Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Avaliação das curvas de lactação de rebanhos holandeses nos Estados de Minas Gerais e São Paulo

Juliana Dias

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2011

Juliana Dias
Zootecnista

Avaliação das curvas de lactação de rebanhos holandeses nos Estados de Minas Gerais e São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO FERNANDO MACHADO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Dias, Juliana
Avaliação das curvas de lactação de rebanhos holandeses nos Estados de Minas Gerais e São Paulo / Juliana Dias. - - Piracicaba, 2011.
56 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Bovinos leiteiros 2. Curva de lactação 3. Fatores ambientais 4. Gado holandês 5. Leite - Produção 6. Vacas I. Título

CDD 636.234
D541a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A minha querida mãe Maria da Penha Dias pela verdadeira amizade, exemplo de amor ao próximo, fé e determinação.

Aos sobrinhos Tais e Pedro por existirem na minha vida de forma tão especial

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora por iluminar meu caminho constantemente

A minha família pelo apoio constante, exemplo de coragem e perseverança

Ao Depto de Zootecnia e CNPQ pela oportunidade e concessão da bolsa

A Clínica do Leite pela concessão do banco de dados e suporte sempre presente

Ao Prof. Dr. Paulo Fernando Machado pela orientação e inúmeros conhecimentos transmitidos durante as reuniões semanais ao longo desses dois anos

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias pela orientação nas análises estatísticas, paciência no esclarecimento de dúvidas e disponibilidade na revisão dos artigos

Ao Dr. Oriel Fajardo de Campos pelas inúmeras sugestões pertinentes, revisão dos artigos, sobretudo pelo apoio e amizade desde a graduação

Ao Dr. Daniel Noronha Cunha pela programação inicial relacionada à seleção de modelos, a qual facilitou de forma consistente o início desta pesquisa

Ao Dr. Rui da Silva Verneque pelo esclarecimento de dúvidas e sugestões na metodologia que melhoraram substancialmente este trabalho

Ao Marcelo Correa Alves pelos excelentes cursos de SAS ministrados, bem como, pelo esclarecimento de dúvidas durante a edição do banco de dados

A Aline Zampar e Lilian Techio pela boa vontade, auxílio nas análises estatísticas, revisão dos artigos e esclarecimento de diversas dúvidas

Aos amigos e amigas: Lilian Techio, Andréia Ribeiro, Tamires Lima, Aline Zampar, Beatriz Meduri, Naissa Dias, Franz Walter e Delci de Deus pela companhia, momentos de descontração e conhecimentos compartilhados

A todos vocês que me ajudaram: meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO....9
ABSTRACT....11
1 INTRODUÇÃO....13
Referências....18
2 SELEÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO PARA DESCREVER A PRODUÇÃO DE LEITE DE REBANHOS HOLANDESES....21
Resumo....21
Abstract....21
2.1 Introdução....22
2.2 Materiais e Métodos....22
2.2.1 Banco de dados....22
2.2.2 Análise Estatística....23
2.3 Resultados e Discussão....24
2.4 Conclusão....35
Referências....36
3 FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A CURVA DE LACTAÇÃO DE REBANHOS HOLANDESES....39
Resumo....39
Abstract....39
3.1 Introdução....40
3.2 Material e Métodos....40
3.2.1 Banco de Dados....40
3.2.2 Análise Estatística....41
3.3 Resultados e Discussão....43
3.4 Conclusão....53
Referências....53

RESUMO

Avaliação das curvas de lactação de vacas holandesas de rebanhos nos Estados de Minas Gerais e São Paulo

A curva de lactação é a descrição gráfica da produção de leite em dado período de tempo, normalmente descrita por modelos matemáticos dos quais podem ser obtidos fatores multiplicativos de predição e estimativas de interesse econômico como o pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias. Entretanto, faz-se necessário a seleção de funções de curvas para que as estimativas obtidas apresentem o menor erro de predição associado, bem como, identificar os fatores que influenciam a curva de lactação para que essas estimativas sejam desprovidas de tais fontes de variação. Desta forma, foram utilizadas cinco funções não lineares para modelar 10.679 lactações pertencentes a vacas holandesas, de grupo genético PCOD (puro por cruza de origem desconhecida), PCOC (puro por cruza de origem conhecida) e PO (puro de origem), pertencentes a 38 rebanhos agrupados em três níveis de produção, situados nos estados de São Paulo e Minas Gerais no período de 1997 a 2009. A seleção da função baseou-se simultaneamente no maior valor do coeficiente de determinação e nos menores valores do quadrado médio do erro de predição, raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição, critério bayesiano de informação e percentual de curvas atípicas. Independente do nível de produção e ordem de lactação, dentre os modelos avaliados, a função de Wood obteve o melhor ajuste e, portanto, foi utilizada para obter estimativas de pico, tempo de ascensão ao pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias. Posteriormente, avaliou-se a influência de fatores ano de parto, época de parto, ordem de lactação, rebanho, nível de produção e duração da lactação sobre os parâmetros a (produção inicia), b (taxa de acréscimo na produção até o pico) e c (taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação) e estimativas *de* pico, tempo de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias das curvas de lactação modeladas pela função de Wood. Em seus respectivos níveis de produção, as médias dos parâmetros e estimativas aumentaram proporcionalmente às classes de duração da lactação e maiores estimativas foram observadas para multíparas na época seca do ano. Dado o exposto, para os rebanhos em estudos, fatores de predição da produção de leite aos 305 dias podem ser construídos de acordo com o nível de produção, ordem, época e duração da lactação.

Palavras-chave: Curva de lactação; Holandês; Fatores ambientais

ABSTRACT

Evaluation of the lactation curves of Holstein cows from herds in Minas Gerais and São Paulo

The lactation curve is a graphic depiction of milk production in a given period of time, usually described by mathematical models which can be obtained by multiplicative factors of prediction and estimates of economic interest as the peak, persistence and cumulative production to 305 days. However, it is necessary to select the functions of curves obtained for the estimates have the smallest prediction error associated, as well as to identify factors that influence the lactation curve for these estimates are devoid of these sources of variation. Thus, five were used to model nonlinear functions belonging to 10,679 lactations Holsteins, genetic group PCOD (pure by crosses of unknown origin), PCOC (pure by crosses of known origin) and PO (pure original), belonging to 38 herds grouped in three levels of production, located in São Paulo and Minas Gerais from 1997 to 2009. The function selection was based on both the greater coefficient of determination and lower values of mean square prediction error, the square root of mean square prediction error, Bayesian information criterion and the percentage of atypical curves. Regardless of the level of production and parity among the models evaluated, the function of Wood obtained the best fit and therefore was used to estimate the peak, rise time to peak, persistence and cumulative production to 305 days. Subsequently, we evaluated the influence of year of birth, season of calving, lactation order, herd production level and duration of lactation on the parameters a (production starts), b (rate of increase in production to peak) and c (rate of decline in production after peak lactation) and estimates of peak, peak time, persistence and cumulative production to 305 days of lactation curves modeled by the function of Wood. In their production levels, the mean estimates of parameters and increased proportionally to the classes of lactation length and higher estimates were observed for multiparous in the dry season. Given the above, for livestock studies, predictors of milk production to 305 days can be constructed according to the level of production, order, timing and duration of lactation.

Keywords: Lactation curve; Holstein; Environmental factors

1 INTRODUÇÃO

O termo curva de lactação refere-se à representação gráfica da produção de leite em dado período de tempo, normalmente, utilizada no desenvolvimento de modelos dinâmicos de simulação (CUNHA et al., 2010), seleção genética (VANRADEN et al., 2006) e predição da produção de leite a partir de registros parciais (VAL-ARREOLA et al., 2004). Adicionalmente, quando associadas às curvas de proteína e gordura, constituem uma ferramenta para a avaliação de respostas produtivas frente ao manejo nutricional adotado no rebanho (WHITTAKER et al., 1989).

Para tais finalidades, as curvas de lactação são obtidas via funções ou modelos matemáticos que vem sendo desenvolvidos desde 1920 (GAINES, 1926) com intuito de descrever a produção de leite de rebanhos leiteiros. Entretanto, as funções diferem quanto às propriedades matemáticas e, portanto, são classificadas em lineares cujas soluções são obtidas via regressão linear e não-linear, em que os parâmetros são estimados, obrigatoriamente, via processos iterativos (EL FARO et al., 1999). Entretanto, outra classificação, de maior interesse, refere-se à abordagem teórica utilizada no desenvolvimento de tais funções. Neste contexto, os modelos de curva de lactação são classificados em mecanicistas e empíricos (BEEVER, 1991).

Funções mecanicistas visam, essencialmente, traduzir em termos matemáticos uma hipótese sobre os processos fisiológicos e bioquímicos que regulam um fenômeno de interesse (NEAL; THORNLEY, 1983). Neste contexto, os modelos mecanicistas que descrevem a produção de leite são desenvolvidos considerando os principais eventos citológicos relacionados à produção de leite na glândula mamária: número de células, atividade de secreção, apoptose ou morte programada das células secretoras.

Dentre os modelos mecanicistas, disponíveis na literatura, destaca-se a função desenvolvida por Dijkstra et al. (1997) que partiram da hipótese de que a divisão celular na glândula mamária inicia durante gravidez e continua nas primeiras semanas de lactação, apresentando tendência exponencial. Desta forma, o modelo foi construído através de um conjunto de equações diferenciais que representam a diferenciação, população e morte das células secretoras do epitélio mamário, conforme pode ser observado na representação esquemática disposta na Figura 1.

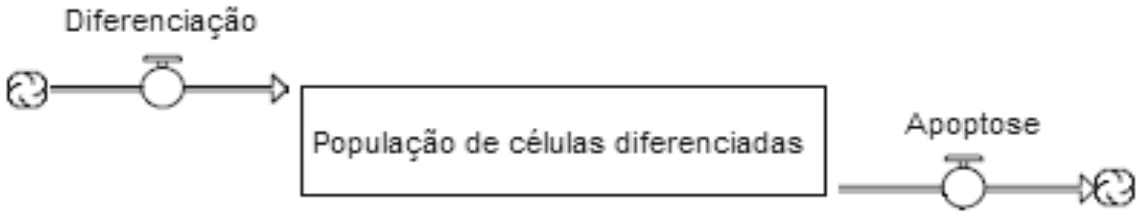

Figura 1 - Representação esquemática da função de Dijkstra et al. (1997)

Portanto, o modelo final com quatro parâmetros têm se mostrado eficiente para descrever a produção de leite, bem como, os padrões de desenvolvimento da glândula mamária durante a lactação através da seguinte equação: $Yt= a\ exp[b(1-e-ct)/c-dt]$ em que Yt é a produção de leite (kg/dia), t o tempo de lactação (dias), e a base dos logaritmos naturais, a é um parâmetro que representa a produção inicial obtida como produto da quantidade inicial de células secretoras, b é um parâmetro relacionado à taxa de diferenciação de células ao parto, c é o parâmetro que representa a taxa de decréscimo na diferenciação de células e d é o parâmetro que expressa a taxa de morte de células diferenciadas.

Dado o exposto, funções mecanicistas têm sido preferencialmente, utilizadas para investigar hipóteses científicas a cerca dos mecanismos que regulam o desenvolvimento e ou a dinâmica do epitélio mamário em diferentes fases da lactação, bem como, identificar o impacto das relações existentes entre produção de leite em nível de glândula mamária e balanço energético negativo, suplementação nutricional (energia) e hormonal (somatotropina bovina), doenças infecciosas (mastite) e metabólicas.

Entretanto, a modelagem da produção de leite por meio de funções mecanicistas apresenta limitações, visto que alguns modelos apresentam maior complexidade, dado ao maior número de parâmetros para explicar o processo de produção de leite na glândula mamária e requerem variáveis adicionais, normalmente, indisponíveis em banco de dados de rebanhos comerciais (DIJKSTRA et al., 1997; MACCIOTTA et al., 2008). Por esta razão, as funções empíricas têm sido amplamente utilizadas devido à menor complexidade e melhor ajuste de lactações provenientes de grandes conjuntos de dados e de outras espécies leiteiras.

No tocante aos modelos empíricos, os mesmos simplesmente relacionam, estatisticamente, entradas e saídas sem considerar os fatores intervenientes no metabolismo (FRANCE; THORNLEY, 1984 apud BEEVER et al., 1991). Portanto, ao contrário das funções mecanicistas, os parâmetros de modelos empíricos, descrevem fases (aumento na produção até o pico seguido de decréscimo contínuo) da curva de lactação sem atribuir uma explicação causal à produção de leite observada.

Dentre os modelos empíricos, disponíveis na literatura, destaca-se a função gama incompleta desenvolvida por Wood (1967) expressa por: $Yt=atbe\text{-}ct$ em que Yt é a produção de leite (kg/dia), t o tempo de lactação (dias), e a base dos logaritmos naturais, a, b e c são parâmetros relacionados, respectivamente, à produção inicial, taxa de acréscimo na produção até o pico e taxa de decréscimo na produção após o pico, a partir dos quais são obtidas estimativas de pico, tempo de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias, conforme pode ser observado na Figura 2.

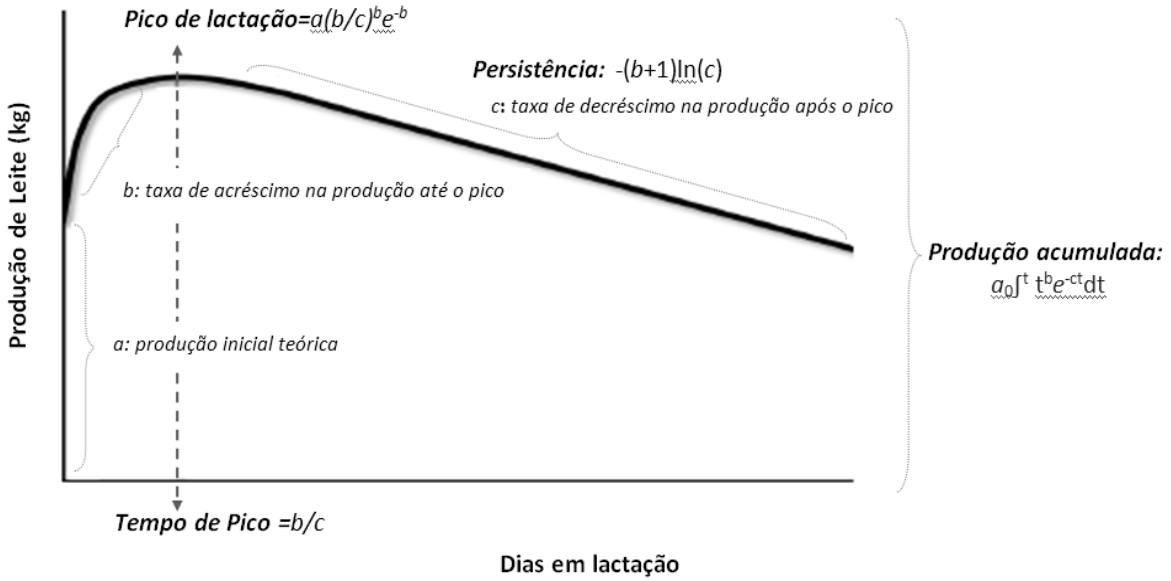

Figura 2 - Representação da curva de lactação pela função de Wood (1967)

Embora o modelo de Wood, originalmente, seja uma função de regressão não linear, o mesmo pode ser linearizado dispensando a utilização de processos iterativos para estimação de parâmetros. Aliado a este fato, dado à facilidade de interpretação de seus parâmetros, este modelo tem sido amplamente utilizado, fazendo parte, inclusive, de rotinas de softwares (FOX et al., 2004) para estimar requerimentos nutricionais diários de vacas lactantes.

Entretanto, independente do enfoque empírico e mecanicista, a utilização de um modelo ou função de curva depende da habilidade do mesmo em descrever a produção de leite com menor erro de predição associado (GROENEWALD; VILJOEN, 2003), para que posteriormente possam ser obtidos fatores multiplicativos para predição e ou estimativas de interesse bioeconômico como o pico, persistência de lactação e produção acumulada aos 305 dias (REKAYA et al., 2000).

No tocante às estimativas, tanto a persistência quanto o pico de lactação foram relatados como as principais características para descrever a curva de lactação (SANDERS, 1930). O pico é a produção máxima, normalmente, observada de 30 a 90 dias pós-parto e altamente correlacionada (r=0,78) com a produção total aos 305 dias (TEKERLI et al., 2000).

Em relação à persistência, a mesma refere-se à capacidade da vaca manter relativamente constante a produção de leite após o pico de lactação (GENGLER, 1996) sendo mensurada por diferentes métodos: razões entre as produções de diferentes fases da lactação, parâmetros de funções matemáticas, variação na produção de leite no dia do controle e valores genéticos via regressão aleatória (COBUCI et al., 2003).

Entretanto, pico e persistência são características negativamente correlacionadas (r=-0,22). Vacas que expressam maiores produções no pico tendem a apresentar maior taxa de decréscimo na produção de leite após a ascensão da produção máxima. Em contrapartida, o tempo de pico (período entre o parto e o pico) mantém correlação alta e positiva (r=0,80) com a persistência da lactação, logo, picos de ocorrência tardia estão associados a lactações mais persistentes (TEKERLI et al., 2000).

A associação negativa entre pico e persistência é atribuída ao fato de que na fase inicial, aproximadamente, 82,5% das vacas apresentam balanço energético negativo decorrente do não suprimento das necessidades energéticas da produção de leite e mantença (DE VRIES; VEERKAMP, 2000). De acordo com o manejo nutricional adotado no período de transição e potencial genético do animal, altas produções no pico de lactação, constituem um estresse fisiológico extra, comumente associadas a desordens metabólicas (GROSSMAN et al., 1999) e infecções intramamárias (APPUHAMY et al., 2007; YAMAZAKI et al., 2009), que repercutem negativamente sobre a persistência da lactação e desempenho reprodutivo (JAKOBSEN et al., 2002).

Aliado ao fator sanitário e reprodutivo, a persistência da lactação é importante porque quedas abruptas na produção de leite, após o pico de lactação, distribuem os custos da atividade de forma desigual ao longo do período de lactação (GENGLER, 1996). Em adição, observou-se que vacas que apresentam alta persistência durante a lactação têm necessidades energéticas relativamente constantes, consomem menor quantidade de concentrado, se comparadas a vacas menos persistentes e de mesmo potencial produtivo, e podem ser alimentadas com dietas de menor custo (SÖLKNER; FUCHS, 1987).

Desta forma, a persistência é a característica de maior importância da curva de lactação, seja pela redução de custos com sanidade, alimentação, desempenho reprodutivo e/ou pelo diferencial obtido aos 305 dias (DEKKERS et al., 1998). Neste sentido, uma curva de lactação desejável do ponto de vista bioeconômico requer produções moderadas no pico, aliadas à maior persistência da lactação que pode ser alcançada via seleção genética e ou manipulação de condições ambientais (GROSSMAN; KOOPS, 2003).

Neste contexto, diversos estudos têm sido desenvolvidos com intuito de identificar os fatores genéticos e ambientais que afetam a curva de lactação, bem como as estimativas de pico e persistência. Dentre as causas de variação identificadas, destacam-se raça, grupo genético, rebanho, ano, época, ordem de parto (HANSEN et al., 2006), período de serviço (TEKERLI et al., 2000), condição corporal (ROCHE et al., 2007), mastite (COLDEBELLA et al., 2003) e duração da lactação (ARAÚJO et al., 2000).

Dado o exposto, no primeiro estudo, objetivou-se selecionar dentre cinco funções matemáticas, que diferem quanto à complexidade e interpretação biológica dos parâmetros, a que melhor descreve a produção de leite de vacas holandesas em rebanhos estratificados em três níveis de produção. Posteriormente, conforme disposto no segundo capítulo desta dissertação, objetivou-se avaliar alguns fatores que influenciam os parâmetros e estimativas obtidas através da função, anteriormente, selecionada.

Referências

APPUHAMY, J.A.D.R.N.; CASSELL, B.G.; COLE, J.B.; DECHOW, C.D. Phenotypic relationships of common health disorders in dairy cows to lactation persistency estimated from daily milk weights. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 4424–4434, 2007.

ARAÚJO, C.V.; GONÇALVES, T.M.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA; A.I.G.; ARAÚJO; S.I. Fatores não genéticos nas produções de leite e de gordura em rebanhos da raça Holandesa no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 766-772, 2000.

BEEVER, D.E.; ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DANOA, M.S.; GILL, M. A review of empirical and mechanistic models of lactation performance by the dairy cow. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 29, p. 115-130, 1991.

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**, Viçosa, v. 30, p. 1204-1211, 2001.

COLDEBELLA, A.; MACHADO, P.F.; DEMÉTRIO, C.G.B.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; CORASSIN, C.H.; MEYER, P.M.; CASSOLI, L.D. Contagem de células somáticas e produção de leite em vacas holandesas de alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1451-1457, 2003.

CUNHA, D.N.F.V.; PEREIRA, J.C.; SILVA, F.F.; CAMPOS, O.F.; BRAGA, J.L.; MARTUSCELLO, J.A. Selection of models of lactation curves to use in models of milk production simulation systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 891-902, 2010.

DEKKERS, J.C.M.; TEM HAG, J.H.; WEERSINK, A. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 53, p. 237-252, 1998.

DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; VANRADEN, P.M. Modeling extended lactations of Holsteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 8, p. 3924-3936, 2007.

DE VRIES, M.J.; VEERKAMP, R.F. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variable and fertility. **Journal of Dairy Science,** Champaign, v. 83, p. 62-69, 2000.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; MAAS, J.A.; HANIGAN, M.D.; ROOK, A.; SAND BEEVER, D.E. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2340–2354, 1997.

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**, Viçosa, v. 28, p. 987-992. 1999.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P.; RUSSELL, J.B.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 112, p. 29–78, 2004.

GENGLER, N. Persistency of lactation yields: a review. **Interbull Bull,** Uppsala, v. 12, p. 87–96, 1996.

HANSEN, J.V.; FRIGGENS, N.C.; HOJSGAARD, S. The influence of breed and parity on milk yield, and milk yield acceleration curves. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 104, p. 53-62, 2006.

GAINES, W.L. Interpretation of the lactation curve. **The Journal of General Physiology**, New York, v. 10, p. 27, Sept. 1926.

GENGLER, N. Persistency of lactation yields: a review. **Interbull Bull,** Uppsala, v. 12, p. 97-102, 1996. Apresentado no INTERNATIONAL WORKSHOP ON GENETIC IMPROVEMENT OF FUNCTIONAL TRAITS IN CATTLE. **Proceedings…**

GROENEWALD, P.C.N.; VILJOEN, C.S. A Bayesian model for analysis of lactation curves of dairy goats. **Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics**, Alexandria, v. 8, p. 75-83, 2003.

GROSSMAN, M.; KOOPS, W.J. Modeling extended lactation curves of dairy cattle: a biological basis for the multiphasic approach. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 988–998, 2003.

JAKOBSEN, J.; MADSEN, P.; JENSEN, J.; PEERSEN, J.; CRISTIENSEN, L.G.; SORENSEN, D.A. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1607-1616, 2002.

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**, Champaign, v. 88, p. 1178-1191, 2005.

NEAL, H.D.; THORNLEY, J.H.M. The lactation curve in cattle; a mathematical model of the mammary gland. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 101, p. 389-400, 1983.

REKAYA, R.; CARABAÑO, M.J; TORO, M.A. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 2691-2701, 2000.

ROCHE, J.R.; LEE, J.M.; MACDONALD, K.A.; BERRY, D.P. Relationships among body condition score, body weight and milk production variables in pasture-based dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 3802-3815, 2007.

SANDERS, H.G. The analysis of the lactation curve into maximum yield and persistency. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 20, p. 45-185, 1930.

SÖLKNER, J.; FUCHS, W. A comparison of different measures of persistency with special respect to variation of test-day milk yields. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 305-319, 1987.

TEKERLI, M.; AKINCHI, Z.; DOGAN, I.; AKCAN, A. Factors affecting the shape of lactation curves of holstein cows from the Balikesir Province of Turkey. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1381-1386, 2000.

VAL-ARREOLA, D.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 3789–3799, 2004.

VANRADEN, P.M.; DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; TOOKER, M.E. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 3213–3220, 2006.

WHITTAKER, A.D.; TOMASZEWSKI, M.A.; TAYLOR, J.F.; FOURDRAINE, R.; VAN OVERVELD, C.J.; SCHEPERS, R.G. Dairy herd nutrition analysis using knowledge systems techniques. **Agricultural Systems**, Essex, v. 31, p. 83-96, 1989.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, London, v. 216, p. 164, 1967.

YAMAZAKI, T.; TAKEDA, H.; NISHIURA, A.; TOGASHI, K. Relationship between the lactation curve and udder disease incidence in different lactation stages in first-lactation Holstein cows. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 80, p. 636–643, 2009.

2 SELEÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO PARA DESCREVER A PRODUÇÃO DE LEITE DE REBANHOS HOLANDESES

Resumo

A curva de lactação é a descrição gráfica da produção de leite durante o período de lactação e tem sido utilizada como uma ferramenta auxiliar no gerenciamento de rebanhos e na seleção genética. Entretanto, faz-se necessário a seleção de funções de curvas para que as estimativas obtidas apresentem o menor erro de predição associado. Desta forma, foram utilizadas cinco funções não lineares para modelar 10.679 lactações, encerradas no período de 1997 a 2009 distribuídas em 38 rebanhos situados nos estados de São Paulo e Minas Gerais e agrupados em três níveis de produção. A seleção da função baseou-se simultaneamente no maior valor do coeficiente de determinação e nos menores valores do quadrado médio do erro de predição, raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição, critério bayesiano de informação e percentual de curvas atípicas. Independente do nível de produção e ordem de lactação, com o modelo de Wood foi obtido os melhores resultados para os avaliadores de ajuste, portanto, foi utilizado para obter estimativas de interesse bioeconômico: pico, tempo de ascensão ao pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias. Entretanto, estudos adicionais são necessários para identificar os fatores genéticos e ambientais que afetam as curvas de lactação em seus respectivos níveis de produção e desta forma, obter estimativas ajustadas para tais fontes de variação.

Palavras-chave: Curva de lactação; Modelagem; Holandes

Abstract

The lactation curve is a graphic description of milk production during lactation and it has been used as an auxiliary tool in herd management and genetic selection. However, it is necessary to select the functions of curves so that the estimates have the smallest prediction error associated. Thus, five functions were used to model 10,679 nonlinear lactations, closed in the period from 1997 to 2009, and distributed in 38 herds, located in the states of São Paulo and Minas Gerais, Brazil, grouped into three levels of production. The function selection was based on both the greater coefficient of determination and lower values of mean square prediction error, the square root of mean square error of prediction, Bayesian information criterion and percentage of atypical curves. Regardless of the level of production and parity, the model of Wood got the best results for evaluators of adjustment, therefore, it was used to obtain estimates of interest bioeconomic: peak lactation, dim at peak, persistence and total lactation yield through 305 DIM. However, additional studies are needed to identify the genetic and environmental factors affecting lactation curves at their respective levels of production and thereby obtain estimative adjusted of such sources of variation.

Keywords: Lactation curve; Modelling; Holstein

2.1 Introdução

A modelagem da produção de leite permite a obtenção de curvas de lactação comumente utilizadas na adequação de técnicas de manejo (VARGAS et al., 2000), desenvolvimento de modelos dinâmicos de simulação (CUNHA et al., 2010), seleção genética (VANRADEN et al., 2006) e predição da produção de leite a partir de registros parciais permitindo avaliar o potencial produtivo da matriz antecipadamente ao término da lactação (VAL-ARREOLA et al., 2004).

Um modelo ou função de curva de lactação, além de sumarizar os registros de produção de leite em parâmetros relacionados às características biológicas, deve descrever a produção de leite com menor erro associado. Atendidas as pressuposições básicas, podem ser obtidos fatores multiplicativos para predição e estimativas de interesse bioeconômico, dentre as quais, destacam-se o pico e a persistência da lactação.

O pico de produção determina o potencial produtivo do animal durante a lactação (SANDERS, 1930), visto que, para 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, é a característica de maior importância porque está associada à redução de custos no sistema como um todo (TEKERLI et al., 2000; JAKOBSEN et al., 2002), à menor incidência de desordens metabólicas e de problemas reprodutivos (MADSEN, 1975; GROSSMAN et al., 1999) e à maior longevidade dos animais (DEKKERS et al., 1998; JAMROZIK et al., 1997).

Dado o exposto, objetivou-se avaliar o ajuste de cinco funções matemáticas, comumente citadas na literatura e que diferem quanto à complexidade e interpretação biológica dos parâmetros, selecionar a que melhor descreve a produção de leite e obter estimativas de interesse bioeconômico da curva de lactação de vacas holandesas pertencentes a rebanhos agrupados em três níveis de produção.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Banco de dados

Os registros de produção de leite foram disponibilizados pelo Programa de Análise de Rebanhos Leiteiros da Clínica do Leite, laboratório credenciado pela Rede Brasileira de

Controle e Qualidade do Leite do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (RBQL - MAPA), sediado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

Na edição do banco de dados, foram selecionados registros de produção de leite de vacas da raça Holandesa, pertencentes aos grupos genéticos PCOD (puro por cruza de origem desconhecida), PCOC (puro por cruza de origem conhecida) e PO (puro por cruza), agrupadas em três classes de ordem de parto (OL1, OL2 e OL≥3). Adicionalmente, foram selecionadas lactações com duração de 200 a 450 dias, que dispunham de no mínimo cinco controles, cujo primeiro controle tenha sido realizado até 35 dias pós-parto e os subseqüentes registrados no intervalo máximo de 30 dias.

Impostas as restrições, restaram 10.679 lactações, encerradas no período de 1997 a 2009, pertencentes a 38 rebanhos, situados nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, agrupados, de acordo com a produção de leite média aos 305 dias, em três níveis produção: NP1(≤6500), NP2 (6501-7500) e NP3 (≥7500) (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição de rebanhos, registros de produção de leite e lactações de acordo com o nível de produção e ordem de parto

Grupo		Rebanho	Registro	Lactação	PL305*		
			-------N-------		Média	DP**	CV(%)***
NP1	OL1		4180	397	5598,34	1194,90	21,34
	OL2	12	5275	499	6226,31	1376,78	23,71
	OL≥ 3		7957	770	6470,32	1629,58	22,11
NP2	OL1		15007	1367	6602,83	1438,16	23,18
	OL2	15	19966	1820	6748,61	1445,95	21,42
	OL≥ 3		37586	3503	7376,92	1727,32	23,41
NP3	OL1		42771	802	7692,60	1687,82	21,94
	OL2	11	23547	553	7908,16	1938,48	24,51
	OL≥ 3		37498	968	8105,95	2005,07	24,73

*Produção de leite aos 305 dias; **Desvio padrão; ***Coeficiente de variação;

2.2.2 Análise Estatística

Foram utilizadas cinco funções não-lineares, comumente citadas na literatura, que diferem quanto ao número de parâmetros e interpretação biológica dos mesmos (Tabela 2). Os parâmetros dos modelos foram estimados, para lactações individuais através do método iterativo de Gauss-Newton disponível no procedimento NLIM do SAS (SAS INSTITUTE, 2000).

Tabela 2 - Funções não lineares utilizadas para modelar a produção de leite

Autor	Função	Sigla
GAINES (1926)	$Y_t = ae^{-bt} + \varepsilon t$	GN
WOOD (1967)	$Y_t = at^b e^{-ct} + \varepsilon t$	WD
COBBY e LE DU (1978)	$Y_t = a - bt - ae^{-ct} + \varepsilon t$	CL
WILMINK (1987)	$Y_t = a - be^{-ct} + ct + \varepsilon t$	WK
DIJKSTRA et al., (1997)	$Y_t = a\ exp[b(1-e^{-ct})/c - dt] + \varepsilon t$	DJ

Y_t: produção de leite (kg/dia), t: tempo de lactação (dias); e: base dos logaritmos naturais; a: produção inicial teórica (GN, WD, CL, DJ); nível de produção (WL); b:=constante de declínio da produção (GN); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (CL); taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (WD, WL); taxa de diferenciação de células ao parto (DJ); c: taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (CL); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WD); tempo em que ocorre o pico de lactação (WL); taxa de queda da velocidade de diferenciação de células (DJ); d = taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WL); taxa de morte de células diferenciadas (DJ); εt:desvio da regressão.

Posteriormente, foram calculados os avaliadores de ajuste utilizados na seleção da função: coeficiente de determinação ajustado (R^2A=1-[(n-1)/(n-p)(R^2)], em que p=número de parâmetros, n=número de observações) quadrado médio do erro de predição (QMEP=∑(ProduçãoObservada-Predita)^2/n), raiz quadrada do QMEP, critério bayesiano de informação (BIC=-log(j)+plog(n), em que j=máxima verossimilhança) e o percentual de curvas atípicas resultante do ajuste de cada função (AT%) (Tabelas 3,4,5). De posse dos parâmetros da função selecionada foram calculadas estimativas de pico (Ymax), tempo de pico (TYmax), persistência (S1 e S2) e produção acumulada aos 305 dias (Y305) (Tabelas 6, 7, 8). Em adição, as curvas de lactação e resíduos padronizados obtidos pela função selecionada foram plotados para cada ordem de lactação em seu respectivo nível de produção (Figura, 1, 2, 3).

2.3 Resultados e Discussão

A seleção do modelo baseou-se simultaneamente no maior valor de R2A, que se refere à proporção da variação total na produção de leite explicada pelas funções em estudo, em menores valores de QMEP, RQMEP relacionados à acurácia de predição, de BIC que mede o ajuste do modelo por meio da máxima verossimilhança e do AT% que reflete, em parte, a habilidade dos modelos em descrever a produção de leite.

Independente do nível de produção e ordem de lactação, com a função WD foram obtidos os melhores resultados para os avaliadores de ajuste (Tabelas 3, 4 e 5). Entretanto, analisando o ajuste do modelo de WD por nível de produção, observou-se maiores valores de QMEP, RQMEP e BIC para curvas agrupadas no NP3 (Tabela 8), corroborando os resultados de Cunha et al. (2010) ao ajustar a função de WD para vacas de alta de produção.

Em todos os níveis de produção e ordens de parto, os resíduos padronizados, obtidos pela função de WD, distribuíram-se em torno de ±1,5kg, o que indica um bom ajuste do modelo, visto que as diferenças entre a produção observada e predita foram relativamente pequenas em cada ponto da curva (Figuras1, 2,3). No entanto, observou-se tendência de autocorrelação dos resíduos das curvas agrupadas no NP3, uma vez que se concentraram subestimando a produção no início e final da lactação e superestimando a produção de leite no período de 55 a 155 dias pós-parto (Figura3).

Resultados semelhantes foram reportados por Dematawewa et al. (2007) que observaram autocorrelação nos resíduos obtidos em lactações ajustadas por nove funções de curva e que os mesmos variaram de ±2 e ± 3 kg para lactações com duração média de 305 e 999 dias. Entretanto, este tipo de correlação é esperado, visto que, os resíduos são desvios de uma mesma vaca e contém a variação relacionada a fatores genéticos e de ambiente permanente (EL FARO et al., 1999) não devendo ser, obrigatoriamente, explicada pelo modelo.

Dado ao pior ajuste da função de WD às lactações agrupadas no NP3 (Tabela 6), os desvios percentuais entre a produção observada e estimada aos 305 apresentaram os maiores valores e amplitude no intervalo de confiança (Tabela 8). Entretanto, em todos os níveis de produção, maiores desvios percentuais foram observados na OL≥3 dada à maior variabilidade entre as lactações de terceira à décima ordem de parto agrupadas nesta classe de parição (Tabelas 6, 7 e 8).

Em relação ao %AT, curvas atípicas originam-se de estimativas negativas dos parâmetros da função devido à falta de registros anteriores ao pico de lactação (CONGLETON; EVERETT, 1980; SILVESTRE et al., 2006; MACCIOTTA et al., 2005). Para cada dia em que o primeiro controle for adiado a probabilidade de ocorrência desse tipo de curva aumenta em 4% (REKIK; GARA, 2004). Adicionalmente, podem

estar relacionadas ao número de parâmetros do modelo, visto que, maiores %AT, foram observados no ajuste de lactações por modelos com 6 e 12 parâmetros (DEMATAWEWA et al., 2007).

Tabela 3 - Parâmetros médios e avaliadores de ajuste das funções utilizadas para descrever as lactações agrupadas no nível de produção 1 (NP1) e ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

Item	Gaines		Wood		Cobby Le Du		Wilmink		Dijkstra	
					OL1					
a	23,146	(0,239)	16,285	(0,363)	24,528	(0,098)	45,619	(0,898)	13,788	(0,322)
b	0,001	(0,000)	0,121	(0,006)	0,033	(0,000)	7,27	(2,010)	0,077	(0,007)
c	-	-	0,003	(0,000)	8,16	(2,451)	15,15	(3,181)	0,057	(0,003)
d	-	-	-	-		-	0,061	(0,021)	0,017	(0,006)
R^2A[1]	0,471	(0,01)	0,77	(0,01)	0,59	(0,01)	0,61	(0,01)	0,57	(0,01)
QMEP[2]	7,560	(0,45)	4,19	(0,19)	5,82	(0,21)	6,94	(0,25)	5,82	(0,32)
RQMEP[3]	2,775	(0,06)	1,89	(0,04)	2,23	(0,04)	2,63	(0,06)	2,18	(0,05)
BIC[4]	54,687	(0,82)	51,78	(0,75)	54,39	(0,71)	56,15	(0,76)	58,44	(0,78)
%AT[5]	26,24		22,49		26,75		29,04		19,02	
					OL2					
a	26,730	(0,253)	16,823	(0,306)	28,012	(0,084)	51,713	(0,890)	16,701	(0,353)
b	0,002	(0,000)	0,153	(0,006)	0,040	(0,000)	5,991	(2,151)	0,073	(0,005)
c	-	-	0,003	(0,000)	2,53	(1,97)	3,510	(3,782)	0,054	(0,004)
d	-	-	-	-	-	-	0,071	(0,013)	0,017	(0,002)
R^2A[1]	0,519	(0,01)	0,78	(0,01)	0,61	(0,01)	0,62	(0,01)	0,63	(0,01)
QMEP[2]	8,948	(0,34)	5,67	(0,23)	7,70	(0,29)	6,92	(0,33)	6,45	(0,29)
RQMEP[3]	3,107	(0,05)	2,19	(0,04)	2,54	(0,05)	2,95	(0,07)	2,31	(0,04)
BIC[4]	57,573	(0,74)	56,57	(0,83)	59,59	(0,81)	60,98	(0,82)	59,93	(0,70)
%AT[5]	26,73		19,62		23,96		33,02		17,37	
					OL≥3					
a	32,113	(0,232)	18,816	0,292	33,211	(0,076)	60,208	(1,12)	19,672	(0,342)
b	0,002	(0,000)	0,185	0,005	0,058	(0,000)	8,75	(1,71)	0,097	(0,007)
c	-	-	0,004	0,000	1,88	(4,21)	1,34	(4,23)	0,058	(0,003)
d	-	-	-	-	-	-	0,091	(0,013)	0,019	(0,002)
R^2A[1]	0,55	(0,01)	0,76	(0,01)	0,65	(0,01)	0,66	(0,01)	0,62	(0,01)
QMEP[2]	17,88	(0,67)	11,06	(0,46)	13,35	(0,50)	12,71	(0,58)	16,71	(0,63)
RQMEP[3]	4,22	(0,07)	3,03	(0,06)	3,34	(0,06)	3,80	(0,08)	3,67	(0,06)
BIC[4]	95,98	(2,70)	68,40	(2,28)	90,34	(2,06)	94,98	(2,42)	74,72	(0,57)
%AT[5]	14,24		14,21		35,9		40,95		14,13	

Valores entre parênteses=erro padrão; [1]Coeficiente de Determinação Ajustado; [2]Quadrado Médio do Erro de Predição; [3]Raiz do Quadrado Médio do Erro de Predição; [4]Critério Bayesiano de Informação; [5]Percentual de curvas atípicas; *a:* produção inicial teórica (GN, WD, CL, DJ); nível de produção (WL); *b:*constante de declínio da produção (GN); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (CL); taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (WD, WL); taxa de diferenciação de células ao parto (DJ); *c:*taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (CL); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WD); tempo em que ocorre o pico de lactação (WL); taxa de queda da velocidade de diferenciação de células (DJ); *d:*taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WL); taxa de morte de células diferenciadas (DJ);

Tabela 4 - Parâmetros médios e avaliadores de ajuste das funções utilizadas para descrever as lactações agrupadas no nível de produção 2 (NP2) e ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

Item	Gaines		Wood		Cobby e Le		Wilmink		Dijkstra	
					OL1					
a	24,83	(0,155)	16,17	(0,200)	39,00	(0,318)	75,551	(0,890)	14,773	(0,192)
b	0,001	(0,000)	0,145	(0,003)	0,056	(0,000)	2,561	(4,901)	0,070	(0,003)
c	-	-	0,003	(0,000)	2,93	(9,781)	15,911	(2,992)	0,057	(0,002)
d	-	-	-	-	-	-	0,099	(0,001)	(0.013	(0.001)
R^2A[1]	0.44	(0.08)	0,70	(0,01)	0,54	(0,02)	0,61	(0,01)	0,59	(0,09)
QMEP[2]	8.75	(0.21)	6,01	(0,26)	7,97	(0,24)	6,77	(0,22)	6,91	(0,17)
RQMEP[3]	3.03	(0.03)	2,21	(0,03)	2,52	(0,03)	2,83	(0,04)	2,61	(0,03)
BIC[4]	59.01	(0.42)	57,24	(4,95)	83,29	(4,16)	88,76	(4,76)	60,69	(0,44)
%AT[5]	27,26		20,64		27,98		34,34		26,57	
					OL2					
a	28,06	(0,148)	17,18	(0,187)	33,67	(0,166)	68,72	(1,06)	17,41	(0,056)
b	0,002	(0,000)	0,166	(0,003)	0,049	(0,000)	3,16	(7,91)	0,074	(0,001)
c	-	-	0,003	(0,000)	5,76	(1,92)	12,50	(2,17)	0,054	(0,001)
d	-	-	-	-	-	-	0,086	(0,001)	0,017	(0,001)
R^2A[1]	0,48	(0,07)	0,76	(0,07)	0,59	(0,01)	0,61	(0,01)	0,60	(0,08)
QMEP[2]	10,98	(0,24)	7,13	(0,20)	9,12	(0,22)	7,93	(0,21)	7,79	(0,20)
RQMEP[3]	3,39	(0,03)	2,39	(0,02)	2,73	(0,03)	3,11	(0,04)	2,51	(0,09)
BIC[4]	62,20	(0,42)	59,83	(2,00)	64,84	(1,76)	66,37	(1,84)	63,29	(0,36)
%AT[5]	21,01		19,51		25,37		35,83		25,50	
					OL≥3					
a	33,27	(0,109)	19,35	(0,134)	37,29	(0,060)	75,32	(0,900)	20,48	(0, 044)
b	0,002	(0,000)	0,182	(0,002)	0,066	(0,000)	3,68	(9,181)	0,103	(0,001)
c	-	-	0,004	(0,000)	3,32	(2,980)	1,75	(5,052)	0,055	(0,001)
d	-	-	-	-	-	-	0,107	(0,001)	0,021	(0,001)
R^2A[1]	0,52	(0,05)	0,73	(0,01)	0,59	(0,01)	0,63	(0,01)	0,60	(0,01)
QMEP[2]	20,86	(0,35)	14,59	(0,45)	20,49	(0,45)	17,37	(0,42)	18,99	(0,34)
RQMEP[3]	4,54	(0,03)	3,82	(0,04)	4,07	(0,04)	4,31	(0,04)	4,34	(0,03)
BIC[4]	106,5	(1,33)	68,95	(3,50)	130,8	(3,27)	135,98	(3,81)	98,53	(0,29)
%AT[5]	21,86		12,44		18,25		31,32		23,37	

Valores entre parênteses=erro padrão; [1]Coeficiente de Determinação Ajustado; [2]Quadrado Médio do Erro de Predição; [3]Raiz do Quadrado Médio do Erro de Predição; [4]Critério Bayesiano de Informação; [5]Percentual de curvas atípicas; *a:* produção inicial teórica (GN, WD, CL, DJ); nível de produção (WL); *b:*constante de declínio da produção (GN); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (CL); taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (WD, WL); taxa de diferenciação de células ao parto (DJ); *c:*taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (CL); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WD); tempo em que ocorre o pico de lactação (WL); taxa de queda da velocidade de diferenciação de células (DJ); *d:*taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WL); taxa de morte de células diferenciadas (DJ);

Tabela 5 - Parâmetros médios e avaliadores de ajuste das funções utilizadas para descrever as lactações agrupadas no nível de produção 3 (NP3) e ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

Item	Gaines		Wood		Cobby Le Du		Wilmink		Dijkstra	
					OL1					
a	28,397	(0,216)	16,588	(0,271)	30,99	(0,128)	66,27	(0,584)	14,92	(0,044)
b	0,001	(0,000)	0,166	(0,004)	0,035	(0,000)	1,48	(4,102)	0,125	(0,001)
c	-	-	0,002	(0,000)	3,89	(1,17)	6,11	(5,821)	0,060	(0,001)
d	-	-	-	-		-	0,072	(0,001)	0,014	(0,000)
R^2A[1]	0,307	(0,01)	0,73	(0,01)	0,47	(0,01)	0,46	(0,01)	0,625	(0,01)
QMEP[2]	16,53	(0,45)	9,66	(0,29)	11,05	(0,33)	11,54	(0,45)	11,056	(0,34)
RQMEP[3]	4,051	(0,05)	2,94	(0,04)	3,15	(0,05)	3,49	(0,06)	3,102	(0,04)
BIC[4]	335,02	(14,07)	85,23	(10,39)	89,72	(10,26)	294,54	(10,67)	297,34	(11,45)
%AT[5]	13,43		11,35		17,98		15,97		13,47	
					OL2					
a	32,785	(0,339)	19,079	(0,392)	33,373	(0,136)	76,365	(1,070)	19,173	(0,066)
b	0,002	(0,000)	0,179	(0,006)	0,048	(0,000)	1,11	(3,201)	0,093	(0,001)
c	-	-	0,003	(0,000)	5,769	(6,14)	25,28	(18,32)	0,073	(0,001)
d	-	-	-	-		-	0,091	(0,001)	0,018	(0,001)
R^2A[1]	0,439	(0,01)	0,73	(0,012)	0,68	(0,01)	0,58	(0,01)	0,64	(0,01)
QMEP[2]	19,14	(0,83)	10,42	(0,481)	13,62	(0,57)	15,50	(1,07)	14,09	(0,64)
RQMEP[3]	4,302	(0,07)	3,22	(0,061)	3,43	(0,07)	3,80	(0,09)	3,75	(0,06)
BIC[4]	262,78	(12,42)	93,71	(11,90)	95,90	(11,37)	279,19	(12,69)	241,1	(11,1)
%AT[5]	14,22		12,55		14,09		12,59		14,00	
					OL≥3					
a	35,864	(0,246)	20,169	(0,275)	37,776	(0,368)	75,733	(0,664)	20,923	(0,063)
b	0,002	(0,000)	0,192	(0,004)	0,056	(0,001)	8,71	(1,80)	0,092	(0,001)
c	-	-	0,004	(0,000)	2,53	(2,92)	11,43	(3,38)	0,058	(0,001)
d	-	-	-	-		-	0,092	(0,001)	0,018	(0,000)
R^2A[1]	0,486	(0,01)	0,70	(0,01)	0,58	(0,01)	0,61	(0,01)	0,57	(0,01)
QMEP[2]	26,08	(0,81)	15,99	(0,74)	20,63	(0,86)	19,80	(1,11)	23,19	(0,73)
RQMEP[3]	4,93	(0,07)	3,90	(0,07)	4,18	(0,08)	4,29	(0,11)	4,38	(0,06)
BIC[4]	321,32	(15,75)	92,35	(17,31)	97,83	(16,10)	239,21	(18,95)	228,66	(9,64)
%AT[5]	13,15		9,15		16,21		18,7		12,56	

Valores entre parênteses=erro padrão; [1]Coeficiente de Determinação Ajustado; [2]Quadrado Médio do Erro de Predição; [3]Raiz do Quadrado Médio do Erro de Predição; [4]Critério Bayesiano de Informação; [5]Percentual de curvas atípicas; *a:* produção inicial teórica (GN, WD, CL, DJ); nível de produção (WL); *b:*constante de declínio da produção (GN); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (CL); taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (WD, WL); taxa de diferenciação de células ao parto (DJ); *c:*taxa de acréscimo na produção até o pico de lactação (CL); taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WD); tempo em que ocorre o pico de lactação (WL); taxa de queda da velocidade de diferenciação de células (DJ); *d:*taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação (WL); taxa de morte de células diferenciadas (DJ);

Desta forma, menores %AT pela função de WD foram observados para o NP3 em todas as ordens de parto, possivelmente, devido ao maior número de controles por lactação (35) com menores intervalos (18 dias) e primeiro controle registrado até 17 dias pós-parto. Nos demais níveis de produção (NP1 e NP2), as curvas atípicas estimadas referiam-se, respectivamente, às lactações em que o primeiro controle ocorreu aos 28 e 21 dias e que dispunham em média de 10 e 14 controles registrados a cada 30 e 27 dias (Tabelas, 3, 4 e 5).

Em estudos semelhantes, o %AT obtidos pela função de Wood foi de 26,3% para lactações que dispunham de no mínimo de seis controles, sendo o primeiro registrado até 31 dias pós-parto (TEKERLI et al., 2000), 17,7% para primeiro controle realizado até 45 dias pós-parto e registros com intervalo de 14 a 70 dias (ATASHI et al., 2006), 15 a 42% para 10 controles com intervalo mensal (REKIK et al., 2003), 18% para controles mensais (JUNQUEIRA et al., 1997) e 1,92% para controles semanais (LOPES et al., 1996).

Em relação aos parâmetros e estimativas obtidas pela função de Wood, a produção inicial (a), taxa de acréscimo até o pico (b) e taxa de decréscimo após o pico (c) (Tabelas 3, 4, 5), bem como, o pico de lactação (Ymax) e a produção acumulada aos 305 dias (Y305) aumentaram proporcionalmente ao nível de produção e à ordem de parto. Entretanto, em seus respectivos níveis de produção, a persistência (S1 e S2) e o tempo de pico decresceram em função da ordem de lactação (Tabelas 6,7 e 8).

Esses resultados são esperados e corroboram os observados por Val-Arreola et al. (2004), Dematawewa et al. (2007) e Cole et al. (2009). A estratificação em níveis de produção agrupa rebanhos similares quanto ao potencial genético, manejo nutricional e sanitário. Entretanto, como a produção de leite é uma característica multifatorial, as diferenças observadas nas curvas entre e dentro dos rebanhos em seus respectivos níveis de produção devem-se a fatores genéticos e ambientais, bem como suas interações.

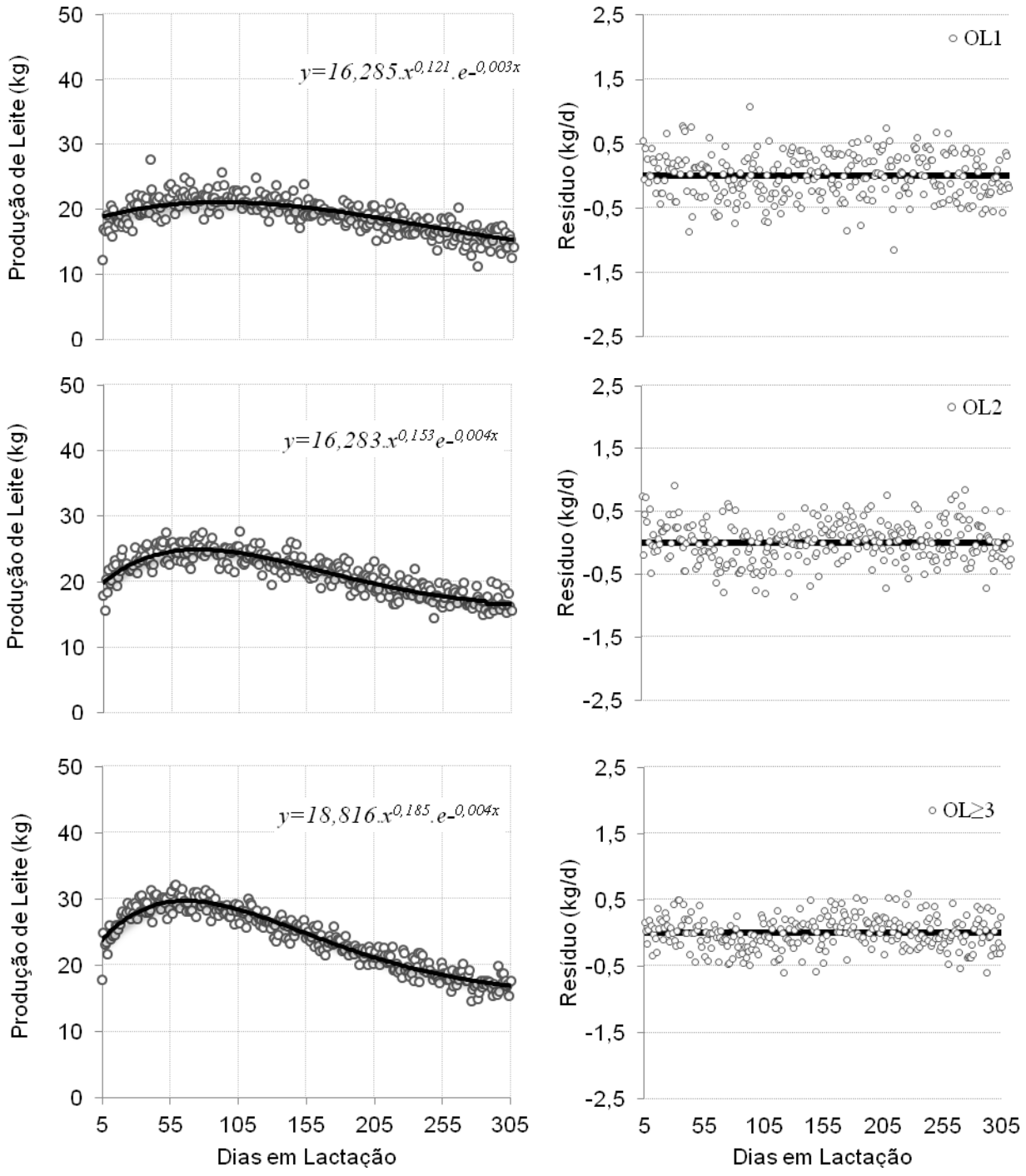

Figura 1 - Curvas de lactação e distribuição dos resíduos do nível de produção 1 (NP1) de acordo com a ordem de lactação (OL1, OL2 e OL≥3)

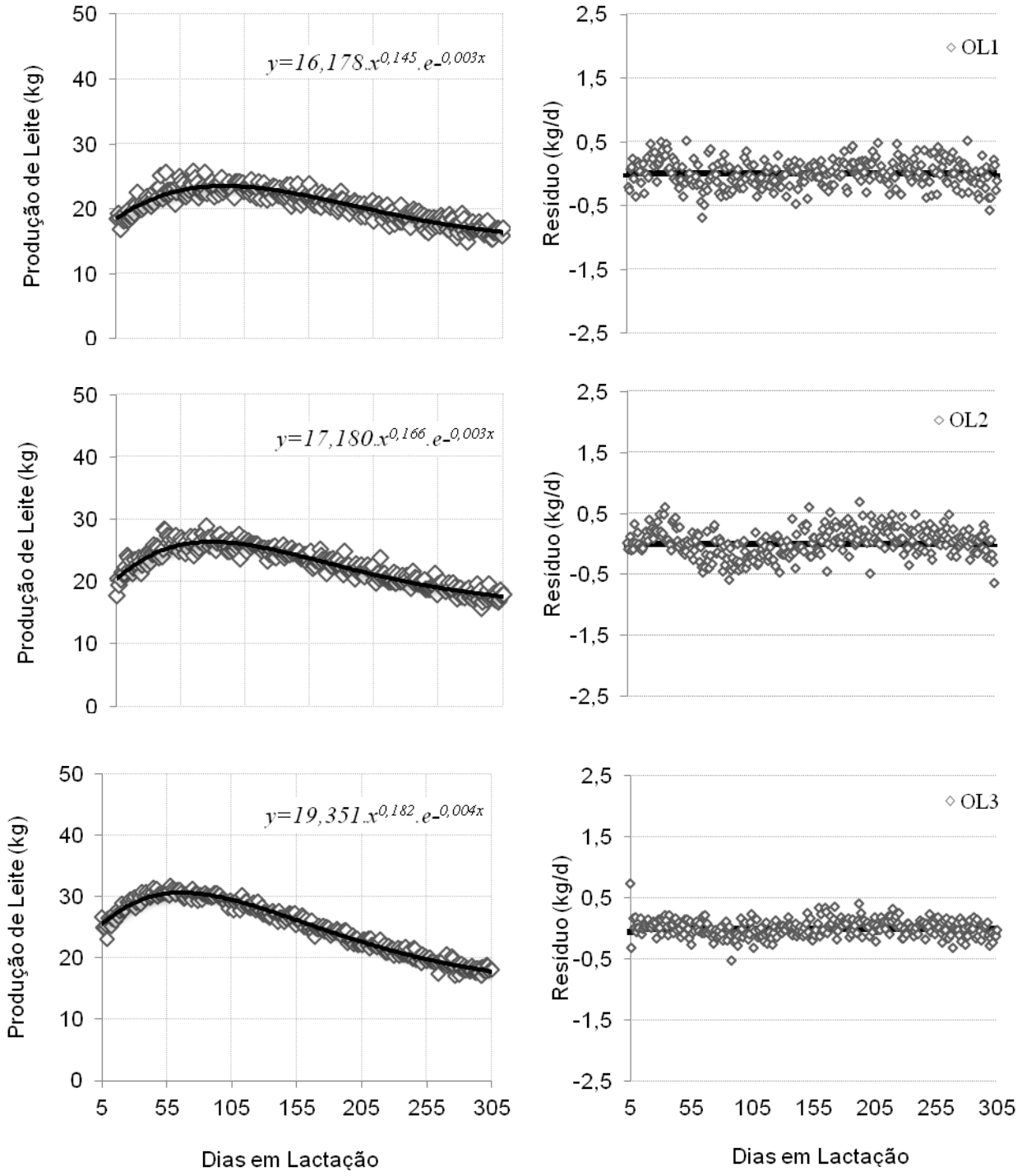

Figura 2 - Curvas de lactação e distribuição dos resíduos do nível de produção 2 (NP2) de acordo com a ordem de lactação (OL1, OL2 e OL≥3)

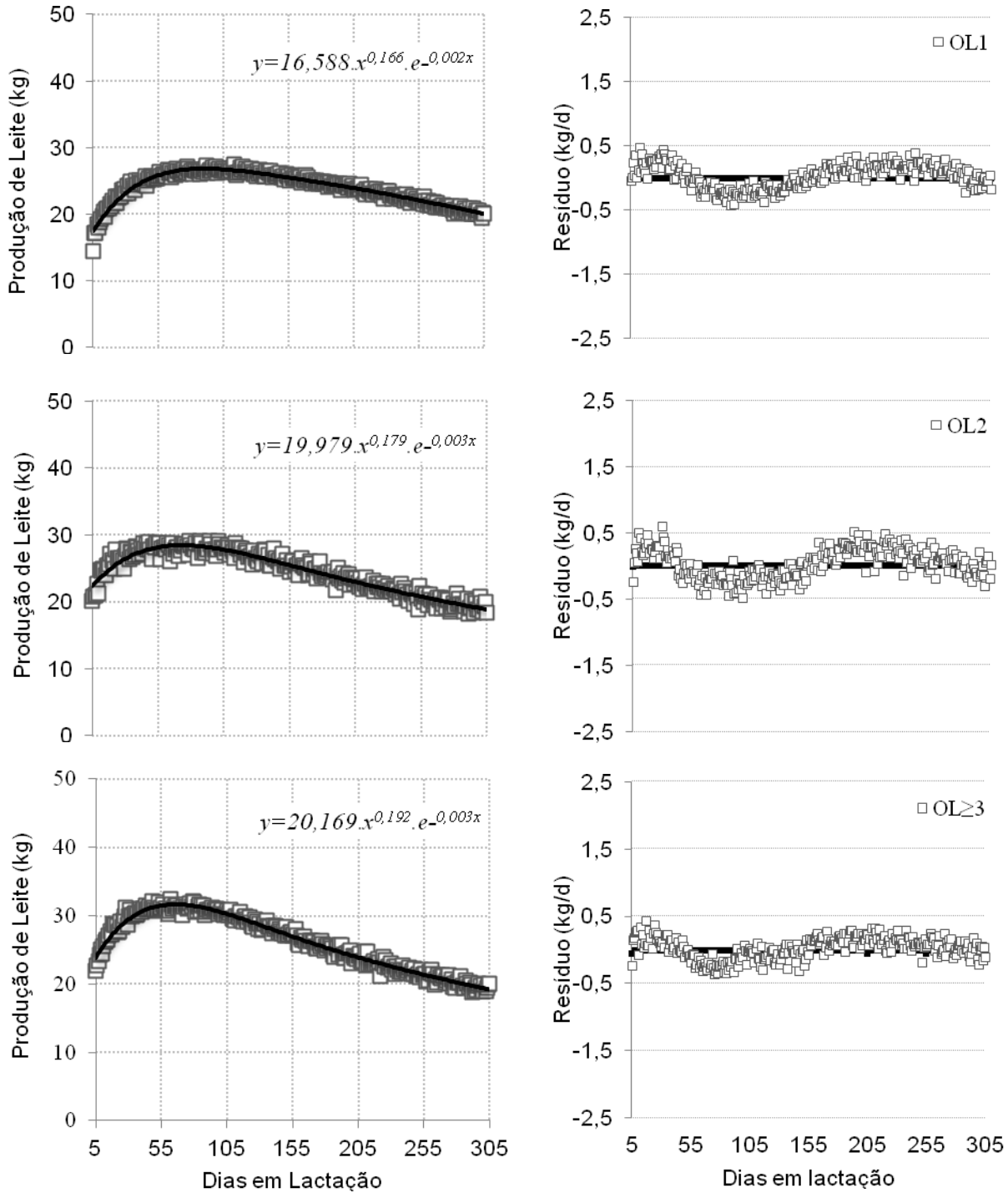

Figura 3 - Curvas de lactação e distribuição dos resíduos do nível de produção 3 (NP3) de acordo com a ordem de lactação (OL1, OL2 e OL≥3)

No entanto, independente do nível de produção, fêmeas adultas apresentam produção de leite 25% superior a de primíparas, devido ao desenvolvimento da glândula mamária (20%) e à capacidade respiratória e de ingestão de alimentos (5%) (ESSLEMONT et al., 1985 apud LOPES et al., 1996). Desta forma, a menor produção no pico, maior persistência de lactação e maior tempo de ascensão ao pico observados em fêmeas primíparas devem-se respectivamente ao menor grau de diferenciação, à maior taxa de proliferação (MILLER et al., 2006) e à menor atividade de secreção do epitélio mamário (RAO; SUNDARESAN, 1982).

Tabela 6 - Pico, tempo de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias estimados pela função de Wood para lactações agrupadas no nível de produção 1 (NP1) e ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

					Intervalo de Confiança	
	Estimativa	N	Média	Erro Padrão	Inferior	Superior
	Ymax[1]		23,02	0,28	22,45	23,59
	TYmax[2]		61,64	6,57	48,65	74,63
	S1[3]		6,87	0,05	6,76	6,97
OL1	S2[4]	307	256,43	2,13	252,21	260,65
	Y305[5]		5771,74	59,77	5654,08	5889,41
	PL305[6]		5624,73	67,22	5492,40	5757,06
	Desvio_%[7]		-3,59	0,61	-4,80	-2,38
	Ymax[1]		26,15	0,287	25,59	26,72
	TYmax[2]		62,61	5,963	50,87	74,35
	S1[3]		6,87	0,038	6,79	6,94
OL2	S2[4]	403	253,41	1,672	250,12	256,71
	Y305[5]		6388,25	62,783	6264,80	6511,69
	PL305[6]		6263,71	66,993	6131,99	6395,43
	Desvio_%[7]		-2,62	0,37	-3,36	-1,87
	Ymax[1]		28,08	0,227	30,64	31,53
	TYmax[2]		47,86	1,064	45,77	49,95
	S1[3]		6,65	0,019	6,61	6,68
OL ≥3	S2[4]	664	239,71	1,043	237,66	241,76
	Y305[5]		6590,41	53,10	6519,11	6657,71
	PL305[6]		6785,36	62,15	6663,29	6907,44
	Desvio_%[7]		-5,01	0,59	-5,47	-1,14

[1]Pico de lactação= $a(b/c)^b e^{-b}$; [2]Tempo de pico=(b/c); [3]Persistência =-(b+1)ln(c) (Wood, 1967); [4]Persistência = Y_{305}/Y_{max} (Madsen, 1975); [5]Produção acumulada aos 305 dias estimada= $a \int_0^t t^b e^{-ct} dt$; [6]Produção acumulada aos 305 dias observada=$[C_1E_1F_1+\Sigma[(C_i+C_{i-1})/2]E_i+C_nE_n]$(Brasil, 1986); [7]Desvio_%=[((PL305-Y305)/PL305)100];

Tabela 7 - Pico, tempo de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias estimados pela função de Wood para lactações agrupadas no nível de produção 2 (NP1) e ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

					Intervalo de Confiança	
	Estimativa	N	Média	Erro Padrão	Inferior	Superior
	Ymax[1]		25,01	0,19	24,63	25,40
	TYmax[2]		84,80	22,31	40,96	128,63
	S1[3]		6,94	0,02	6,89	6,99
OL1	S2[4]	1084	258,99	0,96	257,09	260,89
	Y305[5]		6155,42	39,90	6077,11	6233,72
	PL305[6]		6070,97	42,38	5987,80	6154,15
	Desvio_%[7]		-2,05	0,25	-2,56	-1,54
	Ymax[1]		27,85	0,17	27,50	28,19
	TYmax[2]		65,50	3,51	58,61	72,39
	S1[3]		6,91	0,01	6,87	6,95
OL2	S2[4]	1476	253,97	0,91	252,18	255,76
	Y305[5]		6768,63	33,52	6702,88	6834,39
	PL305[6]		6666,21	35,36	6596,83	6735,59
	Desvio_%[7]		-2,08	0,21	-2,50	-1,66
	Ymax[1]		32,00	0,10	31,79	32,21
	TYmax[2]		49,64	0,50	48,65	50,63
	S1[3]		6,70	0,09	6,68	6,71
OL ≥3	S2[4]	3076	243,46	0,44	242,58	244,34
	Y305[5]		7536,40	24,94	7487,48	7585,32
	PL305[6]		7147,38	30,22	7088,11	7206,64
	Desvio_%[7]		-7,47	0,31	-8,09	-6,86

[1]Pico de lactação= $a(b/c)^b e^{-b}$; [2]Tempo de pico=(b/c); [3]Persistência =-(b+1)ln(c) (Wood, 1967); [4]Persistência = Y_{305}/Y_{max} (Madsen, 1975); [5]Produção acumulada aos 305 dias estimada= $a \int_0^t t^b e^{-ct} dt$; [6]Produção acumulada aos 305 dias observada=$[C_1E_1F_1+\Sigma[(C_i+C_{i-1})/2]E_i+C_nE_n]$(Brasil, 1986); [7]Desvio_%=[((PL305-Y305)/PL305)100];

Em adição, independente da idade ou ordem de parto, após o pico de lactação a atividade de secreção do epitélio mamário diminui e inicia-se a apoptose na glândula mamária (CAPUCO et al., 2003). Esses eventos citológicos influenciam negativamente a persistência de lactação e apresentam-se pronunciados em fêmeas multíparas que por serem mais produtivas são propensas a desordens metabólicas e infecções intramamária na fase inicial da lactação.

Tabela 8 - Pico, tempo de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias estimados pela função de Wood para lactações agrupadas no nível de produção 3 (NP3) de acordo com a ordem de lactação (OL1, 2 e ≥3)

					Intervalo de Confiança	
	Estimativa	N	Média	Erro Padrão	Inferior	Superior
OL1	Ymax[1]	725	28,32	0,18	27,84	28,80
	TYmax[2]		110,82	10,69	68,93	152,71
	S1[3]		7,28	0,03	7,20	7,35
	S2[4]		269,10	0,746	266,93	271,28
	Y305[5]		7440,13	62,30	7317,71	7562,55
	PL305[6]		7231,19	68,90	7095,80	7366,57
	Desvio_%[7]		-4,03	0,50	-5,03	-3,04
OL2	Ymax[1]	480	32,06	0,30	31,40	32,72
	TYmax[2]		64,07	2,30	59,70	68,44
	S1[3]		6,93	0,03	6,87	6,99
	S2[4]		254,22	1,20	251,32	257,13
	Y305[5]		7755,47	87,00	7584,40	7926,55
	PL305[6]		7577,84	91,88	7397,18	7758,51
	Desvio_%[7]		-3,19	0,47	-4,12	-2,25
OL ≥3	Ymax[1]	885	34,65	0,21	34,19	35,10
	TYmax[2]		55,31	1,23	52,86	57,77
	S1[3]		6,79	0,02	6,75	6,82
	S2[4]		247,11	0,80	245,33	248,90
	Y305[5]		8225,56	61,82	8104,20	8346,92
	PL305[6]		7817,36	68,08	7683,71	7951,01
	Desvio_%[7]		-6,91	0,51	-7,92	-5,89

[1]Pico de lactação= $a(b/c)^b e^{-b}$; [2]Tempo de pico=(b/c); [3]Persistência =-(b+1)ln(c) (Wood, 1967); [4]Persistência = Y_{305}/Y_{max} (Madsen, 1975); [5]Produção acumulada aos 305 dias estimada= $a \int_0^t t^b e^{-ct} dt$; [6]Produção acumulada aos 305 dias observada=$[C_1E_1F_1+\Sigma[(C_i+C_{i-1})/2]E_i+C_nE_n]$(Brasil, 1986); [7]Desvio_%=[((PL305-Y305)/PL305)100];

2.4 Conclusão

A função de Wood obteve ajuste satisfatório e pode ser utilizada para modelar a produção de leite dos rebanhos em seus respectivos níveis de produção. Entretanto, além da ordem de parto, as curvas de lactação são influenciadas por fatores genéticos e ambientais cuja análise não foi objetivo deste estudo. Portanto, um estudo subseqüente faz-se necessário para que estes fatores sejam identificados e contrastados entre os níveis de produção e as estimativas obtidas sejam ajustadas de tais fontes de variação.

Referências

ATASHI, H.; MORADI SHAHRBABAK, M.; ABDOLMOHAMMADI, A. Study of suggested measures of milk yield persistency and their relationships. **International Journal of Agriculture & Biology**, Pakistan, v. 8, p. 387–390, 2006.

CAPUCO, A.V.; ELLIS, S.E.; HALE, S.A.; LONG, E.; ERDMAN, R.A.; ZHAO, X.; PAAPE, M.J. Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 18-31, 2003.

COBBY, J.M.; LE DU, Y.L.P. On fitting curves to lactation data. **Animal Production**, Bletchley, v. 26, p. 127-133, 1978.

COLE, J.B.; NULL, D.J.; VANRADEN, P.M. Best prediction of yields for long lactations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 1796-1810, 2009.

CONGLETON, W.R.; EVERETT, R.W. Application of the incomplete gamma function to predict cumulative milk production. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 63, p. 109-119, 1980.

CUNHA, D.N.F.V.; PEREIRA, J.C.; SILVA, F.F.; CAMPOS, O.F.; BRAGA, J.L.; MARTUSCELLO, J.A. Selection of models of lactation curves to use in models of milk production simulation systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 891-902, 2010.

DEKKERS, J.C.M.; TEM HAG, J.H.; WEERSINK, A. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 53, p. 237-252, 1998.

DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; VANRADEN, P.M. Modeling extended lactations of Holsteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 8, p. 3924-3936, 2007.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; MAAS, J.A.; HANIGAN, M.D.; ROOK, A.; SAND BEEVER, D.E. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 2340–2354, 1997.

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**, Viçosa, v. 28, p. 987-992, 1999.

GAINES, W.L. Interpretation of the lactation curve. **The Journal of General Physiology**, New York, v. 10, p. 27, Sept. 1926.

GROSSMAN, M.; HARTZ, S.M.; KOOPS, W.P. Persistency of lactation yield: a novel approach. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, p. 2192-2197, 1999.

JAKOBSEN, J.; MADSEN, P.; JENSEN, J.; PEERSEN, J.; CRISTIENSEN, L.G.; SORENSEN, D.A. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1607-1616, 2002.

JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L.R. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regression for yield traits of first lactation Holstein. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 762-770, 1997.

JUNQUEIRA, L.V.; NEIVA, R.S.; VEIGA, R.D. Estudo das curvas de lactação de vacas Holandesas de alguns rebanhos do Estado de Minas Gerais por intermédio de uma função gama incompleta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 1109-1118, 1997.

LOPES, M.A.; NEIVA, R.S.; VALENTE, J. Aplicação da função tipo gama incompleta no estudo da curva de lactação de vacas da raça Holandesa variedade preta-branca mantidas em sistema intensivo de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 25, p. 1086-110, 1996.

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**, Champaign, v. 88, p. 1178-1191, 2005.

MADSEN, O. A comparison of some suggested measures of persistency of milk yield in dairy cows. **Animal Production**, Bletchley, v. 20, p. 191–197, 1975.

MILLER, N.; DELBECCHI, L.; PETITCLERC, D.; WAGNER, G.F.; TALBOT, B.G.; LACASSE, P. Effect of stage of lactation and parity on mammary gland cell renewal. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 4669-4677, 2006.

RAO, M.K.; SUNDARESAN, D. Influence of environment and heredity on the shape of lactation curves in Sahiwal cows. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 92, p. 393-401, 1979.

REKIK, B.; GARA, A.B. Factors affecting accuracy of atypical lactations for Holstein-Friesian cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 87, p. 245-250, 2004.

REKIK, B.; GARA, A.B.; HAMOUDA, M.B.; HAMMAMI, H. Fitting lactation curves of dairy cattle in different types of herds in Tunisia. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 83, p. 309-315, 2003.

SANDERS, H.G. The analysis of the lactation curve into maximum yield and persistency. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 20, p. 45-185, 1930.

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...** São Paulo: SBZ, 2001. p. 361-374.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide:** statistics, version 8 Edition. Cary, 2000.

SILVESTRE, A.M.; PETIM-BATISTA, F.; COLAÇO, J. The accuracy of seven mathematical functions in modeling dairy cattle lactation curves based on test-day records from varying sample schemes. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 1813-1821, 2006.

TEKERLI, M.; AKINCHI, Z.; DOGAN, I.; AKCAN, A. Factors affecting the shape of lactation curves of holstein cows from the Balikesir Province of Turkey. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1381-1386, 2000.

VAL-ARREOLA, D.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 3789–3799, 2004.

VANRADEN, P.M.; DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; TOOKER, M.E. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 3213–3220, 2006.

VARGAS, B.; KOOPS, W.J.M.; VAN ARENDONK, J.A.M. Modeling extended lactations of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1371-1380, 2000.

WILMINK, J.B.M. Adjustment of test-day milk fat and protein yield for age season and stage of lactation. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 16, p. 335-348, 1987.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature,** London, v. 216, p. 164, 1967.

3 FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A CURVA DE LACTAÇÃO DE REBANHOS HOLANDESES

Resumo

A curva de lactação é a descrição gráfica da produção de leite em dado período de tempo, normalmente descrita por modelos matemáticos dos quais podem ser obtidos fatores multiplicativos de predição e estimativas de interesse econômico como o pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias. Entretanto, as curvas de lactação variam entre e dentro de rebanho devido a fatores genéticos e ambientais. Desta forma, utilizou-se a função gama incompleta para descrever 10.679 lactações de vacas holandesas pertencentes a 38 rebanhos estratificados em três níveis de produção. Posteriormente, avaliou-se a influência de fatores: ano de parto, época de parto, ordem de lactação, rebanho, nível de produção, duração da lactação, sobre os parâmetros e estimativas das curvas de lactação. Em seus respectivos níveis de produção, as médias dos parâmetros e estimativas aumentaram proporcionalmente às classes de duração da lactação e maiores estimativas foram observadas para multíparas na época seca do ano. Dado o exposto, para os rebanhos em estudos, fatores de predição da produção de leite aos 305 dias podem ser construídos de acordo com o nível de produção, ordem, época e duração da lactação.

Palavras-chave: Curva de lactação; Modelagem; Holandes

Abstract

The lactation curve is a graphic description of milk production in a period of lactation that is usually described by mathematical models which can be obtained by multiplicative factors for prediction and estimation of economic interest as the peak of persistency lactation and cumulative production to 305 days. However, lactation curves vary between and within-herd due to genetic and environmental factors. Thus, we used the incomplete gamma function to describe lactation of 10,679 cows belonging to Holstein cows distributed into 38 herds grouped in levels of production. Subsequently, we evaluated the influence of factors: year of birth, season of calving, lactation order, herd production level and duration of lactation, interaction factor of production order and lactation season of calving and lactation length, on the parameters and estimated. In their production levels, the mean estimates of parameters and classes increased in proportion to the duration of lactation and higher estimates were observed for multiparous in the dry season. Given the above, for livestock studies, predictors of milk production to 305 days can be constructed according to the level of production, order, timing and duration of lactation.

Keywords: Lactation curve; Modelling; Holstein

3.1 Introdução

A curva de lactação é a representação gráfica da produção de leite registrada em intervalos regulares em dado período de tempo, normalmente descrita por modelos matemáticos dos quais podem ser obtidos fatores multiplicativos de predição, bem como, estimativas de interesse bioeconômico como o pico, tempo de ascensão ao pico, persistência de lactação e produção acumulada aos 305 dias (REKAYA et al., 2000).

Basicamente, a principal finalidade das curvas de lactação é prever a produção acumulada a partir de registros parciais, possibilitando avaliar o desempenho produtivo do animal antecipadamente ao término da lactação. Adicionalmente, quando associadas às curvas de proteína e gordura, constituem uma ferramenta para a avaliação de respostas produtivas frente ao manejo nutricional adotado no rebanho (WHITTAKER et al., 1989).

Entretanto, as curvas de lactação variam individualmente entre e dentro dos rebanhos devido a fatores genéticos e ambientais (TEKERLI et al., 2000; COLDEBELLA et al., 2003; GROSSMAN et al., 2003; ROCHE et al., 2007) cuja identificação é importante para avaliação do potencial produtivo em reposta à interações genótipos-ambiente, adequação de práticas de manejo e obtenção de estimativas desprovidas de tais fontes de variação.

Dada à importância de estudos correlatos a modelagem e identificação de causas de variação na produção de leite, objetivou-se avaliar a influência de fatores ambientais sobre os parâmetros e estimativas das curvas de lactação, modeladas pela função gama incompleta (WOOD, 1967), de vacas holandesas pertencentes a rebanhos situados na região sudeste do Brasil, estratificados em três níveis de produção.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Banco de Dados

A base de dados em estudo é constituída por 10.679 lactações, encerradas no período de 1997 a 2009, de vacas holandesas de grupo genético PC (puro por cruza) e PO (puro de origem) pertencentes a 38 rebanhos, situados nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, participantes do Programa de Análise de Rebanhos Leiteiros da

Clínica do Leite-ESALQ/USP, laboratório sediado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo.

Na edição do banco de dados, os rebanhos foram estratificados, de acordo com a média de produção de leite aos 305 dias, em três níveis produção: NP1(≤6500), NP2 (6501-7500) e NP3 (≥7500 kg) e as lactações agrupadas em classes correspondentes à ordem de parto (OL1: fêmeas de primeira lactação, OL2: secunda lactação e OL≥3: terceira ou mais lactações), época de parto (EP1:abril a setembro; EP2:outubro a março) e duração da lactação (DIM1:200-250, DIM2:251-300, DIM3:301-350, DIM4:351-400, DIM5:401-450 dias), cuja descrição encontra-se disposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das lactações dos rebanhos em seus respectivos níveis de produção (NP1, NP2, NP3)

	Média (Erro padrão)		
Item	NP1	NP2	NP3
Número de rebanhos	12	15	11
Número de lactações	1666	6690	2323
Número de controles/lactação	10,45 (0,01)	10,84 (0,02)	44,69 (1,09)
IPC1 (dias)	20,38 (0,21)	20,62 (0,10)	16,19 (0,20)
IC (dias)	28,34 (0,07)	28,10 (0,02)	18,89 (0,23)
Gordura no leite (%)	3,46 (0,01)	3,45 (0,06)	3,55 (0,02)
Proteína no leite (%)	3,15 (0,06)	3,09 (0,03)	3,04 (0,08)
Proteína/Gordura no leite*	1,10 (0,04)	1,11 (0,02)	1,17 (0,07)
CCS** (células/mL)	537,19 (21,15)	424,24 (9,31)	430,11 (27,40)
Produção diária (kg)	21,68 (0,04)	23,56 (0,02)	26,26 (0,02)
PL305 (kg) ***	6374,32 (37,93)	6966,08 (20,36)	7916,16 (39,27)

IPC1= intervalo do parto ao primeiro controle; IC= intervalo de controles ao longo da lactação; NP1(≤6500), NP2 (6501-7500) e NP3 (≥7500 kg aos 305 dias);* Relação de proteína e gordura no leite; **Contagem de células somáticas no leite; ***Produção de leite acumulada aos 305 dias=$[C_1E_1F_1+\Sigma[(C_i+C_{i-1})/2]E_i+C_nE_n]$(Brasil, 1986)

3.2.2 Análise Estatística

Modelagem

As lactações foram modeladas pela função gama incompleta (WOOD, 1967) expressa por $Y_t=at^be^{-ct}$ em que Y_t é a produção de leite (kg/dia), *t* o tempo de lactação (dias), *e* a base dos logaritmos naturais, *a, b* e *c* são parâmetros relacionados, respectivamente, à produção inicial teórica, taxa de acréscimo na produção de leite até o pico e taxa de decréscimo na produção após o pico de lactação.

De posse dos parâmetros estimados, pelo método iterativo de Gauss-Newton, disponível no procedimento NLIM (SAS INSTITUTE, 2000), foram obtidas estimativas do pico de lactação ($Y_{max}= a(b/c)^b e^{-b}$), tempo de pico ($TY_{max} = b/c$), persistência ($S=-(b+1)\ln(c)$) e produção acumulada aos 305 dias ($Y_{305}= a \int_0^t t^b e^{-ct} dt$). Em adição, para avaliar a qualidade do ajuste da função de Wood às lactações em estudo foi calculado o coeficiente de determinação (R_2), quadrado médio do erro de predição (QMEP), critério bayesiano de informação (BIC) e percentual de curvas atípicas (%AT) cujos resultados encontram-se dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliadores da qualidade do ajuste da função de Wood às lactações em seus respectivos níveis de produção (NP1, NP2, NP3) e ordem de parto (OL1, OL2,OL ≥3)

Grupo		n	Média (Erro Padrão)			
			R_2*	QMEP**	BIC***	%AT****
NP1	OL1	397	0,77 (0,01)	4,19 (0,19)	51,78 (0,75)	22,49
	OL2	499	0,78 (0,01)	5,67 (0,23)	56,57 (0,83)	19,62
	OL≥3	770	0,76 (0,01)	11,06 (0,46)	68,40 (2,28)	14,21
NP2	OL1	1367	0,70 (0,01)	6,01 (0,26)	57,24 (4,95)	20,64
	OL2	1820	0,76 (0,07)	7,13 (0,20)	59,83 (2,00)	19,51
	OL≥3	3503	0,73 (0,01)	14,59 (0,45)	68,95 (3,50)	12,44
NP3	OL1	802	0,73 (0,01)	9,66 (0,29)	85,23 (10,39)	11,35
	OL2	553	0,73 (0,01)	10,42 (0,48)	93,71 (11,90)	12,55
	OL≥3	968	0,70 (0,01)	15,99 (0,74)	92,35 (17,31)	9,15

NP1(≤6500), NP2 (6501-7500) e NP3 (≥7500 kg aos 305 dias); *Coeficiente de determinação= 1-[(Soma de quadrados do erro)/(Soma de quadrados total corrigida)]; **Quadrado Médio do erro de predição = ∑ (produção observada- produção predita) ^{2}/n; ***Critério Bayesiano de Informação=-2log(j)+klog(n) em que j=máxima verossimilhança, k=número de parâmetros do modelo e n=número de observações; ****Percentual de curvas atípicas=[(número de lactações ajustadas com parâmetros negativos/ número total de lactações ajustadas)100];

Maiores valores de R_2 (que se refere à proporção da variação total na produção de leite explicada pelo modelo) associados a menores valores de QMEP (relacionado a acuraria de predição), BIC (que mede o ajuste do modelo por meio da máxima verossimilhança) e %AT (que reflete, em parte, a habilidade da função em descrever a produção de leite) indicam um bom ajuste do modelo (Tabela 2). Adicionalmente, pela análise dos resíduos, verificou-se que os mesmos distribuíram-se em torno de ±1,5kg ao longo do período de lactação indicando que as diferenças entre a produção observada e predita foram relativamente pequenas em cada ponto da curva.

Análise de variância

Para compor o modelo de identificação dos fatores genéticos e ambientais que influenciam os parâmetros e estimativas das curvas modeladas pela função de Wood, realizou-se uma seleção de variáveis preditoras (ano de parto, rebanho, nível de produção, época, grupo genético, ordem de parto e duração da lactação) pelo método Stepwise, disponível no procedimento REG (SAS INSTITUTE, 2000). Dentre os fatores avaliados, somente o grupo genético não influenciou significativamente as variáveis em estudo.

Desta forma, adotou-se o seguinte modelo estatístico do qual foram obtidas médias ajustadas e comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05) através do procedimento GLM (SAS INSTITUTE, 2000): $Y_{ijklmn} = \mu+N_i+R_j+A_k+E_l+O_m+D_n+NE_{il}+NO_{im}+ND_{in}+\varepsilon_{ijklmn}$ em que Y_{ijklmn} = *a*, *b*, *c*, Y_{max}, TY_{max}, S, Y_{305}; μ = média; N_i= nível de produção ($_i$ = NP1, NP2, NP3); R_j = rebanho ($_j$= 1;...;38); A_k = ano ($_k$ = 97;...,09); E_l = época ($_l$=EP1;EP2); O_m = ordem de parto ($_m$=OL1;...;OL≥3); D_n= duração de lactação ($_n$=DIM1;...;DIM5); NO_{im}, ND_{in}, NE_{il} = interações; ε_{ijklmn}= erro aleatório. Todos os fatores foram considerados como efeitos fixos, enquanto as fontes de variação ano de parto e rebanho foram incluídas como co-variáveis no modelo estatístico.

3.3 Resultados e Discussão

Todas as fontes de variação influenciaram significativamente, de forma independente e ou sob interação, os parâmetros e estimativas das curvas de lactação modeladas pela função de Wood. Entretanto, os fatores avaliados explicaram aquém do esperado as variações observadas, principalmente, em relação aos parâmetros *a* e *b,* cujos coeficientes de variação ultrapassaram 50% enquanto os coeficientes de determinação do modelo foram inferiores a 10% (Tabela 3).

Resultado semelhante foi observado em relação ao tempo de pico que variou somente em função da ordem de parto que explicou 1% da variação desta estimativa da curva de lactação (Tabela 3). Entretanto, este resultado pode estar relacionado à inabilidade da função de Wood em descrever corretamente o tempo de ascensão ao pico de lactações com número reduzido de controles na fase inicial da lactação.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância dos fatores ambientais que afetam os parâmetros e estimativas das curvas de lactação modeladas pela função de Wood

		—Quadrados Médios—						
Fatores	gl	*a*	*b*	*c*	Ymax	TYmax	S	Y305
NP	2	263.2*	0.77**	7.4 x10^{-6}	4808.42**	24635.96	15.41**	3948099**
REB	1	14.8	0.02	1.12 x10^{-5}	368.17*	35010.10	2.51*	167187*
AP	1	3505.0**	4.68**	4.0 x10^{-9}	1083.15*	317197**	143.49**	1137312**
EP	1	503.7*	1.88**	7.0 x10^{-4}**	3045.64**	98204.98	6.82*	285035*
OL	2	12617.9*	0.20*	5.5 x10^{-4}**	15398.99*	802826**	130.39**	3826314**
DIM	4	897.2**	1.04**	7.4 x10^{-4}**	85.27*	24511.77	5.23**	5573808**
NP*OL	4	255.2*	0.22*	1.3 x10^{-5}*	217.35**	40632.58	7.11**	144153**
NP*DIM	8	169.8*	0.05	4.1 x10^{-6}	107.79**	16367.52	1.86*	80145**
NP*EP	2	315.2*	0.31*	1.0 x10^{-5}	94.06*	1503.09	3.61*	113445**
Resíduo	9068	59.25	0.039	4.3 x10^{-6}	30.38	25932.4	0.53	2002637
CV(%)	-	55.69	69.58	50.43	18.80	92.96	10.22	19.65
R^2	-	0.07	0.051	0.16	0.30	0.01	0.12	0.38

*a:*produção inicial teórica *b:*taxa de acréscimo até o pico; *c:* taxa de decréscimo após o pico de lactação; Ymax=pico de lactação; TYmax=tempo de pico; S=persistência; Y305=produção acumulada aos 305 dias; REB=rebanho; NP=nível de produção; AP=ano de parto; OL=ordem de lactação; DIM=duração da lactação; EP=época de parto; NP*OL= interação do nível de produção e ordem de lactação; NP*DIM= nível de produção e duração da lactação; NP*EP=nível de produção e época de parto; $^{*}p<0,05$; $^{**}p<0,01$;

Ano de parto

Todos os parâmetros (exceto o parâmetro *c*) e estimativas das curvas de lactação variaram em função do ano de parto (Tabela 3), dado às oscilações na rentabilidade da atividade leiteira (RENNÓ et al., 2002), composição genética (COBUCI et al., 2001), gestão e manejo alimentar ao longo dos anos (HATUNGUMUKAMA et al., 2008). Embora este fator seja, comumente, incluído no modelo estatístico, variações na produção de leite devem ser comparadas na base intra-ano (QUIRINO et al., 1998), simultaneamente a outras características econômicas da atividade leiteira.

Rebanho

No tocante ao efeito de rebanho, somente as estimativas de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias variaram em função do mesmo (Tabela 3), possivelmente, dado à estratificação dos rebanhos em níveis de produção. Em geral, este efeito engloba diferenças relacionadas ao nível tecnológico, número de vacas em produção, manejo nutricional e sanitário, localização, potencial genético dos animais, critérios de seleção e descarte adotados em cada rebanho.

Nível de produção

Em estudos semelhantes, grande parte da variação na produção de leite tem sido atribuída ao efeito de rebanho (TEKERLI et al., 2000; ILATSIA et al., 2007; RHONE et al., 2008). Entretanto, dado à estratificação por nível de produção que agrupa rebanhos similares quanto aos aspectos supracitados, o fator nível de produção constitui uma das principais fontes de variabilidade nas curvas de lactação em estudo. Portanto, esta discussão será pautada pelos resultados obtidos após o desdobramento das interações deste fator com as demais fontes de variação: ordem de parto, duração da lactação e época de parto.

Nível de produção e época de parto

Independente do nível de produção dos rebanhos, os partos concentraram-se na época seca (NP1: 59,5%, NP2: 58,9%, NP3: 59,3%), visto que as lactações iniciaram-se entre os meses de abril e setembro que coincide com o período de “formação da cota de leite” (março a agosto), programa instaurado pela indústria, para captar um volume constante ao longo do ano, em que o produtor recebe maior remuneração por litro de leite extra entregue neste período.

No tocante à interação de nível de produção e época de parto (NP*EP) os parâmetros (*a* e *b*), bem como, as estimativas das curvas de lactação (Ymax, S, Y305) variaram em função da mesma (Tabela 3), cujo desdobramento foi significativo em todos os NP ($p<0,01$) e EP ($p<0,05$). Entretanto, observou-se que o parâmetro *c* variou somente em função da EP independente do NP dos rebanhos.

De forma geral, nos níveis de maior produção de leite (NP2 e NP3) as lactações iniciadas na época seca (EP1: abril a setembro) apresentaram maior produção inicial, taxa de acréscimo na produção até o pico, assim como, taxa de decréscimo na produção após o pico, pico e produção acumulada aos 305 dias, enquanto, as lactações iniciadas na época das águas (EP2: outubro a março) apresentaram maior persistência (Tabela 4 e Figura 1).

Tabela 4 - Médias dos parâmetros *a*, *b* e *c* em função do nível de produção (NP) e época de parto (EP)

Interação		n	Média (Erro padrão)								
			a			*b*			*c*		
NP1	EP1	813	17.130	(0.334)	Ab	0.165	(0.005)	Ab	0.003	(0.000)	A
	EP2	554	17.786	(0.360)	Aab	0.133	(0.005)	Bc	0.002	(0.000)	B
NP2	EP1	3293	17.677	(0.162)	Ab	0.178	(0.002)	Aab	0.003	(0.000)	A
	EP2	2309	17.596	(0.178)	Ab	0.151	(0.002)	Bb	0.002	(0.000)	B
NP3	EP1	1269	18.619	(0.253)	Aa	0.190	(0.003)	Aa	0.003	(0.000)	A
	EP2	869	18.574	(0.288)	Aa	0.168	(0.004)	Ba	0.002	(0.000)	B

*a:*produção inicial teórica *b:*taxa de acréscimo até o pico; *c:* taxa de decréscimo após o pico de lactação; NP=nível de produção; EP=época de parto em que EP1=Abril a Setembro e EP2= Outubro a Março; Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem, respectivamente, dentro e entre NP pelo teste de Tukey a $p<0.05$;

Entretanto, as diferenças médias observadas nas curvas de lactação entre as épocas do ano são relativamente pequenas e um adicional de 119,62 (NP1), 189,69 (NP2) e 135,48 kg (NP3) na produção acumulada aos 305 dias foi observado para lactações iniciadas na época seca. Esses resultados corroboram os observados em estudos semelhantes com vacas holandesas no Arizona (RAY et al., 1992); Turquia (TEKERLI et al., 2000) e Tunísia (REKIK et al., 2004).

No Brasil, maiores produções acumuladas aos 305 dias foram observadas durante a época seca do ano no estado do Paraná (RIBAS et al., 1996; PIMPÃO et al., 1997), Rio Grande do Sul (NORO et al., 2006) e Minas Gerais (ARAÚJO et al., 2000). Esses resultados são comumente atribuídos às melhores condições climáticas (diminuição da temperatura e umidade) associadas ao manejo alimentar/nutricional (disponibilidade de forrageiras de inverno e suplementação) observadas na época seca do ano.

Em geral, oscilações observadas na curva de lactação em função da época de parto são esperadas, visto que este efeito engloba variações nas condições climáticas que afetam direta (conforto térmico) e indiretamente (disponibilidade de alimentos, incidência de doenças infecto-contagiosas e parasitárias) o desempenho produtivo e reprodutivo de bovinos leiteiros (WEST et al., 2003).

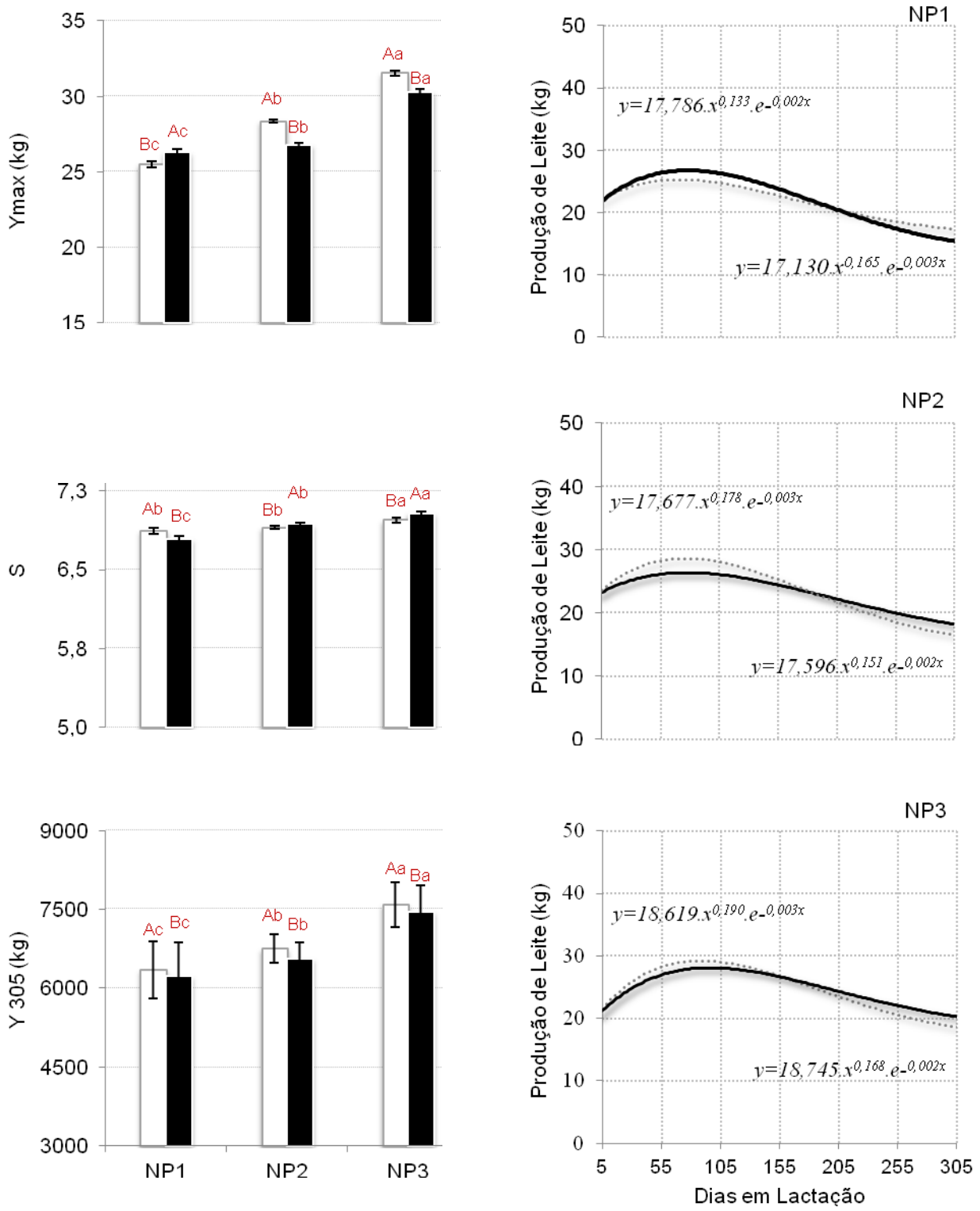

Figura 1 - Curvas de lactação e médias ajustadas das estimativas de pico (Ymax), persistência (S) e produção acumulada aos 305 dias (Y305) em função do nível de produção (NP) e época de parto: □ EP1(.....) ■ EP2 (—)

No tocante aos efeitos indiretos, com a diminuição da temperatura, precipitação e luminosidade na época seca, observa-se um decréscimo na produção e no valor nutricional das forrageiras. Desta forma, em explorações leiteiras dependentes de pastagens e ou cujo nível tecnológico não permite a suplementação adequada em termos quantitativos e qualitativos, observa-se menor produção de leite na época seca, principalmente, na fase inicial da lactação, conforme observado no NP1 (Figura 1).

Em relação aos efeitos diretos, o aumento da temperatura, umidade relativa e incidência de radiação, bem como, a baixa velocidade dos ventos afetam a eficiência dos mecanismos de termorregulação de bovinos leiteiros (DIKMEN; HANSEN, 2009). Vacas holandesas manejadas em ambientes cujo índice de temperatura e umidade (ITU) ultrapassa a 72, encontram-se em estresse térmico (JOHNSON, 1980) e expressam alterações comportamentais e metabólicas que repercutem negativamente sobre a produção de leite (RHOADS et al., 2009).

Tendo em vista que os rebanhos em estudo situam-se na região sudeste do Brasil onde na época das águas observou-se que 34,6% do total de horas computado de dezembro a março apresentou um índice de temperatura e umidade de 74 a 79 (OLIVEIRA et al., 2006), o estresse térmico constitui o principal fator limitante para a produção de leite, mesmo em explorações que adotam um manejo nutricional adequado e similar ao longo do ano.

Nível de produção e duração da lactação

No tocante às curvas de lactação, o parâmetro *a* (produção inicial), pico (Ymax), persistência (S) e produção total aos 305 dias (Y305) variaram em função da interação do nível de produção e duração da lactação (NP*DIM), cujo desdobramento foi significativo em todos os NP ($p<0.05$) e classes de DIM ($p<0.01$). Entretanto, os parâmetros *b* e *c* variaram somente em função da duração da lactação, independente do nível de produção dos rebanhos (Tabela 3).

Em todos os níveis de produção, as médias do parâmetro *a* e das estimativas de Ymax, S e Y305 aumentaram proporcionalmente às classes de DIM, enquanto as médias dos parâmetros *b* e *c* decresceram em relação às mesmas. Entretanto, corroborando os resultados de Dematawewa et al. (2007) e Vanraden et al. (2006), não

foram observadas diferenças contrastantes no pico de lactação entre as classes de duração da lactação (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias dos parâmetros *a*, *b*, *c* e estimativas de pico, persistência e produção acumulada aos 305 dias em função da interação do nível de produção (NP) e duração da lactação (DIM)

Interação		n	Média (Erro padrão)								
			a			*b*			*c*		
NP1	DIM 1	126	16.627	(0.801)	Aa	0.170	(0.012)	Aa	0.004	(0.000)	Aa
	DIM 2	322	17.433	(0.471)	Aa	0.148	(0.007)	ABb	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 3	421	17.221	(0.391)	Aa	0.163	(0.005)	Aa	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 4	368	16.950	(0.395)	Ab	0.155	(0.005)	Aa	0.002	(0.000)	Ba
	DIM 5	130	19.059	(0.704)	Aa	0.110	(0.010)	Bb	0.001	(0.000)	Ca
NP2	DIM 1	482	17.509	(0.366)	ABa	0.170	(0.005)	Aa	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 2	1147	17.299	(0.248)	Ba	0.172	(0.003)	Aab	0.003	(0.000)	ABa
	DIM 3	1647	17.186	(0.208)	Ba	0.173	(0.003)	Aa	0.003	(0.000)	Ba
	DIM 4	1427	17.596	(0.217)	ABb	0.161	(0.003)	ABa	0.002	(0.000)	Ca
	DIM 5	899	18.590	(0.258)	Aa	0.147	(0.003)	Bab	0.002	(0.000)	Da
NP3	DIM 1	212	17.763	(0.599)	ABa	0.195	(0.009)	ABa	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 2	449	18.206	(0.392)	Ba	0.190	(0.005)	Aa	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 3	491	18.046	(0.371)	Ba	0.190	(0.005)	Aa	0.003	(0.000)	Aa
	DIM 4	330	20.136	(0.429)	Aa	0.158	(0.006)	Ca	0.002	(0.000)	Ba
	DIM 5	649	18.831	(0.313)	ABa	0.161	(0.004)	BCa	0.002	(0.000)	Ba
			Ymax			S			Y305		
NP1	DIM 1	126	25.37	(0.49)	ABb	6.72	(0.06)	BCa	4758.3	(124.32)	Eb
	DIM 2	322	25.32	(0.31)	Bc	6.71	(0.03)	Cb	5634.7	(79.96)	DC
	DIM 3	421	26.70	(0.27)	Ab	6.73	(0.03)	Cb	6458.7	(69.15)	Cc
	DIM 4	368	26.84	(0.29)	Ab	6.94	(0.03)	AB	6866.2	(73.41)	Bb
	DIM 5	130	26.46	(0.48)	ABb	7.05	(0.05)	Aa	7713.9	(121.81)	Ac
NP2	DIM 1	482	26.69	(0.25)	Bb	6.71	(0.03)	Ca	4980.1	(64.26)	Eb
	DIM 2	1147	27.23	(0.16)	Bb	6.78	(0.02)	Cb	6217.2	(42.54)	Db
	DIM 3	1647	27.60	(0.14)	ABb	6.82	(0.01)	Cb	6799.3	(35.45)	Cb
	DIM 4	1427	27.63	(0.15)	ABb	6.92	(0.01)	Ba	7018.4	(38.19)	Bb
	DIM 5	899	28.22	(0.18)	Ab	7.03	(0.02)	A	8254.3	(46.62)	Ab
NP3	DIM 1	212	30.05	(0.38)	ABa	6.85	(0.05)	Ba	5725.2	(97.220	Da
	DIM 2	449	31.56	(0.26)	Aa	6.96	(0.03)	ABa	7230.6	(66.81)	Ca
	DIM 3	491	31.38	(0.25)	Aa	7.01	(0.03)	ABa	7932.6	(63.57)	Ba
	DIM 4	330	31.59	(0.30)	Aa	6.97	(0.03)	AB	8056.6	(76.96)	Ba
	DIM 5	649	29.96	(0.22)	Ba	7.07	(0.02)	Aa	8876.8	(55.94)	Aa

*a:*produção inicial teórica; *b:*taxa de acréscimo até o pico; *c:* taxa de decréscimo após o pico de lactação; Ymax=pico de lactação; S=persistência, Ymax: produção acumulada aos 305 dias; DIM1 (200-250), DIM2 (251-300), DIM3 (301-350), DIM4 (351-400) e DIM5 (401-450 dias); Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem, respectivamente, dentro e entre NP pelo teste de Tukey a $p<0.05$;

De forma geral, lactações curtas (DIM1:200-250 dias) apresentaram maior taxa de decréscimo após o pico de lactação, baixa persistência de lactação e menor produção de leite aos 305 dias (Tabela 5) corroborando os resultados observados por Dematawewa et al. (2007) que, adicionalmente, observaram maior tempo de pico em lactações de maior duração, e de Vargas et al. (2000) que identificaram um adicional de 26% na produção total de leite de lactações com período de duração médio de 16 meses.

As maiores produções observadas nas curvas de lactação agrupadas nas classes de DIM4 (351-400) e DIM5 (401-450 dias) podem estar relacionadas ao fato de que os processos que repercutem sobre as lactações estendidas diferem dos que atuam sobre lactações com duração padrão de 305 dias (tradicionalmente recomendadas para obtenção de uma lactação/vaca/ano), visto que apresentam longos períodos em aberto e não sofrem influência dos efeitos fisioendócrinos da gestação (DEMATAWEWA et al., 2007).

Basicamente, o efeito da gestação sobre a produção de leite deve-se ao fato de que aproximadamente aos 100 dias, a unidade feto-placentária inicia a produção de estrógeno (BACHMAN et al., 1988) que atua reduzindo a atividade de secreção do epitélio mamário e aumentando a taxa de apoptose (CAPUCO et al., 2003), consequentemente, as curvas de lactação de vacas gestantes são menos persistentes.

Na análise descritiva, observou-se que o período de lactação médio foi superior a 305 dias e aumentou proporcionalmente ao nível de produção dos rebanhos (NP1:327,67±56,60; NP2:337,09±61,62; NP3:349,68±77,51). Em adição, foi observado que 28,82% das lactações agrupadas no NP1, 33,82% no NP2 e 41,41% no NP3 apresentaram duração superior ou igual 365 dias.

Lactações estendidas (>360 dias) normalmente estão relacionadas à ineficiência na execução de práticas de manejo reprodutivo (identificação de cio, inseminação artificial, diagnóstico de gestação), bem como, ao atraso intencional de coberturas frente a fatores sazonais ou respostas produtivas decorrentes, por exemplo, da administração de somatotropina bovina (LUNA-DOMINGUES et al., 2000).

Adicionalmente podem estar associadas a falhas de concepção no início da lactação (VARGAS et al., 2000), fase em que 80% das vacas apresentam balanço

energético negativo (DE VRIES; VEERKAMP, 2000) que influencia negativamente a eficiência reprodutiva, principalmente de rebanhos de alta produção. Nestas condições, na ausência de gestação concomitante a boa produção de leite, a extensão do período de lactação constitui, em parte, uma estratégia viável (TARAZON-HERRERA et al., 2000).

Nível de produção e Ordem de parto

Todos os parâmetros *a, b* e *c* e estimativas de Ymax, S e Y305 das curvas modeladas pela função de Wood, variaram em função da interação dos fatores nível de produção e ordem de lactação (NP*OL), cujo desdobramento foi significativo em todos os NP ($p<0,01$) e OL ($p<0,05$). Entretanto, a estimativa de tempo de pico (TYmax) variou somente em função da paridade ($p<0,05$) independente do NP dos rebanhos (Tabela 3).

De forma geral, as médias dos parâmetros e estimativas obtidas após o desdobramento da interação NP*OL, aumentaram proporcionalmente à ordem de parto e ao nível de produção dos rebanhos, exceto a S e TYmax cujas médias decresceram com o aumento da paridade (Tabela 7 e Figura 3) corroborando os resultados reportados por Val-Arreola et al. (2004), Vanraden et al. (2006) e Dematawewa et al. (2007).

Em todos os níveis de produção, a razão média do pico de lactação foi de 85% entre fêmeas primíparas (OL1) e secundíparas (OL2) e de 79% para vacas primíparas e multíparas (OL≥3). O tempo de ascensão ao pico observado neste estudo corrobora o reportado por Cobuci et al. (2004) que observou-se ocorrência de pico entre 60 a 90 dias, 55 a 87 dias (MELO et al., 2005) e em média aos 60 dias após o parto (MOLENTO et al., 2004).

Entretanto, variações na curva de lactação em função da ordem de parto são esperadas e independem do nível de produção dos rebanhos, devido às diferenças morfofisiológicas entre multíparas e primíparas relacionadas, principalmente, ao desenvolvimento (número de células diferenciadas) e à dinâmica (atividade de secreção) do epitélio mamário em dado estágio da lactação (CAPUCO et al., 2003; MILLER et al., 2006).

Tabela 6 - Médias dos parâmetros das curvas modeladas pela função de Wood em função da interação do nível de produção (NP) e ordem de lactação (OL)

Interação		n	Média (Erro padrão)										
			a			*b*			*c*				
NP1	OL 1	308	16.286	(0.525)	Ba	0.115	(0.007)	Cc	0.002497	(0.000)	Ca
	OL 2	401	17.044	(0.418)	Bb	0.150	(0.006)	Bb	0.002989	(0.000)	Ba
	OL ≥3	658	18.803	(0.324)	Ab	0.183	(0.004)	Aa	0.003867	(0.000)	Aa
NP2	OL 1	1093	16.474	(0.271)	Ca	0.145	(0.004)	Cb	0.002687	(0.000)	Ca
	OL 2	1474	17.310	(0.221)	Bb	0.164	(0.003)	Bab	0.003099	(0.000)	Ba
	OL ≥3	3035	19.425	(0.144)	Aab	0.185	(0.002)	Aa	0.003861	(0.000)	Aa
NP3	OL 1	743	16.529	(0.354)	Ca	0.179	(0.005)	Aa	0.002512	(0.000)	Ca
	OL 2	481	18.947	(0.367)	Ba	0.181	(0.005)	Aa	0.003281	(0.000)	Ba
	OL ≥3	907	20.345	(0.261)	Aa	0.187	(0.003)	Aa	0.003701	(0.000)	Aa

*a:*produção inicial teórica *b:*taxa de acréscimo até o pico; *c:* taxa de decréscimo após o pico de lactação; Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem dentro e entre NP pelo teste de Tukey a $p<0.05$;

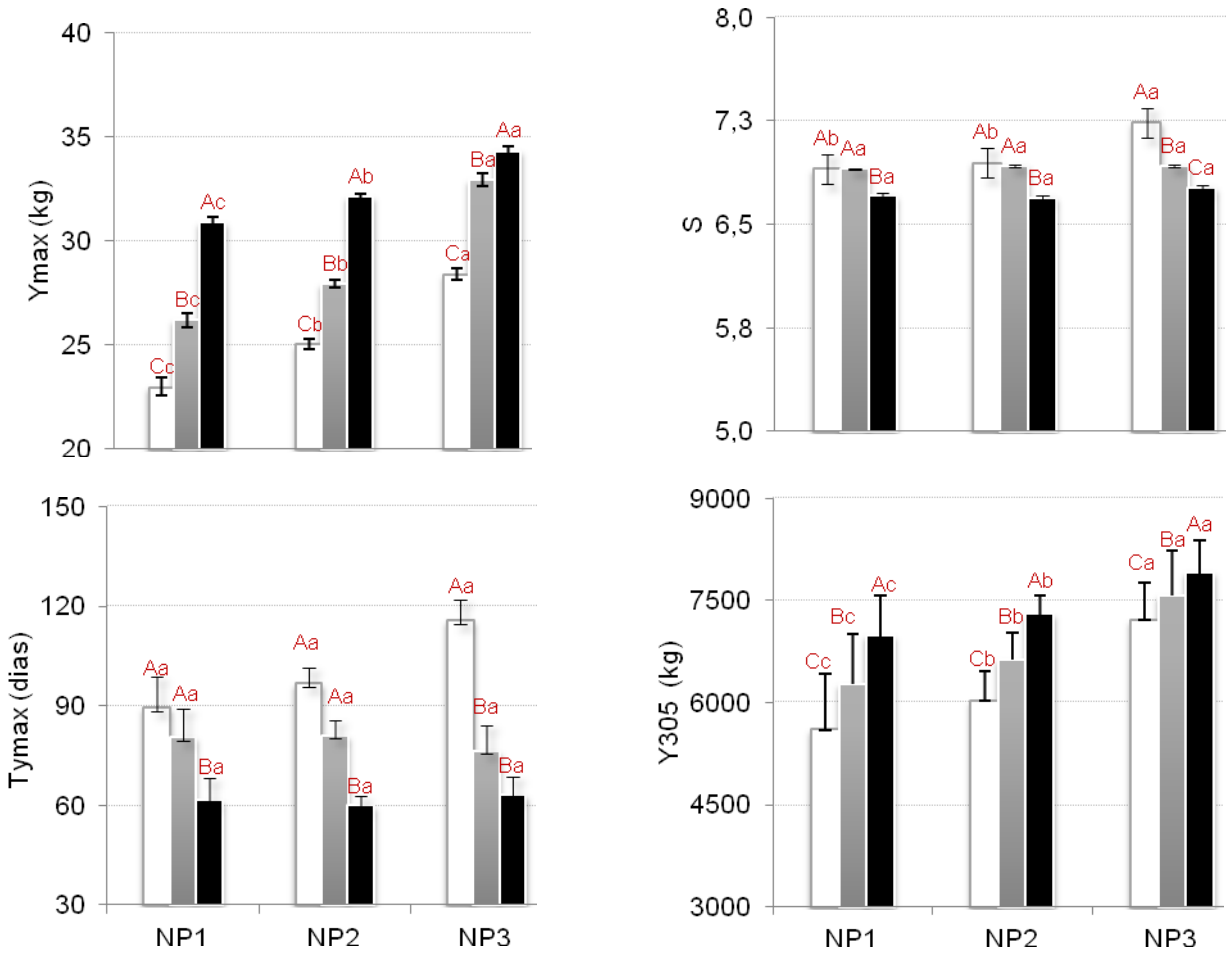

Figura 3 - Médias de pico (Ymax), tempo de pico (TYmax), persistência (S) e produção acumulada aos 305 dias (Y305) em função do nível de produção (NP) e ordem de parto (□ OL1 ■ OL2 ■ OL≥3)

Basicamente, as menores produções no pico e maior tempo de ascensão ao pico observado em fêmeas primíparas (OL1) estão relacionados, respectivamente, ao menor grau de diferenciação e secreção do epitélio mamário na fase inicial da lactação (RAO; SUNDARESAN, 1982; MILLER et al., 2006). Em adição, fêmeas primíparas apresentam maior persistência de lactação, devido à maior capacidade de sobrevivência e renovação do epitélio mamário, mediada por fatores mitogênicos como o IGF-I (fator de crescimento tipo insulina I) cujas concentrações séricas e mamárias são maiores do que em fêmeas multíparas (WEBER et al., 2000).

3.4 Conclusão

Para os rebanhos em estudo, fatores multiplicativos para predição da produção de leite aos 305 dias devem ser desenvolvidos de acordo com o nível de produção dos rebanhos, ordens de parto, duração da lactação e época de parto.

Referências

ARAÚJO, C.V.; GONÇALVES, T.M.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA; A.I.G.; ARAÚJO; S.I. Fatores não genéticos nas produções de leite e de gordura em rebanhos da raça Holandesa no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 766-772, 2000.

BACHMAN, K.C.; HAYEN, M.J.; MORSE, D.; WILCOX, C.J. Effect of pregnancy, milk yield, and somatic cell count on bovine milk fat hydrolysis. **Journal of Dairy Science,** Champaign, v. 71, p. 925–931, 1998.

CAPUCO, A.V.; ELLIS, S.E.; HALE, S.A.; LONG, E.; ERDMAN, R.A.; ZHAO, X.; PAAPE, M.J. Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 18-31, 2003.

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**, Viçosa, v. 30, p. 1204-1211, 2001.

COLDEBELLA, A.; MACHADO, P.F.; DEMÉTRIO, C.G.B.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; CORASSIN, C.H.; MEYER, P.M.; CASSOLI, L.D. Contagem de células somáticas e produção de leite em vacas holandesas de alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1451-1457, 2003.

DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; VANRADEN, P.M. Modeling extended lactations of Holsteins. **Journal of Dairy Science,** Champaign, v. 8, p. 3924-3936, 2007.

DE VRIES, M.J.; VEERKAMP, R.F. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variable and fertility. **Journal of Dairy Science,** Champaign, v. 83, p. 62-69, 2000.

DIKMEN, S.; HANSEN, P.J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science,** Champaign, v. 83, p. 62-69, 2009.

GROSSMAN, M.; KOOPS, W.J. Modeling extended lactation curves of dairy cattle: a biological basis for the multiphasic approach. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 988–998, 2003.

HATUNGUMUKAMA, G.; LEROY, P.I.; DETILLEUX, J. Effects of non-genetic factors on daily milk yield of Friesian cows in mahwa station (South Burundi). **Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux**, Paris, v. 61, p. 45-49, 2008.

JOHNSON, H.D. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 24, p. 65-78,1980.

LLATSIA, E.D.; MUASYA, T.K.; MUHUYI, W.B.; KAHI, A.K. Milk production and reproductive performance of Sahiwal cattle in semi arid Kenya. **Tropical Science**, London, v. 47, p. 120-127, 2007.

LUNA-DOMINGUEZ, J.E.; ENNS, R.M.; ARMSTRONG, D.V.; AX, R.L. Reprodutive performance of Holstein cows receiving somatotropin. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1451-1455, 2000.

MELO, C.M.R.; PACKER, I.U.; COSTA, C.N.; MACHADO, P.F. Parâmetros genéticos para produção de leite no dia do controle e de primeira lactação de vacas da raça holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, p. 796-806, 2005.

MILLER, N.; DELBECCHI, L.; PETITCLERC, D.; WAGNER, G.F.; TALBOT, B.G.; LACASSE, P. Effect of stage of lactation and parity on mammary gland cell renewal. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 4669-4677, 2006.

MOLENTO, C.F.M.; MONARDES, H.; RIBAS, N.P.; BLOCK, E. Curvas de lactacao de vacas holandesas do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1585-1591, 2004.

NORO, G.; GONZALEZ, F.D.; CAMPOS, R.; DURR, J.W. Fatores ambientais que afetam a produção e a composição do leite em rebanhos assistidos por cooperativas no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 1129-1135, 2006.

OLIVEIRA, L.M.; YANAGI JÚNIOR, T.; FERREIRA, E.; CARVALHO, L.G.; SILVA, M.P. Zoneamento bioclimático da região Sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 26, p. 823-831, 2006.

PIMPÃO, C.T.; RIBAS, N.P.; MONARDES, H.; ALMEIDA, R. de. Estudo dos efeitos do meio ambiente sobre as características produtivas de vacas da raça holandesa da região de Arapoti, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 494-500, 1997.

QUIRINO, C.R.; PEREIRA, J.C.G.; BERGMANN, J.A.; PEREIRA, E.C.S. Avaliação da duração da lactação e da produção diária média de leite na primeira lactação na raça caracu utilizando o modelo animal. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal,** Mayaguez, v. 6, p. 71-78, 1998.

RAO, M.K.; SUNDARESAN, D. Influence of environment and heredity on the shape of lactation curves in Sahiwal cows. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 92, p. 393-401, 1979.

RAY, D.E.; HALBACH, T.J.; ARMSTRONG, D.V. Season and lactation number effects on milk production and reproduction of dairy cattle in Arizona. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 2976–2983, 1992.

REKAYA, R.; CARABAÑO, M.J; TORO, M.A. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 2691-2701, 2000.

REKIK B.; GARA, A.B. Factors affecting accuracy of atypical lactations for Holstein-Friesian cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 87, p. 245-250, 2004.

RENNÓ, F.P.; PEREIRA, J.C.; ARAÚJO, C.V.; ARAÚJO, C.V.; TORRES, R.A.; RODRIGUES, M.T.; RENNÓ, L.N.; OLIVEIRA, R.F.M.; KAISER, F.R. Aspectos produtivos da raça Pardo-Suíça no Brasil. Fatores de ajustamento, produção de leite e de gordura, e parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 2043-2054, 2002.

RHOADS, M.L. ; RHOADS, R.P.; VANBAALE, M.J.; COLLIER, R.J.; SANDERS, S.R.; WEBER, W.J.B.; CROOKER, A.; BAUMGARD, L.H. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropina. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 1986–1997, 2009.

RHONE, J.A.; KOONAWOOTRITTRIRON, S.; ELZO, M.A. Factors affecting milk yield, milk fat, bacterial score, and bulk tank somatic cell count of dairy farms in the central region of Thailand. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 40, p.147–153, 2008.

ROCHE, J.R.; LEE, J.M.; MACDONALD, K.A.; BERRY, D.P. Relationships among body condition score, body weight, and milk production variables in pasture-based dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 3802-3815, 2007.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics, version 8 edition. Cary, 2000.

TARAZON-HERRERA, M.A.; HUBER, J.T.; SANTOS, J.E.P. NUSSIO, L.G. Effects of bovine somatotropin on milk yield and composition in Holstein cows in avanced lactation fed low or high energy diets. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.83, p. 430-434, 2000.

TEKERLI, M.; AKINCHI, Z.; DOGAN, I.; AKCAN, A. Factors affecting the shape of lactation curves of holstein cows from the Balikesir Province of Turkey. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1381-1386, 2000.

VAL-ARREOLA, D.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 3789–3799, 2004.

VANRADEN, P.M.; DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; TOOKER, M.E. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 3213–3220, 2006.

VARGAS, B.; KOOPS, W.J.M; VAN ARENDONK, J.A.M. Modeling extended lactations of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1371-1380, 2000.

WEBER, M.S.; PURUP, S.; VESTERGAARD, M.; AKERS, R.M.; SEJRSEN, K. Regulation of local synthesis of insulin-like growth factor-I and binding proteins in mammary tissue. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 30–37, 2000.

WEST, J.W. Effects of heat stress on production in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 2131–2144, 2003.

WHITTAKER, A.D.; TOMASZEWSKI, M.A.; TAYLOR, J.F.; FOURDRAINE, R.; VAN OVERVELD, C.J.; SCHEPERS, R.G. Dairy herd nutrition analysis using knowledge systems techniques. **Agricultural Systems**, Essex, v. 31, p. 83-96, 1989.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature,** London, v. 216, p. 164, 1967.