- TURCO, S.H.N.; SILVA, T.G.F.; SANTOS, L.F.C.; RIBEIRO, P.H.B.; ARAÚJO, G.G.L.; HOLANDA JR, E.V.; AGUIAR, M.A. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no Estado da Bahia. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.20-27, 2006.
- VALENTE, G.F.S.; GUIMARÃES, D.C.; GASPARDI, A.L.A.; OLIVEIRA, L.A. Aplicação de redes neurais artificiais como teste de detecção de fraude de leite por adição de soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.69, n.6, p.425-432, 2014.
- VENTURA, R.V.; SILVA, M.A.; MEDEIROS, T.H.; DIONELLO, N.L.; MADALENA, F.E.; FRIDRICH, A.B.; VALENTE, B.D.; SANTOS, G.G.; FREITAS, L.S.; WENCESLAU, R.R.; FELIPE, V.P.S.; CORRÊA, G.S. Uso de redes neurais artificiais na predição de valores genéticos para peso aos 205 dias em bovinos da raça Tabapuã. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.2, p.411-418, 2012.
- WU, C.L.; CHAU, K.W.; FAN, C. Prediction of Rainfall Time Series Using Modular Artificial Neural Networks Coupled with Data-Preprocessing Techniques. **Journal of Hydrology**, v.389, n.1, p.146-167, 2010.
- YASAR, A.; SIMSEK, E.; BILGILI, M.; YUCEL, A. Estimation of relative humidity based on artificial neural network approach in the Aegean Region of Turkey. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.115, n.1-2, p. 81-87, 2012.