

# CURVAS DE LACTAÇÃO DE FÊMEAS MESTIÇAS TAURINO X ZEBU<sup>1</sup>

MIKAELE ALEXANDRE PEREIRA<sup>2\*</sup>, MADALENA LIMA MENEZES<sup>2</sup>, VERONALDO SOUZA DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, MARIANA SANTOS LIMA<sup>3</sup>, CAMILA THIARA GOMES CARVALHO<sup>4</sup>, ANSELMO DOMINGOS FERREIRA SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 19/01/2016. Aceito para publicação em 15/06/2016.

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, SP, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil

\*Autor correspondente: mika@usp.br

RESUMO: Objetivou-se comparar equações matemáticas descritas na literatura, identificar a que melhor descreve a produção de leite e estimar alguns componentes da curva de lactação de vacas de alta variabilidade genética, resultante de cruzamento taurino (*Bos taurus*) x zebuino (*Bos indicus*), em sistema de produção semi-extensivo em Sergipe. Foram utilizados 1496 registros de produção de leite. Os controles leiteiros foram realizados em intervalos de 30 dias no período de 2011 a 2012. O ajuste foi feito para a curva média, fazendo-se o uso de quatro modelos matemáticos: modelo de NELDER, 1966 (ND), WOOD, 1967 (WD), BIANCHINI SOBRINHO, 1984 (BS) e WILMINK, 1987 (WK). Os critérios utilizados para verificar a qualidade do ajuste para cada função foram: coeficiente de determinação ajustado ( $R_a^2$ ), gráfico de distribuição dos resíduos e porcentagem de desvios entre a produção observada e as estimadas. Os valores médios de  $R_a^2$  foram maiores que 0,80 para os modelos empregados, exceto para o modelo WK. Todas as curvas apresentaram padrões típicos. As funções WD e WK subestimaram a produção de leite acumulada aos 305 dias e apresentaram maiores desvios em relação à produção observada. As demais funções apresentaram comportamento semelhante no gráfico de distribuição dos resíduos, no entanto, função polinomial inversa (ND) proporcionou melhor estimativa das variáveis que compõem a curva de lactação de vacas provenientes de cruzamentos de *Bos taurus* x *Bos indicus*.

Palavras-chave: cruzamentos, modelagem, modelos matemáticos, produção de leite.

## LACTATION CURVES OF CROSSBRED TAURINE X ZEBU COWS

ABSTRACT: The objective of this study was to compare mathematical equations described in the literature, to identify the equation that best describes milk yield, and to estimate some components of the lactation curve of cows of high genetic variability resulting from the crossing of taurine (*Bos taurus*) and Zebu animals (*Bos indicus*), raised in a semi-intensive production system in Sergipe. A total of 1,496 milk yield records were used. Test-day milk yields were obtained at intervals of 30 days from 2011 to 2012. The following four mathematical models were applied to fit the average curve: model of NELDER, 1966 (ND), WOOD, 1967 (WD), BIANCHINI SOBRINHO, 1984 (BS) and WILMINK, 1987 (WK). The criteria used to verify the goodness-of-fit of each function were the adjusted coefficient of determination ( $R_a^2$ ), residual plot, and percentage of deviation between observed and expected production. The mean  $R_a^2$  values were higher than 0.80 for the models used, except for the WK model. All curves exhibited typical patterns. The WD and WK functions underestimated 305-day cumulative milk yield and presented greater deviations from the observed production. The remaining functions exhibited a similar trend in the residual plot. However, the inverse polynomial function (ND) provided better estimates of the variables that comprise the lactation curve of cows resulting from crossings of *Bos taurus* x *Bos indicus* animals.

Keywords: crossings, mathematical models, milk yield, modeling.

## INTRODUÇÃO

Em condições tropicais, a criação de animais mestiços visa otimizar as melhores características de produção de cada grupo genético. Ao considerar a utilização de cruzamentos para produção de leite, é necessária análise do desempenho dos animais, e uma das principais ferramentas para predizer o desempenho é a curva de lactação.

Na curva de lactação típica são encontradas três fases: 1) produção inicial, fase crescente que se estende do parto ao pico; 2) pico de produção, produção máxima observada durante a lactação e normalmente ocorre na oitava semana; 3) fase de declínio, que se estende até o final da produção (REBOUÇAS *et al.*, 2008). Vacas zebuínas ou mestiças apresentam curvas de lactação iniciando no pico de produção, ou sem a fase de inclinação do parto ao pico. Desta forma, esta curva é caracterizada por duas fases: produção inicial e de declínio da produção, ambas influenciadas por fatores genéticos e ambientais (COBUCI *et al.*, 2001).

Para descrever o comportamento da produção de leite durante a lactação têm sido propostos vários modelos matemáticos. As primeiras tentativas matemáticas para representar a curva de lactação foram feitas por BRODY *et al.* (1923) e BRODY *et al.* (1924). No entanto, somente após o desenvolvimento do modelo proposto por WOOD (1967) foram utilizados modelos de curva de lactação com maior frequência. Desde então, muitos pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos empíricos (COBBY e LE DU, 1978; WILMINK, 1987) ou mecanicistas (ROOK *et al.*, 1993; DIJKSTRA *et al.*, 1997; POLLOTT, 2000).

Modelos matemáticos empíricos de curvas de lactação são funções regulares  $y = f(t)$ , definidas para valores positivos da produção diária de leite ( $y$ ) e tempo em lactação ( $t$ ), utilizada na produção de animais leiteiros para fins de reprodução e gestão (MACIOTTA *et al.*, 2005). Estes modelos representam ferramenta de pesquisa essencial no desenvolvimento e validação de modelos mecanicistas, que visam explicar as principais características do padrão de produção de leite, em termos da biologia conhecida da glândula mamária durante a prenhez e a lactação (NEAL e THORNLEY, 1983). No entanto, é aconselhável encontrar a função matemática que descreve com maior eficiência a curva de lactação para cada circunstância de produção (RAMÍREZ *et al.*, 2004; MACCIOTTA *et al.*, 2011).

Alguns parâmetros práticos são calculados a partir do modelo utilizado para estimar a curva de

lactação do rebanho. Estes parâmetros são: tempo de pico, produção no pico e persistência. O pico de produção determina o potencial produtivo do animal durante a lactação, pois a cada quilograma adicional no pico tem-se de 150 a 300 kg na produção total (SANTOS *et al.*, 2001). No entanto, a persistência de lactação, definida como a capacidade da vaca em manter sua produção de leite após atingir sua produção máxima na lactação, é a característica de maior importância, uma vez que está diretamente associada a fatores econômicos da produção leiteira (CRUZ *et al.*, 2016).

Objetivou-se com o presente trabalho comparar funções matemáticas citadas na literatura, identificar a que melhor descreve a produção de leite e estimar alguns componentes da curva média de lactação de vacas mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) criadas na região semiárida do estado de Sergipe.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de 1496 controles de produção de leite de bovinos leiteiros mestiços pertencentes a diferentes grupos, sem grau de endogamia definido devido à falta de controle zootécnico existente anteriormente ao início deste estudo, de alta variabilidade genética (*Bos taurus* x *Bos indicus*), com maior predominância de Holandês x Gir. As vacas foram provenientes de cinco propriedades (respectivamente com 32, 28, 27, 16 e 9 vacas) do município de Nossa Senhora da Glória, SE, e foram controladas durante o período de 2011 a 2012. A região está localizada na microrregião do sertão do São Francisco, a 10°12'57" de latitude sul e 37°25'09" de longitude oeste, com altitude de 300 metros. O município está incluído no polígono das secas, apresenta clima do tipo megatérmico semiárido, temperatura média anual de 24,2°C e precipitação pluviométrica média no ano de 701,4 mm (BOMFIM *et al.*, 2002), caracterizado por apresentar curta estação chuvosa e estação seca prolongada, acima de oito meses.

O sistema de ordenha adotado na maioria das propriedades foi manual, com a presença do bezerro. Os animais em lactação foram mantidos em pastagem nativa durante todo ano, com acesso ao concentrado duas vezes ao dia, formulado de acordo com as exigências do rebanho, com base no NRC (2001). Durante o período das secas, os animais receberam suplementação de volumoso. O sistema de produção adotado nas propriedades é definido como semi-extensivo de acordo com classificação estabelecida por ASSIS *et al.* (2005).

O controle leiteiro foi realizado a cada 30 dias, em duas ordenhas diárias, com intervalo de 12 horas entre as ordenhas. A produção de leite foi anotada em fichas de coletas e em seguida lançadas de forma individual em programa de gerenciamento agropecuário, onde são gerados relatórios produtivos e reprodutivos de cada animal. Os dias em lactação, intervalo de dias entre o dia do parto e o dia do controle de lactação foram convertidos em semanas em lactação, e a partir deste ponto os dados foram classificados em 52 semanas, de acordo com o tempo em lactação.

Quatro funções matemáticas (COBUCI *et al.*, 2000; EL FARO e ALBUQUERQUE, 2002; MACCIOTA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2009; VADILLO *et al.*, 2012) foram utilizadas para ajustar a curva média das lactações (Tabela 1), nos quais o  $y_t$  representa a produção de leite;  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros a serem estimados; e  $t$  é o período de tempo (em semana) após o parto.

Embora os símbolos utilizados para representar os parâmetros das funções sejam idênticos, não possuem interpretação matemática ou biológica similar. Assim, nos modelos aplicados existem variações quanto ao significado de seus parâmetros e da representação de informações sobre o pico de produção e o tempo do pico.

Na função polinomial inversa de NELDER (1966) o  $y_t$  é a produção de leite na semana,  $b$  é o fator associado a inclinação da curva que expressa a fase ao redor do pico da lactação,  $c$  é o parâmetro de estimação definindo a persistência de lactação, e  $t$  é o tempo de lactação em semanas. No modelo gama incompleta de WOOD (1967) tem-se que  $y_t$  é a produção de leite na semana  $t$ ;  $a$  é o parâmetro relacionado à produção inicial de leite;  $b$  define a taxa de ascensão média na fase pré-pico de produção; e  $c$  indica a taxa média de declínio da produção após o pico, sendo que  $exp$  é a base dos algoritmos naturais (2,1782). Na função linear hiperbólica ou modelo de BIANCHINI SOBRINHO (1984),  $y_t$  é a produção de leite diária na semana  $t$ ;  $a$ , a produção média no início da lactação;  $b$  é definida como taxa média de ascensão;

e  $c$  a taxa média de declínio da produção após o pico. O modelo exponencial de WILMINK (1987) é modificação do modelo de COBBY e LE DU (1978), em que  $a$  está relacionado com a produção de leite antes do pico da lactação,  $c$  representa o decréscimo da produção após o pico de lactação e é associado ao dia de pico. Esta função apresenta o tempo ao pico com valor fixo acontecendo ao 50º dia de lactação.

As estimativas dos parâmetros foram obtidas pelo processo iterativo de Gauss-Newton, utilizando-se o procedimento *nls* do pacote *stats* contido no *software* R (R Core Team, 2013). As estimativas iniciais, necessárias para a obtenção das estimativas dos parâmetros por meio do processo iterativo, foram obtidas na literatura.

Os procedimentos estatísticos utilizados na escolha da melhor função basearam-se no trabalho desenvolvido por CRUZ *et al.* (2009): coeficiente de determinação ajustado; gráfico de distribuição dos resíduos; desvios entre as produções acumuladas observadas aos 305 dias ( $PL_{305}$ ) e estimada aos 305 dias ( $PLE_{305}$ ).

Os desvios (%) são dados por:

$$(PL_{305} - PLE_{305}) \times 100 / PL_{305}, \text{ sendo:}$$

$$PL_{305} = [C_1 E_1 F_1 + \sum [(C_i + C_{i-1}) / 2] E_i E_n \times (C_n F_n)],$$

em que:  $C_1$  designa a média de kg de leite no primeiro dia do controle da lactação;  $E_1$ , média do intervalo de dias da data do parto e a data do primeiro dia do controle da lactação;  $F_1$ , fator de correção (valor tabelado, de acordo com o  $E_1$  e a média de idade, em anos, das matrizes em lactação);  $C_i$ , kg de leite obtidos em cada controle de lactação;  $E_i$ , intervalo entre as datas de dois controles consecutivos;  $C_n$ , kg de leite obtido em cada controle anterior;  $E_n$ , média do intervalo de dias da data do último controle leiteiro e data de secagem do animal (DIAS, 2011).  $PLE_{305}$  representa a produção acumulada estimada aos 305 dias obtida por meio do somatório das produções estimadas em cada dia até os 305 dias (CRUZ *et al.*, 2009).

**Tabela 1. Funções utilizadas para modelar a produção de leite**

| Autor                     | Função                         | Nome               | Sigla |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------|-------|
| NELDER (1966)             | $y_t = t(a + bt + ct^2)^{-1}$  | Polinomial Inversa | ND    |
| WOOD (1967)               | $y_t = at^b \exp^{-ct}$        | Gama Incompleta    | WD    |
| BIANCHINI SOBRINHO (1984) | $y_t = a + bt + ct^{-1}$       | Linear Hiperbólica | BS    |
| WILMINK (1987)            | $y_t = a + be^{(-0,05t)} + ct$ | Exponencial        | WK    |

Os critérios de interpretação biológica para escolha do melhor modelo foram: as produções de leite iniciais (PLI) que se referem às produções obtidas no dia um, estimadas pelos modelos de ajuste (Tabela 1); e os componentes das curvas: tempo de pico (TP), pico da produção (PP) e persistência de lactação (S), estimados para cada modelo ajustado, por meio das equações contidas na Tabela 2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média de duração da lactação foi 42,15 semanas com percentual aproximado de 25,42% dos animais encerrando a lactação neste período. No período de 52 semanas de lactação, o percentual de animais encerrando a lactação foi 6,21%.

A curva média de lactação dos rebanhos estudados está apresentada na Figura 1. A produção inicial de leite foi 14,31 kg. O pico da produção ocorreu na quarta semana de lactação com 18,78 kg de leite. Observa-se que a produção apresentou aumento na segunda semana e finalizou próximo da décima semana. A duração média foi de 295,02 dias, e a  $PL_{305}$  de 4.152,76 kg. A curva média observada no presente estudo diverge das curvas obtidas por GLÓRIA *et al.* (2010) em vacas F1, Holandês x Gir e Holandês x azebuadas, e por CRUZ *et al.* (2009) ao analisar curvas de lactação de fêmeas zebuínas, as quais apresentaram formato com tendência linear, com pico de produção no início da lactação, e propensão de queda contínua na produção diária.

Os valores do coeficiente de determinação ajustados ( $R_a^2$ ) variaram entre 0,65 e 0,90 (Tabela 3), indicando obtenção de boas estimativas. De acordo com RIBEIRO (1997), funções com coeficientes de determinação ajustados menores que 50% apresentam deficiência de ajuste, no entanto, EL FARO e ALBUQUERQUE (2002) têm preconizado bons ajustes quando o  $R_a^2$  for maior que 0,80. Esta ferramenta estatística indica quanto da variação

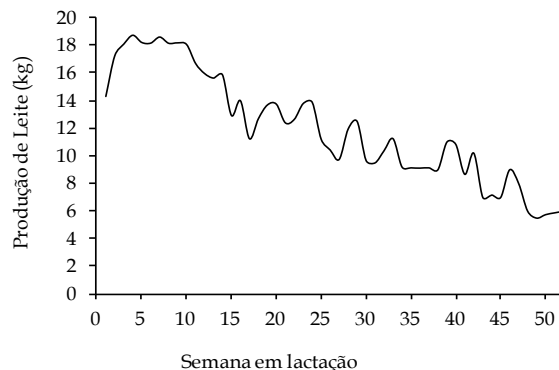


Figura 1. Curva de lactação média observada.

total foi explicada pelo modelo de regressão. Os valores estimados para os  $R_a^2$  observados foram superiores aos obtidos por COBUCI *et al.* (2000), quando estimaram as curvas de lactação de fêmeas da raça Guzerá pelos modelos ND (0,52) e BS (0,50). É importante salientar que em condições de sistema semi-extensivo de produção de leite, a variabilidade genética encontrada nos rebanhos é alta, portanto é necessário o conhecimento a respeito do desempenho produtivo desses animais de uma forma geral.

Os valores estimados dos parâmetros nas equações propostas (Tabela 2) indicam que todas as curvas estimadas se comportaram de forma típica. A função ND estimou parâmetros  $b$  e  $c$  semelhantes aos relatados por CRUZ *et al.* (2009) ao estudar curvas de lactação em raças zebuínas, resultando em valores positivos e próximos a zero. Este modelo também apresentou o maior valor de  $R_a^2$  (0,90).

Valores positivos dos parâmetros  $b$  e  $c$  foram estimados para o modelo WD de acordo com EL FARO e ALBUQUERQUE (2002). Curvas típicas deste modelo ocorrem para valores positivos dos parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$ , sendo o parâmetro  $b$  contido dentro do intervalo de 0 e 1, e  $a$  sempre maior que 0 (VADILLO *et al.*, 2012). Os valores de  $b$  e  $c$  no modelo BS foram negativos;

Tabela 2. Estimativas das variáveis de tempo de pico, pico da produção e persistência de lactação de acordo com as funções polinomial inversa (ND), gama incompleta (WD), linear hiperbólica (BS) e exponencial (WK)

| Função <sup>1</sup> | TP <sup>2</sup>   | PP <sup>3</sup>       | S <sup>4</sup> |
|---------------------|-------------------|-----------------------|----------------|
| ND                  | $(a/c)^{0,5}$     | $1/[2(ac)^{0,5} + b]$ | -              |
| WD                  | $b/c$             | $a(b/c)^b e^{-b}$     | $-(b+1)\ln c$  |
| BS                  | $\sqrt{b/c}$      | $a + 2\sqrt{b/c}$     | -              |
| WK                  | $a(b/c)^b e^{-b}$ | -                     | -              |

<sup>1</sup>ND: Nelder (1966); WD: Wood (1967); BS: Bianchini Sobrinho (1984); WK: Wilmink (1987). <sup>2</sup>Tempo de pico. <sup>3</sup>Pico de produção. <sup>4</sup>Persistência de lactação.



Tabela 3. Parâmetros médios (a, b e c) e coeficientes de determinação ajustados ( $R_a^2$ ) das funções utilizadas para descrever as lactações

| Item    | Função <sup>1</sup> |                 |                |                |
|---------|---------------------|-----------------|----------------|----------------|
|         | ND                  | WD              | BS             | WK             |
| a       | 0,033 ± 0,0027      | 15,887 ± 0,316  | 21,306 ± 0,246 | 29,114 ± 1,578 |
| b       | 0,038 ± 0,001       | 0,203 ± 0,017   | -0,333 ± 0,014 | -11,56 ± 1,807 |
| c       | 0,0017 ± 0,0001     | 0,0373 ± 0,0022 | -6,551 ± 0,551 | -0,49 ± 0,041  |
| $R_a^2$ | 0,90                | 0,88            | 0,86           | 0,65           |
| CV (%)  | 31,41               | 36,17           | 36,71          | 32,19          |

<sup>1</sup>ND: NELDER (1966); WD: WOOD (1967); BS: BIANCHINI SOBRINHO (1984); WK: WILMINK (1987).

desta maneira o pico da lactação estimado pôde ser mensurado.

Para o modelo WK, a curva apresenta formato padrão quando os valores de b e c são negativos (MACCIOTA *et al.*, 2005). No entanto, no presente estudo este modelo apresentou menor valor de  $R_a^2$  (0,65), inferior ao preconizado como de ajuste adequado.

Com base nos dados apresentados na Tabela 3 e na Figura 2, observa-se que as equações de ND, WD e BS obtiveram  $R_a^2 > 0,85$ , ajustando-se à curva observada. A função de WK não obteve bons ajustes, entretanto foi a única função com  $R_a^2$  com valor inferior (0,65). De acordo com a literatura, bons ajustes são alcançados quando os modelos não lineares apresentam valores de  $R_a^2$  igual ou superior a 0,80.

As estimativas das funções para produção de leite inicial, tempo ao pico, produção no pico, persistência, produção de leite acumulada estimada aos 305 dias I, TP, PP, S, PL305 e desvio são apresentadas na Tabela 4. As produções iniciais estimadas pelos modelos ND (13,85 kg) e BS (14,42 kg) aproximaram-se da observada (14,31 kg), contudo os modelos WD (15,30 kg) e WK (17,69 kg) superestimaram esta característica. Com exceção da função exponencial WK, todas as outras estimaram o tempo de pico da lactação em: 4,33, 5,45 e 0,23 semanas, respectivamente para ND, WD e BS, notando-se que WD superestimou, enquanto que BS subestimou esta variável. A função ND apresentou valor de 4,33 semanas, tempo este igual ao observado que foi de quatro semanas. Glória *et al.* (2010) estimaram tempo ao pico médio para rebanho F1 Holandês x Gir de 3,2 semanas.

Uma característica das vacas mestiças é o aumento rápido de produção nas primeiras semanas após a lactação (COELHO *et al.*, 2013). Ao considerar o comportamento da curva de lactação de vacas mestiças, verifica-se que o pico ocorre até a quarta semana de lactação, em média, duas semanas antes

do pico das vacas de raças especializadas de origem europeia (BORGES *et al.*, 2015).

As estimativas obtidas da produção no pico foram superiores às encontradas na literatura para grupo de animais zebuínos e mestiço de europeu com zebu (EL FARO *et al.*, 1999; EL FARO e ALBUQUERQUE, 2002; CRUZ *et al.*, 2009; GLÓRIA *et al.*, 2010; VADILLO *et al.*, 2012). Apenas a função WD foi capaz de estimar a persistência, e com resultado inferior ao observado e aos valores relatados pelos autores supracitados (Tabela 4). GENGLER *et al.* (1995) citam como mais persistente a vaca que, comparada com outra de produção equivalente, possui pico mais baixo e, por conseguinte, curva de lactação mais achatada. Este fato resulta na distribuição mais equilibrada da produção de leite no decorrer da lactação. Esta explicação não concorda com os dados obtidos neste trabalho, em que a curva média apresentou maior pico e menor persistência.

Os valores de desvio entre as produções acumuladas observadas e estimadas, aos 305 dias de lactação de WD (4,85%) e WK (4,48%) foram os maiores entre as quatro equações, sendo que estas duas subestimaram a  $PLE_{305}$  em 201,41 e 186,52 kg de leite, respectivamente. Os modelos ND (2,08%) e BS (2,52%) obtiveram os menores desvios e consequentemente as estimativas mais próximas de  $PLE_{305}$  4066,25 e 4048,26 kg, respectivamente, à  $PL_{305}$  (4152,76 kg). A produção de leite acumulada é característica de grande relevância econômica, apresentando valores próximos aos reais. Estimativas distorcidas da realidade levam a tomadas de decisões equivocadas, acarretando em perdas econômicas.

A distribuição dos resíduos (Figura 3) demonstra o comportamento das estimativas em relação aos valores observados. Os modelos WD e BS apresentaram distribuições de resíduos menos uniforme, entretanto o modelo ND gerou resíduos com melhor distribuição no decorrer da lactação, embora tenha superestimado as produções no final

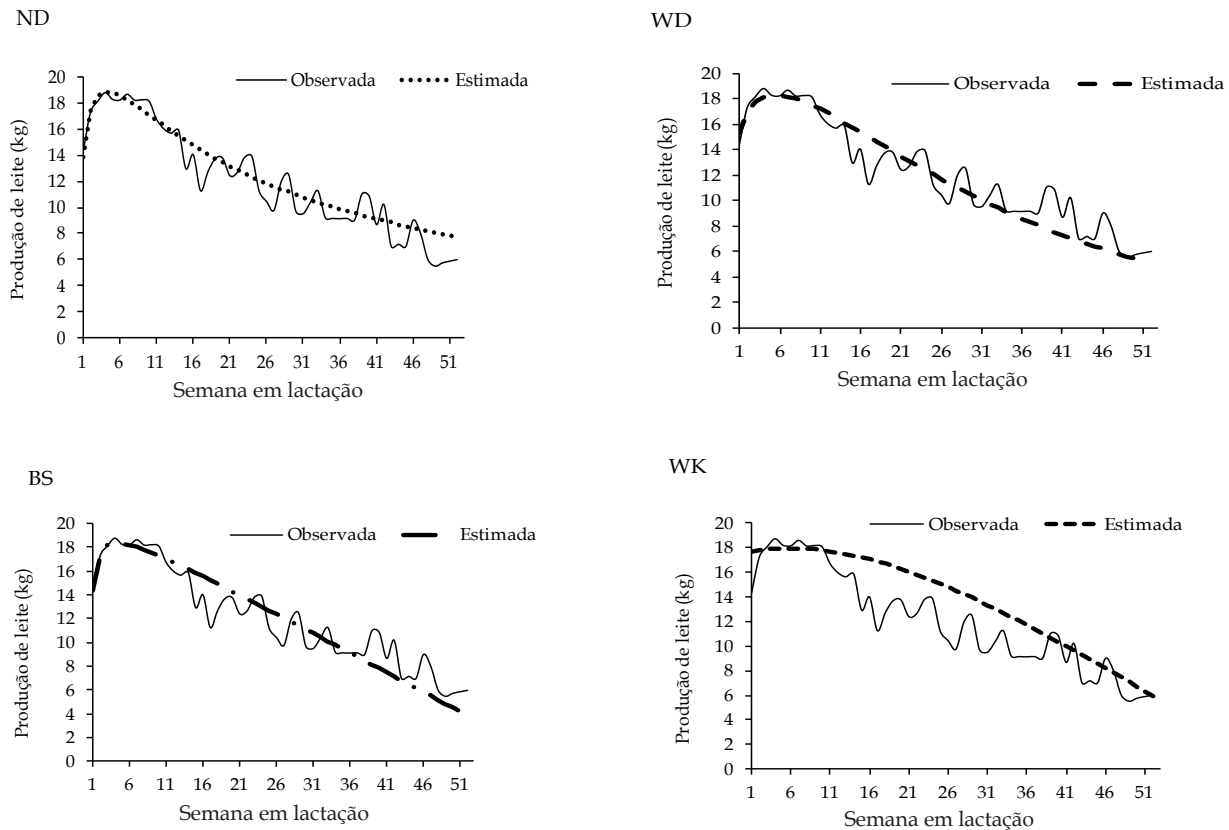


Figura 2. Curvas de lactação observadas em comparação com as estimadas pelas funções ND (Nelder, 1966), WD (Wood, 1967), BS (Bianchini Sobrinho, 1984) e WK (Wilmink, 1978).

Tabela 4. Equação média, variáveis estimadas que descrevem a forma da curva de lactação e desvios (%), obtidos de acordo com os dados médios dos rebanhos

| Função  | Variável <sup>1</sup> |                |            |               |                            |               |
|---|-----------------------|----------------|------------|---------------|----------------------------|---------------|
|   | PLI<br>(kg)           | TP<br>(semana) | PP<br>(kg) | S<br>(semana) | PLE <sub>305</sub><br>(kg) | Desvio<br>(%) |
| ND $y_t = t(0,033 + 0,038t + 0,0017t^2)^{-1}$ | 13,85                 | 4,33           | 18,89      | -             | 4.066,25                   | 2,08          |
| WD $y_t = 15,887t^{0,203} \exp^{-0,0373t}$    | 15,3                  | 5,45           | 18,3       | 3,96          | 3.951,35                   | 4,85          |
| BS $y_t = 21,306 - 0,333t - 6,551t^{-1}$      | 14,42                 | 0,23           | 21,76      | -             | 4.048,26                   | 2,52          |
| WK $y_t = 29,114 - 11,5e^{(-0,05t)} - 0,49t$  | 17,69                 | -              | -          | -             | 3.966,43                   | 4,48          |
| Observado                                     | 14,31                 | 4,00           | 18,78      | -             | -                          | -             |

<sup>1</sup>PLI: produção de leite inicial; TP: tempo ao pico; PP: produção no pico; S: persistência; PLE<sub>305</sub>: produção de leite acumulada estimada aos 305 dias.

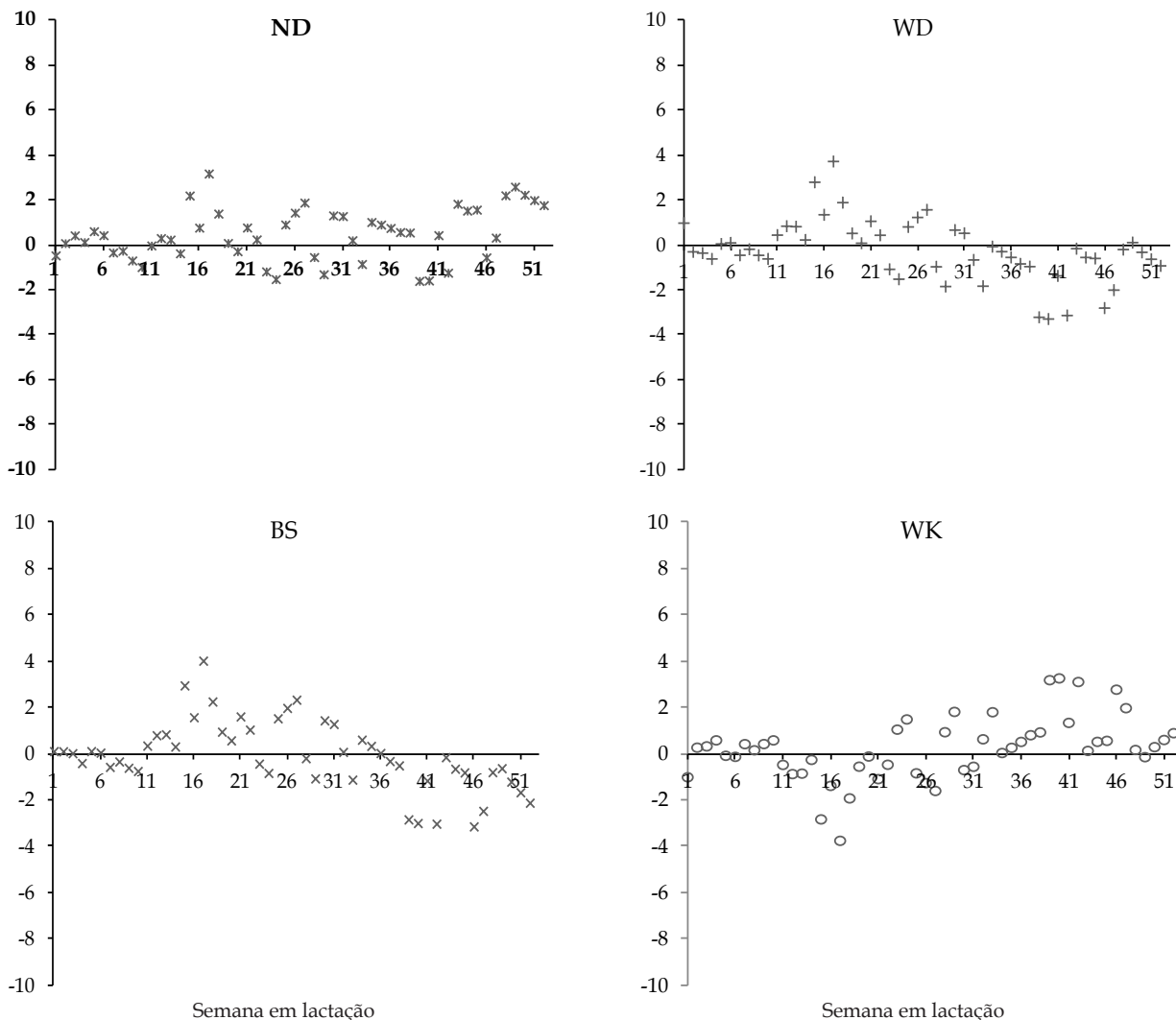


Figura 3. Distribuição dos resíduos para as produções de leite estimadas pelas funções ND (NELDER, 1966), WD (WOOD, 1967), BS (BIANCHINI SOBRINHO, 1984) e WK (WILMINK, 1978).

da lactação, sugerindo menor número de repetições após a 41ª semana de lactação, devido a curta duração da lactação média (295,02 dias).

De modo geral, existe na literatura (COBUCI *et al.*, 2000; EL FARO e ALBUQUERQUE, 2002; MACCIOTA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2009; CAÑAS *et al.*, 2011; MACCIOTA *et al.*, 2011; VADILLO *et al.*, 2012; BORGES *et al.*, 2015) ampla discussão a respeito da modelagem e descrição da curva de lactação e seus componentes. OLIVEIRA *et al.* (2007) não encontraram bons ajustes do modelo WD para a curva de lactação de vacas F1 Holandês x Gir, no entanto, GLÓRIA *et al.* (2010) em estudo com fêmeas bovinas Holandês x Zebu, CAÑAS *et al.* (2011) e HOSSEIN-ZADEH (2013) trabalhando com vacas da raça Holandesa,

relataram bons ajustes desse modelo na curva de lactação. O modelo BS foi relatado por COBUCI *et al.* (2000) como de melhor ajuste à curva de lactação de fêmeas *Bos taurus*. SCORSATO *et al.* (2014) não obtiveram sucesso ao ajustar esse modelo à curva de lactação de vacas da raça Holandesa. MACCIOTA *et al.* (2005) e STRUCKEN *et al.* (2011) relataram que o modelo WK apresentou melhor ajuste à curva de lactação de vacas Holandesa.

Com base nos critérios estatísticos, pode-se observar que os modelos ND, WD e BS apresentaram os maiores valores de  $R_a^2$ , enquanto que as melhores distribuições dos resíduos ao longo da curva de lactação foram demonstradas pelo modelo ND, modelo este que juntamente com o BS registraram

os menores desvios entre as produções acumuladas observadas e estimadas aos 305 dias de lactação, indicando que estatisticamente a função WK não se adequou ao conjunto de dados analisados.

Para os critérios de interpretação biológica, nos modelos BS e ND foram estimados os valores de produção de leite inicial mais próximos aos observados. Para o tempo ao pico, o modelo ND foi o único a aproximar-se do real. A produção no pico foi melhor estimada pelos modelos ND e WD. Analisando os dois critérios propostos para a escolha do modelo mais adequado, foi possível inferir que o modelo WK não pode ser considerado ajustado por nenhum dos dois critérios utilizados.

Os modelos WD e BS embora apresentem alguns fatores de ajuste, não se adequam aos rebanhos em questão, contudo o modelo ND apresentou bons ajustes estatísticos e biológicos, sendo este o modelo de ajuste à curva de lactação de vacas mestiças oriundas do cruzamento de *Bos taurus* x *Bos indicus*. Concordando com os resultados obtidos no presente estudo, CRUZ *et al.* (2009), em estudo da curva de lactação de vacas Zebus, relataram que a função ND proporcionou bons ajustes e melhores estimativas dos componentes da curva de lactação.

Estudos que envolvem a modelagem e descrição da curva de lactação e seus componentes, devem ser analisados com cautela quanto à interpretação dos resultados obtidos, visto que é ferramenta a ser utilizada em programas de seleção e em tomadas de decisão cotidianas sobre o manejo dos rebanhos. Sendo assim, a interpretação equivocada dos componentes dos modelos, ou a utilização de modelos que não estejam ajustados ao conjunto de dados, pode levar a perdas produtivas e econômicas nos rebanhos leiteiros.

## CONCLUSÃO

A função polinomial inversa proporcionou melhor estimativa das variáveis que compõem a curva de lactação de vacas provenientes de cruzamentos de *Bos taurus* x *Bos indicus*.

## REFERÊNCIAS

ASSIS, A.G.; STOCK, L.A.; CAMPOS, O.F.; GOMES, A.T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M.R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2005. (Circular Técnica, 85).  
 BIANCHINI SOBRINHO, E. **Estudo da curva de lactação em vacas da raça Gir**. 1984. 88p. Tese (Doutorado

em Genética) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1984.  
 BOMFIM, L.F.C.; COSTA, I.V.G.; BENVENUTI, S.M.P. **Projeto de infraestrutura hídrica do Nordeste: estado de Sergipe - diagnóstico do município de Nossa Senhora da Glória**. Aracaju: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2002.  
 BORGES, A.M.; MARTINS, T.M.; NUNES, P.P.; RUAS, J.R.M. Reprodução de vacas mestiças: potencialidade e desafios. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.39, p.155-163, 2015.  
 BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; TURNER, C.W. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. **The Journal of General Physiology**, v.5, p.441-444, 1923.  
 BRODY, S.; TURNER, C.W.; RAGSDALE, A.C.; The relation between the initial rise and the subsequent decline of milk secretion following parturition. **The Journal of General Physiology**, v.6, p.541-545, 1924.  
 CAÑAS, A.J.; CERON-MUNOZ, M.; CORRALES, A.J. Modeling the lactation curves for milk, fat and protein yield of Holstein cattle in Antioquia, Colombia. **Revista MVZ Córdoba**, v.16, p.2514-2520, 2011.  
 COBBY, J.M.; LE DU, Y.L.P. On fitting curves to lactation data. **Animal Production**, v.26, p.127-133, 1978.  
 COBUCCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; TEODORO, R.L.; VERNEQUE, R.S.; LOPES, P.S.; SILVA, M.A. Aspectos genéticos e ambientais da curva de lactação da raça guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1204-1211, 2001.  
 COBUCCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; VERNEQUE, R.S.; TEODORO, R.L.; LOPES, P.S.; SILVA, M.A. Curva de lactação na raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.1332-1339, 2000.  
 COELHO, S.G.; CAMPOS, B.G.; LIMA, J.A.M.; CARVALHO, A.Ú. Mecanismos de ação do BSTr e uso em vacas mestiças. **Revista V&Z Minas**, v.116, p.6-15, 2013.  
 CRUZ, D.A.C.; SAVEGNAGO, R.P.; SANTANA, A.B.B.; PEIXOTO, M.G.C.D.; BRUNELI, F.A.T.; EL FARO, L. Cluster analysis of breeding values for milk yield and lactation persistency in Guzerá cattle. **Ciência Rural**, v.46, p.1281-1288, 2016.  
 CRUZ, G.R.B.; RIBEIRO, M.N.; PIMENTA FILHO, E.C. Estimativas de parâmetros de curvas de lactação de bovinos. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.695-704, 2009.  
 DIAS, J. **Avaliação das curvas de lactação de rebanhos holandeses nos Estados de Minas Gerais e São Paulo**. 2011. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Universidades de São Paulo, Piracicaba, 2011.



- DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; MASS, J.A.; HANIGAN, M.D.; ROOK, A.J.; BEEVER, D.E. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354, 1997.
- EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. Comparação de alguns modelos matemáticos para o ajuste às curvas de lactação individuais de vacas da raça Caracu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.54, p.295-302, 2002.
- EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G.; FRIES, L.A. Comparação de alguns modelos matemáticos para ajuste à curva de lactação média de um rebanho da raça Caracu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.987-992, 1999.
- GENGLER, N.; KEOWN, J.K.; VAN VLECK, L.D. Various persistency measures and relationships with total, partial and peak milk yields. **Revista Brasileira de Genética**, v.18, p.237-243, 1995.
- GLÓRIA, J.R.; BERGMANN, J.A.G.; QUIRINO, C.R.; RUAS, J.R.M.; MATOS, C.R.A.; PEREIRA, J.C.C. Curvas de lactação de quatro grupos genéticos de mestiças Holandês-Zebu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2160-2165, 2010.
- HOSSEIN-ZADEH, N.G. Comparison of non-linear models to describe the lactation curves of milk yield and composition in Iranian Holsteins. **The Journal of Agricultural Science**, v.152, p.309-324, 2013.
- MACCIOTTA, N.P.P.; DIMAURO, C.; RASSU, S.P.G.; STERI, R.; PULINA, G. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. **Italian Journal of Animal Science**, v.10, p.213-223, 2011.
- MACCIOTTA, N.P.P.; VICARIO, D.; CAPPIO-BORLINO, A. Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1178-1191, 2005.
- NEAL, H.D.S.T.; THORNLEY, J.H.M. The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. **The Journal of Agricultural Science**, v.101, p.389-400, 1993.
- NELDER, J.A. Inverse polynomials, a useful group of multi-factor response functions. **Biometrics**, v.22, p.128-141, 1966.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2001.
- OLIVEIRA, H.T.V.; REIS, R.B.; GLÓRIA, J.R.; QUIRINO, C.R.; PEREIRA, J.C.C. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama incompleta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.233-238, 2007.
- POLLOTT, G.E. A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.2448-2458, 2000.
- R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing, 2013.
- RAMÍREZ, R.; NÚÑEZ, R.; RUÍZ, A.; MERAZ, M.R. Comparison of equations to estimate lactation curves with different sampling strategies in Angus, Swiss and their crosses. **Veterinaria Mexico**, v.35, p.187-201, 2004.
- REBOUÇAS, G.F.; GONÇALVES, T.M.; MARTINEZ, M.L.; AZEVEDO JÚNIOR, J.; KOOPS, W. Novas funções para estimar a produção de leite em 305 dias de lactação, de vacas da raça Gir. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.222-229, 2008.
- RIBEIRO, M.N. **Estudo da curva de lactação de um rebanho caprino no Estado da Paraíba**. 1997. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia-Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1997.
- ROOK, A.J., FRANCE, J.; DHANOA, M.S. On the mathematical description of lactation curves. **Journal of Agricultural Science**, v.121, p.97-102, 1993.
- SANTOS, J.E.P.; SANTOS, F.A.P.; JUCHEM, S.O. Monitoramento do manejo nutricional em rebanhos leiteiros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...Piracicaba**: SBZ, 2001. CD-ROOM.
- SCORSATO, A.P.; MENARIN, V.; GIOLO, S.R. Curvas de lactação de bovinos da raça holandesa e mestiços do município de Castro, Paraná. **Revista Brasileira de Biometria**, v.32, p.216-225, 2014.
- STRUCKEN, E.M.; KONING, D.J.; RAHMATALLA, S.A.; BROCKMANN, G.A. Lactation curve models for estimating gene effects over a timeline. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.442-449, 2011.
- VINAY-VADILLO, J.C.; VILLAGÓMEZ-CORTÉS, J.A.; ACOSTA-RODRÍGUEZ, M.R.; ROCHER, C. Shapes of lactation curves of f1 (holstein x zebu) cows in the humid tropic of Veracruz, México. **International Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.4, p.370-377, 2012.
- WILMINK, J.B.M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yields for age, season and stage of lactation. **Livestock Production Science**, v.16, p.335-348, 1987.
- WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, v.216, p.164-165, 1967.