

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS
REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE VACAS DA RAÇA
HOLANDESA**

**Pablo Dominguez Castaño
Médico Veterinário Zootecnista**

D
I
S
S.

C
A
S
T
A
Ñ
O

P.
D.

2
0
1
6

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS
REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE VACAS DA RAÇA
HOLANDESA**

Pablo Dominguez Castaño

Orientador: Prof. Dr. Josineudson Augusto Il Vasconcelos Silva

Co-orientadora: Dra. Lenira El Faro Zadra

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento Animal.

2016

C346a Castaño, Pablo Dominguez
Análise multivariada de características reprodutivas e
produtivas de vacas da raça Holandesa / Pablo Dominguez
Castaño. – – Jaboticabal, 2016
iii, 46 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Josineudson Augusto II Vasconcelos Silva
Banca examinadora: Danisio Prado Munari; Rusbel Raul
Aspilcueta Borquis.
Bibliografia

1. Vacas Holandesa. 2. Fertilidade. 3. Produção de leite. 4.
Modelos de posto reduzido. 5. Parâmetros genéticos. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.082:636.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação - Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de
Jaboticabal.

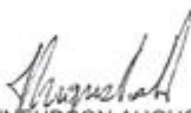
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE VACAS DA RAÇA HOLANDESA

AUTOR: PABLO DOMINGUEZ CASTAÑO

ORIENTADOR: JOSINEUDSON AUGUSTO II VASCONCELOS SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSINEUDSON AUGUSTO II VASCONCELOS SILVA
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ / UNESP Botucatu


Prof. Dr. DANISIO PRADO MUNARI
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. RUBEL PAUL ASPILCUETA BORQUIS
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal da Grande Dourados - Dourados/MS

Jaboticabal, 29 de abril de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PABLO DOMINGUEZ CASTAÑO - filho de Rodrigo Dominguez Gomez e de Carmenza Castaño Arango. Nasceu na cidade de La Dorada (Caldas-Colômbia), em 26 de setembro de 1987. Em julho de 2006, iniciou o curso de Medicina Veterinária e Zootecnia na Universidad de Caldas em Manizales (Caldas-Colômbia). Fez o estágio de conclusão de curso durante os meses de agosto a dezembro de 2012 na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Botucatu, sob orientação do Prof. Dr. Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva, obtendo o título de Médico Veterinário e Zootecnista em julho de 2013. Em fevereiro de 2014, ingressou no Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento Animal, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as graças concedidas e por sempre ter me guiado na escolha do melhor caminho.

Aos meus pais, Rodrigo e Carmenza, pelo amor, carinho, apoio e educação. Além do incentivo para alcançar minhas metas. A quem devo tudo que sou.

À meu orientador, Professor Augusto, por todos os ensinamentos, dedicação, pela parceria, amizade e pelo bom sentido do humor que fazia dar risadas apesar dos momentos difíceis. Pelos proveitosos conselhos. Pela paciência e por sua importante contribuição para minha formação.

À minha co-orientadora, Dra. Lenira, pela valiosa ajuda durante a realização deste trabalho.

Aos professores Danisio Prado Munari, Henrique Nunes Oliveira e Rusbel Raul Aspilcueta pelos ensinamentos, pela disponibilidade em participar da banca examinadora e pelas sugestões que contribuíram para aprimorar este trabalho.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A Agrindus S/A Empresa Agrícola Pastoril – Município de Descalvado – SP, por permitir o uso de seu banco de dados.

Aos meus familiares pelo apoio e torcida.

Aos meus amigos e companheiros de moradia no Asilo Monte Olimpo: Rafael (Chaves), Bernardo (Potter), Tiago (Baianinho) e o novo morador Thiago (Flanela), pela grande amizade, ajuda e momentos de risadas.

Aos meus estimados amigos, das republicas Abre Lacre e Monte Olimpo pela amizade, por todos os momentos felizes e proveitosos, vividos durante minha estadia em Botucatu.

Aos colegas e amigos da sala do departamento de Melhoramento e Nutrição Animal: Ricardo Faria, Amanda Maiorano, Alejandra Toro, Camilla Nogueira e Eduardo Correia pela amizade, ajuda e convívio.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. Introdução	1
2. Objetivos	2
3. Revisão de literatura	3
3.1. Análises de componentes principais.....	3
3.2. Análises de fatores	5
3.3 Modelos uni e multicaracterística.....	6
3.4. Comparação entre modelos.....	6
3.5. Características reprodutivas em gado de leite	7
3.6. Características de produção em gado de leite.....	9
3.7 Correlações entre características reprodutivas e produtivas	11
4. Referências bibliográficas	13
CAPÍTULO 2 – ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE MATRIZES DA RAÇA HOLANDESA.....	20
Introdução	21
Material e métodos.....	22
Resultados e discussão	25
Conclusão	30
Referências bibliográficas	30
CAPÍTULO 3 – COMPONENTES PRINCIPAIS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS EM MATRIZES DA RAÇA HOLANDESA.	34
Introdução	35
Material e métodos.....	36
Resultados e discussão	39
Referências bibliográficas	44

ANALISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE VACAS DA RAÇA HOLANDESA

RESUMO – O desempenho medido por características de produção de leite e de eficiência reprodutiva são os principais critérios de seleção nos rebanhos leiteiros devido às consequências diretas na rentabilidade econômica do sistema. O objetivo deste trabalho foi identificar as variáveis que representem a maior parte da variação fenotípica e genética, além de estimar os parâmetros genéticos de características de produção e reprodução. Foram analisados registros de 5.217 matrizes da raça Holandesa utilizando análise de componentes principais (ACP) e análise de fatores (AF). As características avaliadas foram: produção de leite aos 305 dias de lactação (P305), produção de leite por dia de intervalo de partos (PLIEP) e pico de lactação (PICO), intervalo da data do parto ao primeiro cio (I1C), intervalo da data do parto a última cobertura (IUC), intervalo de partos (IP) e duração da gestação (DG). A estrutura de associação das características foi verificada utilizando os métodos ACP e AF para extrair novas variáveis a partir da matriz de correlação dos fenótipos por meio do software estatístico SAS®. Os resultados indicaram que ACP e AF extraíram três e quatro variáveis latentes retendo 81,5 e 88,9% da variação total dos dados, respectivamente. As características que tiveram maior participação nos componentes e fatores selecionados foram P305, PLIEP, PICO, IUC e IP. A característica DG apresentou independência frente ao conjunto de variáveis avaliadas. Parâmetros genéticos foram estimados utilizando seis modelos diferentes: modelo multicaracterística e cinco modelos de posto reduzido ajustando aos 2, 3, 4, 5 e 6 componentes principais genéticos. Para todos os modelos foram considerados os efeitos aleatórios genético, ambiente permanente e residual e os efeitos fixos de grupo contemporâneo e idade ao parto da vaca. Os componentes de (co)variâncias foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita. Utilizou-se o critério de informação Bayesiano (BIC) para comparar os diferentes modelos. Os resultados indicaram que cinco componentes principais (CP5) são necessário para modelar a estrutura de (co)variância genética entre as sete características avaliadas. A correlação genética assim como a fenotípica evidenciou que características associadas à produção de leite estavam fortemente correlacionadas entre si, mas a correlação destas com as características reprodutivas foi baixa. Correlação genética entre características produtivas foi alta ($>0,90$), entre características reprodutivas variou de $-0,19 \pm 0,15$ (DG com IUC) a $0,99 \pm 0,00$ (IP com IUC) e entre estes dois conjuntos de características variou de $-0,14 \pm 0,14$ (PLIEP com IUC) a $0,23 \pm 0,09$ (PICO com DG). Estimativas de herdabilidade no modelo CP5 para as características P305, PLIEP, PICO, I1C, IUC, DG e IP foram $0,18 \pm 0,02$, $0,18 \pm 0,02$, $0,16 \pm 0,02$, $0,09 \pm 0,02$, $0,04 \pm 0,01$, $0,11 \pm 0,02$ e $0,03 \pm 0,01$ respectivamente. ACP reduziu o número de parâmetros a estimar, sem reduzir a qualidade do ajuste. Características IUP ou IP e P305, devem ser consideradas como critério de seleção em programas de melhoramento genético em bovinos leiteiros, devido a sua importância econômica e variabilidade genética.

Palavras-chaves: gado Holandês, modelos de posto reduzido, parâmetros genéticos, correlação, fertilidade, produção de leite

MULTIVARIATE ANALYSIS FOR REPRODUCTIVE AND PRODUCTIVE TRAITS IN HOLSTEIN CATTLE

ABSTRACT - The main causes of discard in dairy herds are the milk production and the reproductive efficiency traits due to direct consequences on economic profitability of the system. These two groups of characteristics are interconnected, occurring correlated response when selected some of them. The aim of this study was to evaluate the structure of phenotypic and genetic associations in addition to estimate genetic parameters of production and reproduction traits. Records of 5,217 Holstein cows were analyzed using principal component analysis (PCA) and factor analysis (FA). The traits studied were: 305-day accumulative milk yield (Y305), milk yield per day of calving interval (MYCI) and peak yield (PY), interval between calving and first estrus (CFE) interval between calving and last service (CLS), calving interval (CI), and gestation length (GL). The association structure of the traits was verified using the ACP and AF methods to extract new variables from the phenotypes correlation matrix using statistical software SAS®. The results indicate that ACP and AF managed to extract three and four latent variables explained 81 and 88.9% of the total variance of the dataset, respectively. The principal component analysis was more efficient than the analysis of factors, get summarize the information in fewer latent variables. Genetic parameters were estimated using six different models: standard multi-trait model and five reduced rank models fitting the first 2, 3, 4, 5 and 6 genetic principal components. The models include the random animal genetic effect, permanent environmental effects and residual effects and the fixed effects of the contemporary groups and age of cow. Variance components were estimated by restricted maximum likelihood method. Schwarz Bayesian information criteria were used to compare models. The results indicate that at most five principal components are required to model the genetic covariance structure among the seven traits. The genetic and phenotypic correlations showed to the production traits were more strongly correlated among themselves and more weakly correlated with the reproductive traits. Genetic correlation between yield traits was high ($>0.90 \pm 0.02$), between reproduction traits ranged of -0.19 ± 0.15 (GL with CLS) to 0.99 ± 0.00 (CI with CLS) and between these two sets of traits ranged of -0.14 ± 0.14 (MYCI with CLS) to 0.23 ± 0.09 (PY with GL). The estimates of heritability in CP5 model for the traits Y305, MYCI, PY, CFE, CLS, GL and CI were 0.18 ± 0.02 , 0.18 ± 0.02 , 0.16 ± 0.02 , 0.09 ± 0.02 , 0.04 ± 0.01 , 0.11 ± 0.02 and 0.03 ± 0.01 respectively. ACP decreased the number of parameters to be estimated without reducing the goodness-of-fit. Traits CLS or CI and P305 should be considered as selection criteria in breeding programs in dairy cattle, due to its economic importance and genetic variability.

Keywords: correlation, fertility, genetic parameters, Holstein cattle, milk yield, reduced rank models

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

A produção de leite brasileira ocupa a quinta posição na classificação mundial de 2015, com volume aproximado de 34,25 bilhões de litros/ano (USDA, 2015). Entretanto, a produtividade média nacional é aproximadamente 4,16 litros/vaca/dia, valor abaixo do desejado (IBGE, 2014).

A grande diversidade nas condições climáticas permite que várias raças bovinas possam ser exploradas na pecuária leiteira nacional. Entre as diferentes raças, a Holandesa, por décadas tem sido selecionada especificamente para produção de leite, sendo atribuído por alguns autores como o fator do declínio da atividade reprodutiva (LYONS e FREEMAN, 1991; VEERKAMP et al., 2001; SUN et al., 2010; TIEZZI et al., 2012; ALBARRÁN-PORTILLO e POLLOTT, 2013). Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de compreender a associação das características reprodutivas e produtivas (LYONS e FREEMAN, 1991; PETERS e PURSLEY, 2002; LÖF et al., 2007; TIEZZI et al., 2012). Lyons e Freeman (1991) e Tiezzi et al. (2012) apresentaram evidência científica da base genética do antagonismo entre produção de leite e desempenho reprodutivo. Em contrapartida, Peters e Pursley (2002) e Löf, Gustafsson e Emanuelson (2007) forneceram resultados associando favoravelmente a alta produção de leite com a fertilidade.

Análises estatísticas envolvendo características produtivas e reprodutivas se apresentam como necessárias para a pecuária leiteira. Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos usando técnicas de análise multivariadas avaliando a relação entre estas características. A técnica consiste na aplicação de conjunto de métodos estatísticos em situações nas quais diferentes variáveis ou características são medidas, simultaneamente, em cada elemento amostral. Uma das finalidades da estatística multivariada é simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado por meio da construção de novas variáveis que sintetizem a informação original dos dados, sendo a análise de fatores e de componentes principais, técnicas úteis para tal finalidade (MINGOTI, 2005). Segundo Pedrosa et al. (2014), avaliar várias características simultaneamente possibilita representar

melhor a realidade fisiológica dos animais, dado que muitas características são interdependentes e possuem genes em comum, portanto, não deveriam ser consideradas isoladamente.

Macciotta et al. (2004) e Macciotta, Vicario e Cappio-Borlino (2006) aplicaram os métodos multivariados de análise de componentes principais e análise de fatores para descrever curvas de lactação na Itália em vacas da raça Simental. Karacaören e Kadarmideen (2008), por meio de análise de componentes principais, pesquisaram a relação fenotípica e dependências entre grupo de características que afetam variáveis funcionais em vacas de leite das raças Holandesa e Pardo Suíço, descrevendo que quatro componentes principais das oito características avaliadas explicavam mais de 75% da variância total e concluíram que o uso de componentes principais, além de reduzir a dimensão dos dados, anulou a colinearidade. Macciotta et al. (2012) utilizaram análise de fatores para compreender a estrutura das relações entre a produção, composição e propriedades de coagulação do leite em gado Pardo Suíço.

Desta forma, mediante a obtenção dos resultados com análises multivariadas de determinado conjunto de variáveis de produção e reprodução, informações importantes podem ser obtidas de forma simultânea para compreender a associação das características e como incluí-las em programas de melhoramento animal.

2. Objetivos

Identificar as características que representem a maior parte da variação genética e fenotípica e estimar parâmetros genéticos para intervalo da data do parto ao primeiro cio, intervalo da data do parto a última cobertura, intervalo de partos, duração da gestação, produção de leite aos 305 dias de lactação, produção de leite por dia de intervalo de partos e pico de lactação, utilizando técnicas de análise multivariada e multicaracterística em vacas da raça Holandesa.

3. Revisão de literatura

3.1. Análises de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP), descrita originalmente por Pearson (1901), realiza análise exploratória de dados para o ajuste de planos em geometria espacial. A metodologia foi posteriormente modificada por Hotelling (1935), permitindo sua utilização em análises estatísticas em diversas áreas. A técnica consiste em, a partir de determinado conjunto de características correlacionadas, criar novo conjunto de variáveis, menor que o original, resumindo adequadamente a informação contida nas variáveis originais. Estas novas variáveis denominadas componentes principais (CPs) não são correlacionadas, e estão ordenadas em forma decrescente conforme sua variância (autovalor), resultando em uma medida da quantidade de informação explicada por cada CP.

O método permite reduzir o espaço de variáveis criando eixos ortogonais que são combinações lineares das variáveis originais, partindo dos autovalores da matriz de (co)variâncias das variáveis consideradas. Os dois maiores autovalores geram os dois primeiros componentes principais que retêm a maior quantidade de informação, explicando a variabilidade dos dados em relação aos demais componentes (JOHNSON; WICHERN, 1992).

Certo número de autovalores na matriz de (co)variâncias possuem valores próximos a zero, significando que existem certas combinações lineares entre as características que contribuem com pouca informação. De acordo com Meyer (2007), utilizando características altamente correlacionadas, os primeiros componentes principais retêm a maior quantidade de informação que explicam a maior parte da variação e indicam que os demais componentes fornecem informação praticamente irrelevante e podem ser ignorados.

Kirkpatrick e Meyer (2005) demonstraram a possibilidade de estimar componentes principais genéticos por meio da reparametrização do modelo linear misto, normalmente utilizado em avaliações genéticas, permitindo aplicação em análises multicaracterística, no qual os efeitos genéticos estão correlacionados. Os autores relataram ainda que um subconjunto pequeno de componentes principais pode ser suficiente para reter a maior parte da variação genética.

O modelo utilizado na análise de componentes principais, em notação matricial, é representado pela expressão:

$$y = Xb + Z^* u^* + e$$

em que $Z^* = Z(E \otimes I)$, $u^* = (E \otimes I)$, $\text{Var}(u^*) = (I \otimes A)$ e $\Sigma = E \Lambda E'$. Nestas definições, E corresponde a matriz dos autovetores (v) e Λ a matriz diagonal dos autovalores λ_i . Assim, a matriz de (co) variâncias genética (Σ) pode ser decomposta em termos de E e Λ , de forma que $EE' = I$. Considerando m componentes principais, a matriz E é substituída por E_m , a qual compreende as m primeiras colunas ($v_1, \dots, v_m$) de E , portanto, E_m é utilizado para definir Z^* e u^* (KIRKPATRICK; MEYER, 2005).

Existem três métodos utilizados para selecionar adequadamente os CPs a serem usados em estudos. O primeiro é baseado na acumulação proporcional, considerando percentual mínimo de 90% da variação total, podendo ser empregado se a matriz de correlação ou covariância for usada na ACP. Este critério é o mais comumente usado, segundo Khattree e Naik (2000). O segundo método, descrito por Kaiser (1958), tem como base a magnitude das variâncias dos CPs obtidas da matriz de correlação. O autor descarta os componentes principais cuja variância (autovalor) for menor que 1, dado que presumem-se pouca relevância na explicação da variação total, mas Jolliffe (1973) considera como critério de descarte, componente com autovalor menor que 0,7. O terceiro método é gráfico e utiliza o diagrama de *screen*, em que se “plotam” os autovalores e se determina onde cessam os CPs de maior relevância e iniciam os de menor importância para descrever a variação total dos dados.

A aplicação de análises de componentes principais tem como vantagens a modelagem mais parcimoniosa a partir dos primeiros componentes principais, reduzindo o número de parâmetros de $q(q+1)/2$ (modelo multi-característica padrão) para $m(2q - m + 1)/2$. Além de menor quadrado médio do resíduo em comparação com análises de posto completo, devido a redução das variâncias, resulta na omissão dos componentes principais com autovalores próximos a zero, as variâncias tendem a diminuir com a redução do número de parâmetros. Por último, as necessidades computacionais são menores que as requeridas na aplicação de modelos de posto completo, facilitando as análises que envolvem grandes conjuntos de dados e produz estimativas mais precisas dos parâmetros genéticos (MEYER, 2005).

Kirkpatrick e Meyer (2004) relataram três direcionamentos para uso dos componentes principais na genética quantitativa, primeiramente como ferramenta para visualizar padrões de variação genética. Em segundo lugar, na definição de parâmetros genéticos a serem estimados. Em terceiro, na determinação de conjunto menor de componentes principais fenotípicos a partir de conjunto original de variáveis e, possibilitando redução dos parâmetros genéticos a serem estimados.

3.2. Análises de fatores

As técnicas de análise de fatores e de componentes principais são análises descritivas que apresentam similaridades. A principal diferença entre ambas é que a análise de fatores se fundamenta em modelo estatístico, enquanto que na análise de componentes principais não ocorre fundamentação de modelo em particular (FERRAUDO, 2014¹). A aplicação do método análise de fatores tem como finalidade condensar informação de variáveis de interesse conhecidas como fatores e determinadas a partir das correlações ou (co)variâncias entre as variáveis originais, e que ocasiona perda mínima de informação. Além disso, segundo Reys (1997), permite saber o quanto cada fator está associado a cada variável (fatores específicos) e o quanto o conjunto de fatores está explicando a variação total dos dados originais (fatores comuns).

Na composição destes fatores, Ferreira Junior, Baptista e Lima (2004) descrevem os seguintes princípios: as variáveis mais correlacionadas se combinam dentro de um mesmo fator; as variáveis que compõem determinado fator são praticamente independentes em relação as que compõem outro fator; a derivação dos fatores é realizada visando maximizar a percentagem da variância total relativa a cada fator consecutivo; e os fatores não são correlacionados entre si.

Na técnica multivariada de análises de fatores, o efeito genético aditivo direto pode ser explicado por m fatores comuns independentes (c) e k fatores específicos (s). Assume que a matriz de (co)variâncias do efeito genético aditivo direto é dada por $\Sigma_a = \Gamma \Gamma' + \Psi$, em que: Γ é a matriz de cargas fatoriais de dimensão $k \times m$; e Ψ é a matriz das variâncias dos fatores específicos, sendo esta uma matriz diagonal de

¹FERRAUDO, A.S. Análise exploratória de dados – Estatística multivariada: notas de aula, Jaboticabal: FCAV, 2014.

ordem k . De acordo com Thompson et al. (2003) e Meyer (2009), o modelo pode ser representado como:

$$y = X\beta + Z_1^+c + Z_1s + Z_2m + Wp + e$$

em que: c e s representam os vetores de fatores comuns e fatores específicos, respectivamente. Assim, tem-se: $Z_1^+ = Z_1(I_N \otimes \Gamma_m)$, $a^+ = (I_N \otimes \Gamma_m)c + s$, $c = (I_N \otimes \Gamma_m' \Sigma^{-1})a$ e $s = (I_N \otimes \Psi \Sigma^{-1})a$, com $Var(c) = I_m \otimes A$ e $Var(s) = \Psi \otimes A$.

3.3 Modelos uni e multicaracterística

Na estimação de componentes de (co)variâncias usando modelo animal unicaracterística cada variável é analisada individualmente, desconsiderando as possíveis correlações desta com as demais. No caso do modelo multicaracterística, considera-se as inter-relações das variáveis envolvidas no estudo, dando maior robustez aos resultados. Henderson e Quaas (1976) recomendaram análises multicaracterística em avaliações genéticas de animais. Segundo os autores por melhorar a exatidão da avaliação e consequentemente a resposta à seleção, conseguindo reduzir o viés nos resultados, principalmente quando existe interdependência entre as características.

Segundo Pedrosa et al. (2014), os modelos multicaracterística possibilitam representar melhor a realidade fisiológica dos animais, dado que muitas características são interdependentes e possuem genes em comum, portanto, não deveriam ser consideradas isoladamente. No entanto, ressaltam que devido ao alto requerimento computacional, ainda são realizadas análises unicaracterística. Outro fato, descrito por Henderson (1984) e Meyer, Carrick e Donnelly (1993), é que o uso de análise multicaracterística aumenta o número de (co)variâncias a serem estimadas e, em base de dados reduzida e estrutura desbalanceada, pode ser dificultada a precisão na obtenção das estimativas dos componentes genéticos.

3.4. Comparação entre modelos

Modelos estatísticos são utilizados para representar ou explicar fenômenos naturais. Segundo Emiliano (2013), os modelos são versão simplificada de algum

problema ou situação da vida real. No entanto, o mesmo fenômeno pode ser descrito por vários modelos, sendo premissa do pesquisador em avaliar qual o modelo mais adequado. Mazerolle (2004) descreve que o modelo ideal deve equilibrar a qualidade do ajuste e a complexidade, ressaltando que quanto maior a quantidade de parâmetros a ser estimada, mais complexa e portanto, mais difícil de discutir os resultados.

Existem vários critérios para comparar modelos, os mais aplicados são, critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação de Akaike corrigido (AICc) e o critério de informação bayesiano ou critério de Schwarz (BIC) e estão disponíveis na maioria dos programas estatísticos. Segundo Bignardi et al. (2012), o critério BIC permite comparar modelos não aninhados e penaliza os com maior número de parâmetros, sendo mais rigoroso quando comparado com outros, como o AIC.

Proposto por Schwarz (1978), o critério BIC pode ser representado como:

$$\text{BIC} = -2 \log L + p \log(N - r)$$

em que N é o número total de observações, r é o posto da matriz de incidência dos efeitos fixos no modelo e log L, o logaritmo da máxima função de verossimilhança restrita. Para cada modelo se obtém determinado valor, e o de menor magnitude é considerado como o melhor na explicação dos dados com o menor número de parâmetros.

3.5. Características reprodutivas em gado de leite

Eficiência reprodutiva tem alta prioridade nos sistemas produtivos, principalmente em animais altamente selecionados para produção de leite, devido o declínio ocorrido na fertilidade das vacas nas últimas décadas (WALSH; WILLIAMS; EVANS, 2011). Além disto, de acordo com Leblanc (2010), alguns desempenhos reprodutivos têm valor econômico, como exemplo a prenhez (ou abate para não prenhas), período do parto a concepção, e, em menor proporção, o número de inseminações necessárias para conceber.

A fertilidade é medida de importância na determinação da eficiência produtiva, dado que para produzir leite se faz necessário a ocorrência do parto. Desta forma, um dos maiores desafios dos pesquisadores é compreender os fenômenos que

contribuem para a baixa fertilidade da vaca leiteira e posteriormente desenvolver estratégias para melhorar as características reprodutivas (WALSH; WILLIAMS; EVANS, 2011).

Segundo Ghiasi et al. (2015), para uma vaca apresentar bom desempenho na fertilidade deve ter a capacidade de ciclar após o parto e a capacidade de ficar prenha após a inseminação. A fertilidade é uma variável complexa, podendo ser mesurada por diversas características. Porém, determinar a característica que representa adequadamente o desempenho reprodutivo da vaca é difícil e ainda permanece sendo investigado (EGHBALSAIED, 2011). O mesmo autor relata que, em estudos anteriores, foram analisadas principalmente características como intervalo de partos ou dias abertos devido a facilidade de mensuração. Entretanto, após o uso da inseminação artificial, a disponibilidade de datas do cio, inseminação, entre outras, permitiu calcular novas características que foram usadas na avaliação da fertilidade nos rebanhos.

Características avaliadas para medir a eficiência reprodutiva em bovinos de leite são muito influenciadas pelo ambiente e fatores como a nutrição, saúde, manejo, além das interações possíveis. Portanto, os valores das estimativas de herdabilidade reportados por vários autores (GROSSHANS et al., 1997; JAMROZLK et al., 2005; BASTIN et al., 2010; EGHBALSAIED, 2011; HAILE-MARIAM et al., 2013; VESSIES et al., 2014) tendem a ser baixos. Apesar do baixo valor da proporção de variância genética aditiva em relação a variância fenotípica tem sido considerada suficiente para obter ganho na fertilidade por meio da seleção (WEIGEL e REKAYA, 2000; JAMROZLK et al., 2005; EGHBALSAIED, 2011).

Leblanc (2010) relatou maior desempenho reprodutivo em rebanhos de alta produção de leite (média do rebanho maior que 10.000 kg de produção de leite por lactação) comparados com rebanhos de baixa produção. O autor concluiu que a diferença provavelmente foi devido ao melhor manejo nutricional e reprodutivo, demonstrando a importância do ambiente sobre estas características. De acordo com Haile-Mariam, Bowman e Pryce (2013) por causa de falta de dados de boa qualidade, definição da característica objeto de seleção e pressão de seleção inadequada em índices de seleção, ainda existem grandes desafios para alcançar ganho genético favorável na fertilidade em bovinos leiteiros.

Trabalhando com gado Holandês, Eghbalsaied (2011) descreveu que a idade ao primeiro parto, intervalo do parto a primeira cobertura e duração da gestação

tiveram as maiores estimativas de herdabilidade quando comparadas a outras características reprodutivas. O autor também ressaltou as características dias abertos e intervalo de partos, como passíveis de seleção, devido a sua alta variação genética.

Deste modo, no presente trabalho, serão avaliadas as características intervalo da data do parto ao primeiro cio (I1C), intervalo da data do parto a última cobertura ou dias abertos (IUC), intervalo de partos (IP) e duração da gestação (DG).

3.6. Características de produção em gado de leite

A produção de leite tem sido o principal objetivo de seleção em programas de melhoramento genético para gado leiteiro, já que todo produtor quer maximizar seus lucros e, sabendo que a fonte principal de receita é a venda de leite, foca a seleção dos animais do rebanho nesta característica. Um exemplo disto foi descrito por Walsh, Williams e Evans (2011), mostrando o sucesso da seleção genética de gado Holstein-Friesian nos Estados Unidos, com taxa de ganho fenotípico na produção de leite por vaca por ano de 193 kg, entre os anos de 1985 e 2003.

Variáveis utilizadas para avaliar a produção de leite podem ser classificadas em dois tipos, características que expressam quantidade e características de qualidade do leite produzido. Como característica de qualidade pode ser destacada a contagem de células somáticas, transformada em escore de células somáticas (ECS) por não ter uma distribuição normal.

Mastite é o problema de saúde mais comum em vacas de leite (BIGRAS-POULIN et al, 1990; RAJALA-SCHULTZ e GRÖHN, 1999), e a doença que gera mais prejuízos na pecuária leiteira, devido à diminuição na qualidade e quantidade do leite produzido (ANDRADE et al., 2007). Em programas de melhoramento genético a contagem de células somáticas (CCS) é utilizada como característica substituta à mastite, por estarem altamente correlacionadas (RUPP; BOICHARD, 2000). Desta forma, a CCS pode ser usada como indicativo tanto para qualidade como para prevalência de mastite no rebanho. Rupp e Boichard (2000) descrevem a importância desta característica ao relatar que a seleção para maior produção de leite, na ausência de seleção para a resistência simultânea a mastite irá aumentar a susceptibilidade dos animais a doença.

Países como Canadá, EUA, México, Alemanha, Holanda, Itália, Suécia, África do Sul, Japão e Austrália tem incluído o ECS em programas de melhoramento, devido a sua importância econômica (IRANO et al., 2014). No Brasil, os laticínios ainda não remuneram por qualidade do leite produzido, portanto os produtores não focam muito na seleção para esta característica.

A produção de leite ajustada aos 305 dias considerada a característica mais acurada para expressar a lactação segundo Bello, Stevenson e Tempelman, (2012), é utilizada com frequência por pesquisadores, com a finalidade de avaliar a quantidade de leite produzido por lactação por vaca (ANDRADE et al., 2007; YAMASAKI et al., 2013; IRANO et al., 2014). Como foi descrito por Quirino et al. (1998), vacas especializadas geralmente apresentam duração de lactação de 10 meses ou mais.

A produção total por lactação e o pico de lactação são também características que descrevem quantidade de produção. Com base na curva de lactação, vacas com picos de produção altos na lactação terão da mesma forma altos níveis de produção de leite total, em razão da alta correlação entre as características (ALBARRÁN-PORTILLO; POLLOTT, 2013).

Diversos autores (ZAMBIANCHI et al., 1997; TEKERLI e GÜNDOĞAN, 2005; RODRIGUES et al., 2010) tem utilizado a característica produção de leite por dia de intervalo de partos (PLIEP), devido a associação da produção de leite com fertilidade, além de ser uma medida para avaliar a eficiência de produção por vaca. Lyons e Freeman (1991) relataram correlação genética positiva entre o número de serviços por concepção, com consequências decisivas no intervalo de partos e na produção de leite em vacas de raça Holandês.

Zambianchi et al. (1997) relataram a existência de variabilidade genética para PLIEP, indicando a possibilidade de considerar a característica em programas de seleção. Rodrigues et al. (2010) sugeriram incorporar a característica PLIEP em programas de melhoramento, devido a variabilidade genética aditiva e correlação genética com produção de leite em bubalinos, visando assim, o melhoramento dos índices produtivos e reprodutivos dos rebanhos leiteiros.

Na literatura, estimativas de herdabilidade de características de produção de leite tem sido reportadas de moderadas a altas, variando de 20% a 50% (ZAMBIANCHI et al., 1997; ANDRADE et al., 2007; LOKER et al., 2012; TIEZZI et al., 2012; YAMASAKI et al., 2013; IRANO et al., 2014; ALBARRÁN-PORTILLO e

POLLOTT, 2013), indicando ganho genético razoável da seleção para este tipo de variáveis. Menores estimativas de herdabilidade foram reportadas para o escore de células somáticas, quando comparadas com outras características de produção, variando de 7% a 17% (LOKER et al., 2012; YAMASAKI et al., 2013).

3.7 Correlações entre características reprodutivas e produtivas

A relação entre produção de leite e fertilidade é muitas vezes percebida como preocupação recente, mas, na verdade está em curso há um tempo (BELLO, STEVENSON e TEMPELMAN, 2012). Eckles (1929) descreveu a preocupação dos produtores de gado de leite para emprenhar as vacas de alta produção, concluindo, que a produção de leite aumentou e ao mesmo tempo houve dificuldade para reproduzir os animais.

A produção de leite e a eficiência reprodutiva nos bovinos leiteiros são processos interligados, cujos resultados apresentam consequências diretas na rentabilidade, sendo as duas principais causas de descarte nos rebanhos. Portanto, ambos são considerados de fundamental importância na viabilidade econômica nos sistemas de produção de leite (LEBLANC, 2010). Segundo o mesmo autor, a produção de leite por vaca tem aumentado, mas não está bem esclarecido quanto deste aumento explica a aparente diminuição da fertilidade. Discute, ainda, sobre as variáveis que deveriam ser consideradas no momento de analisar a relação entre produção e reprodução, exemplificando que a adequação da dieta, lugar onde permanecem os animais, manejo alimentar, mão de obra qualificada, entre outros fatores, são de notória influência na eficiência reprodutiva, entretanto de difícil mensuração.

Royal, Flint e Woolliams (2002), ressaltaram na pesquisa de correlações entre produção de leite e fertilidade, a importância de usar a produção de leite quando se aproximava ao período de produção de pico, pois é quando o balanço energético está no seu ponto mais baixo, e perto do momento em que as decisões de inseminação serão tomadas.

Aparentemente, a seleção intensiva para alta produção de leite induziu seleção indireta para baixa fertilidade. Existe evidência científica da base genética do antagonismo entre produção de leite e desempenho reprodutivo (LYONS e

FREEMAN, 1991; SILVA et al., 1998; VEERKAMP et al., 2001; PRYCE et al., 2004; SUN et al., 2010; TIEZZI et al., 2012; ALBARRÁN-PORTILLO e POLLOTT, 2013; Pritchard et al., 2012). Por exemplo, Silva et al., (1998), Veerkamp et al., (2001) e Sun et al., (2010) reportaram correlações genéticas entre características reprodutivas e produtivas em vacas leiteiras variando de 0,11 a 0,75, 0,44 a 0,52 e 0,28 a 0,49 respectivamente. Tiezzi et al. (2012) reportaram correlação genética do PICO, P305 e DL, com IUC variando de 0,27 a 0,93 em vacas de primeiro e segundo parto da raça Holandesa. Pritchard et al. (2012) relataram estimativa desfavorável de correlação genética (0,48) entre P305 e IP em vacas Holandês do primeiro ao terceiro parto no Reino Unido.

Alguns pesquisadores têm reportado desempenho reprodutivo acima da média em vacas de alta produção, fornecendo resultados de que a alta produção de leite pode ter associação favorável com a fertilidade (LABEN et al., 1982; PETERS e PURSLEY, 2002; LÓPEZ-GATIUS et al., 2006; LÖF et al., 2007). Por exemplo, rebanhos de baixa produção tiveram aproximadamente um ciclo estral de maior duração comparado com rebanhos de alta produção, aumentando desta forma os dias do intervalo a última cobertura (LABEN et al., 1982).

Rebanhos de alta produção em média tiveram intervalo de partos 10 dias mais curto e reduzidas chances de abate por problemas reprodutivos em comparação com rebanhos de baixo rendimento (LÖF, GUSTAFSSON e EMANUELSON, 2007). López-Gatius et al. (2006) relataram que aumento de 1 kg na produção de leite no pico da lactação foi associado a redução estimada de 1,8 dias no intervalo do parto a concepção. Peters e Pursley (2002) relataram que vacas com produção de leite acima da média do rebanho tiveram maiores taxas de concepção (45% vs. 34%) em comparação com companheiras de rebanho com produções abaixo da média.

Silva et al. (1998) observaram correlação genética entre produção de leite na primeira lactação e idade ao primeiro parto de -0,65, sendo esta associação genética não antagônica do ponto de vista zootécnico, dado que a seleção para produção de leite na primeira lactação teria como resposta correlacionada, redução da idade ao primeiro parto.

Diante dos estudos apresentados e dos resultados contraditórios, principalmente quanto às características reprodutivas, pode ser concluído que ainda há necessidade da utilização de metodologias robustas e análise multivariada, com

intuito de determinar com maior segurança as estimativas dos parâmetros genéticos de características de produção de leite e eficiência reprodutiva de bovinos de leite.

4. Referências bibliográficas

ALBARRÁN-PORTILLO, B.; POLLOTT, G. E. The relationship between fertility and lactation characteristics in Holstein cows on United Kingdom commercial dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 635–46, 2013.

ANDRADE, L. M.; EL FARO, L.; CARDOSO, V. L.; ALBUQUERQUE, L. G.; CASSOLI, L. D.; MACHADO, P. F. Efeitos genéticos e de ambiente sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas em vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 343-349, 2007.

BASTIN, C.; LOKER, S.; GENGLER, N.; SEWALEM, A.; MIGLIOR, F. Genetic relationships between body condition score and reproduction traits in Canadian Holstein and Ayrshire first-parity cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 5, p. 2215–28, 2010.

BELLO, N. M.; STEVENSON, J. S.; TEMPELMAN, R. J. Invited review: milk production and reproductive performance: modern interdisciplinary insights into an enduring axiom. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 10, p. 5461–75, 2012.

BIGNARDI, A.B.; EL FARO, L.; ROSA, G.J.M.; CARDOSO, V.L; MACHADO, P.F.; ALBUQUERQUE, L.G. Short communication: Principal components and factor analytic models for test-day milk yield in Brazilian Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.4, p.2157-2164, 2012.

BIGRAS-POULIN, M.; MEEK, A. H.; MARTIN, S. W.; MCMILLAN, I. Health problems in selected Ontario Holstein cows: frequency of occurrences, time to first diagnosis and associations. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 10, p. 79–89, 1990.

ECKLES, C. H. A study of breeding records of dairy herds. **Bulletin Agricultural Experiment Station**. University of Minnesota, St. Paul, v. 258, 1929.

EGHBALSAIED, S. Estimation of genetic parameters for 13 female fertility indices in Holstein dairy cows. **Tropical Animal Health and Production**, v.43, p.811-816, 2011.

EMILIANO, P. C. **Critérios de informação: como eles se comportam em diferentes modelos**. 2013. Tese (doutorado em estatística e experimentação agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FERREIRA JUNIOR, S.; BAPTISTA, A. J. M. S.; LIMA, J. E. A modernização agropecuária nas microrregiões do Estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, pp.73-89, 2004

GHIASI, H.; PAKDEL, A.; NEJATI-JAVAREMI, A.; GONZÁLEZ-RECIO, O. Fertility subindex for improving fertility performance in Iranian Holstein cows. **Tropical Animal Health and Production**.v.47, p.67-71, 2015.

GROSSHANS, T.;XU, Z.Z.; BURTON, L.J.; JOHNSON, D.L.; MACMILLAN, K.L. Performance and genetic parameters for fertility of seasonal dairy cows in New Zealand. **Livestock Production Science**, v. 51, n. 1-3, p. 41–51, 1997.

HAILE-MARIAM, M.; BOWMAN, P. J.; PRYCE, J. E. Genetic analyses of fertility and predictor traits in Holstein herds with low and high mean calving intervals and in Jersey herds. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 655-667, 2013.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, v. 43, p. 1188-1197, 1976.

HENDERSON, C. R. Estimation of variances and covariances under multiple trait models. **Journal of Animal Science**, v. 67, pp. 1581-1589, 1984.

HOTELLING, H. The most predictable criterion. **Journal of Educational Psychology**, v.26, p.139-142, 1935.

IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal:2014. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2014.

IRANO, N.; BIGNARDI, A. B.; EL FARO, L.; SANTANA, JR. M. L.; CARDOSO, V. L.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic association between milk yield, stayability, and mastitis in Holstein cows under tropical conditions. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, p. 529–535, 2014.

JAMROZIK, J.;FATEHI, J.; KISTEMAKER, G. J.; SCHAEFFER, L. R. Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 6, p. 2199–2208, 2005.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2.ed Englewood Cliffs: Prentice-Hall, p.642, 1992.

JOLLIFFE, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data. **Applied Statistics**, v.22, p.21-31, 1973.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p.187-200, 1958.

KARACAÖREN, B.; KADARMIDEEN, H. Principal component and clustering analysis of functional traits in Swiss dairy cattle. **Turkish Journal of Veterinary And Animal Sciences**. v.32, p.163-171, 2008.

KATTREE, R.; NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS® Software**. Cary, NC: SAS Institute Inc., p.558, 2000.

KIRKPATRICK, M.; MEYER, K. Direct estimation of genetic principal components: simplified analysis of complex phenotypes. **Genetics**, v.168, p.2295-2306, 2004.

KIRKPATRICK, M.; MEYER, K. Restricted maximum likelihood estimation of genetic principal components and smoothed covariance matrices. **Genetics Selection Evolution** v.21, p.1-30, 2005.

LABEN, R. L.; SHANKS, R.; BERGER, P. J.; FREEMAN, A. E. Factors affecting milk yield and reproductive performance. **Journal of Dairy Science**, 65:1004–1015, 1982.

LEBLANC, S. Assessing the association of the level of milk production with reproductive performance in dairy cattle. **Journal Reproduction**, Dev. 56 Suppl., S1–S7. 2010.

LÖF, E.; GUSTAFSSON, H.; EMANUELSON, U. Associations between herd characteristics and reproductive efficiency in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 4897–4907, 2007.

LOKER, S.; BASTIN, C.; MIGLIOR, F.; SEWALEM, A.; SCHAEFFER, L. R.; JAMROZIK, J.; ALI, A.; OSBORNE, V. Genetic and environmental relationships between body condition score and milk production traits in Canadian Holsteins. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 1, p. 410–419, 2012.

LOPEZ-GATIUS, F.; GARCIA-ISPIERTO, I.; SANTOLARIA, P.; YANIZ, J.; NOGAREDA, C.; LOPEZ-BEJAR, M. Screening for high fertility in high-producing dairy cows. **Theriogenology**, v. 65, p.1678–1689, 2006.

LYONS, D. T.; FREEMAN, A. E.; KUCK, A. L. Genetics of health traits in Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 3, p. 1092–1100, 1991.

MACCIOTTA, N. P. P.; VICARIO, D.; DIMAURO, C.; CAPPIO-BORLINO, A. A multivariate approach to modelling shapes of individual lactation curves in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p.1092–1098, 2004.

MACCIOTTA, N. P. P.; VICARIO, D.; CAPPIO-BORLINO, A. Use of multivariate analysis to extract latent variables related to level of production and lactation persistency in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 8, p. 3188-94, 2006

MACCIOTTA, N. P. P.; CECCHINATO, A.; MELE, M.; BITTANTE, G. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows **Journal of Dairy Science**, v. 95, p.7346–7354, 2012

MAZEROLLE, M.J. **Mouvements et reproduction des amphibiens en tourbières perturbées**. Québec, 2004. Thesis (Doctorat en Sciences Forestières) – Université Laval, 2004.

MEYER, K. Random regression analyses using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. **Genetics Selection Evolution**, v.37, p.473-500, 2005.

MEYER, K. Multivariate analyses of carcass traits for Angus cattle fitting reduced rank and factor analytic models. **Journal Animal Breeding Genetics**, v.124, p.50-63, 2007.

MEYER, K. Factor-analytic models for genotype × environment type problems and structured covariance matrices. **Genetics Selection Evolution**, v.41, p.21-32, 2009.

MEYER, K.; CARRICK, M. J.; DONNELLY, B. J. P. Genetic parameter for growth traits of Australian beef cattle from a multibreed selection experiment. **Journal of Animal Science**, vol. 71, pp. 2614-2622, 1993.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG, 2005.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Series 6, 2, p.559-572, 1901.

PEDROSA, V.P.; ELER, J.P.; FERRAZ, J.B.S.; PINTO, L.F.B. Utilização de modelos unicaracterística e multicaracterística na estimação de parâmetros genéticos na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.6, p. 1802-1812, 2014.

PETERS, M. W.; PURSLEY, J. R. Fertility of lactating dairy cows treated with Ovsynch after presynchronization injections of PGF2 α and GnRH. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p. 2403–2406, 2002.

PRITCHARD, T.; COFFEY, M.; MRODE, R.; WALL, E. Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. **Animal**, v. 7, p. 34–46, 2012.

PRYCE, J. E.; ROYAL, M. D.; GARNSWORTHY, P. C.; MAO, I. L. Fertility in the high-producing dairy cow. **Livestock Production Science**, v.86, p.125-135, 2004.

QUIRINO, C. R.; PEREIRA, J. C. C.; PEREIRA, C. S. e BERGMANN, J. A. G. 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**, v. 6, n.1, p. 71-78, 1998.

RAJALA-SCHULTZ, P. J.; GRÖHN, Y. T. Culling of dairy cows. Part III. Effects of diseases, pregnancy status and milk yield on culling in Finnish Ayrshire cows. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 41, n. 4, p. 295-309, 1999.

REYS, E. **Estatística multivariada aplicada**. Lisboa: Edições Silabo, 1997, p.343.

RODRIGUES, A. E.; MARQUES, J. R. F.; ARAÚJO, C. V. D.; CAMARGO JÚNIOR, R. N. C.; DIAS, L. D. N. S. Estimação de parâmetros genéticos para características produtivas em búfalos na Amazônia Oriental, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.3, p.712-717, 2010.

ROYAL, M. D.; FLINT, A. P. F.; WOOLLIAMS, J. A. Genetic and phenotypic relationships among endocrine and traditional fertility traits and production traits in Holstein-Friesian dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 4, p. 958–67, 2002.

RUPP, R.; BOICHARD, D. Relationship of early first lactation somatic cell count with risk of subsequent first clinical mastitis. **Livestock Production Science**, v.62, p.169-180, 2000.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistic**, Hayward, v.6,n.2,p.461-464,1978.

SILVA, M. V. G. B. DA; BERGMANN, J. A. G.; MARTINEZ, M. L.; PEREIRA, C. S.; FERRAZ, J. B. S.; SILVA, H. C. M. DA. Associação Genética, Fenotípica e de Ambiente entre Medidas de Eficiência Reprodutiva e Produção de Leite na Raça Holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.6, p.1115-1122, 1998.

SUN, C.; MADSEN, P.; LUND, M. S.; ZHANG, Y.; NIELSEN, U. S.; SU, G. Improvement in genetic evaluation of female fertility in dairy cattle using multiple-trait models including milk production traits. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 3, p. 871–878, 2010.

TEKERLI, M.; GÜNDOĞAN, M. Effect of certain factors on productive and reproductive efficiency traits and phenotypic relationships among these traits and repeatabilities in West Anatolian Holsteins. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 29, n. 1, p. 17–22, 2005.

TIEZZI, F.; MALTECCA, C.; CECCHINATO, A.; PENASA, M.; BITTANTE, G. Genetic parameters for fertility of dairy heifers and cows at different parities and relationships with production traits in first lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 12, p. 7355–7362, 2012.

THOMPSON, R.; CULLIS, B.R.; SMITH, A.B; GILMOUR, A.R.; A sparse implementation of the Average Information algorithm for factor analytic and reduced rank variance models. **Australian New Zealand Journal Statistics**, v.45, p.445-459, 2003.

USDA.USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em:<<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

VEERKAMP, R. F.; KOENEN, E. P. C.; DE JONG, G. Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. 2327–2335, 2001.

VESSIES, P.J.A.; ELSHOF-BAARS, W.; DE HAER, L.C.M.; DE JONG,G. first heat detection in relation to moment of first insemination in lactating cows. **Interbull Bulletin**, Berlin, Germany, no. 48, 2014

WALSH, S.W.; WILLIAMS, E.J.; EVANS, A.C.O. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. **Animal Reproduction Science**, v.123, p.127-138, 2011

WEIGEL, K. A.; R. REKAYA. Genetic parameters for reproductive traits of Holstein cattle in California and Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 1072–1080, 2000.

YAMAZAKI, T.; HAGIYA, K.; TAKEDA, H.; SASAKI, O.; YAMAGUCHI, S.; SOGABE, M.; SAITO, Y.; NAKAGAWA, S.; TOGASHI, K.; SUZUKI, K.; NAGAMINE, Y. Genetic correlations between milk production traits and somatic cell scores on test day within and across first and second lactations in Holstein. **Livestock Science**, v.152, p.120-126, 2013.

ZAMBIANCHI, A. R.; FREITAS, M. A.R. de; PEREIRA, C. S.; EL FARO, L. Produção de leite por dia de intervalo entre partos em rebanhos monitorados por sistema computacional de informação. **Boletim de Indústria Animal**, v.54, n.1, p.81-84, 1997.

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS DE MATRIZES DA RAÇA HOLANDESA.

RESUMO – O objetivo do presente estudo foi determinar a estrutura de associação e identificar as características que representem a maior parte da variação fenotípica de variáveis produtivas e reprodutivas em bovinos da raça Holandesa. Análise de componentes principais e análise de fatores foram utilizadas para obter novas variáveis latentes sintetizando o conjunto original das características. Foram utilizados registros de 5.217 fêmeas (primíparas e múltiparas), nascidas entre os anos 1993 e 2011. As características de produção de leite avaliadas foram: produção de leite aos 305 dias de lactação (P305), pico de lactação (PICO) e produção de leite por dia de intervalo de partos (PLIEP). As características de reprodução foram: intervalo do parto ao primeiro cio (I1C), intervalo do parto a última cobertura (IUC), intervalo de partos (IP) e duração da gestação (DG). Devido as diferentes unidades de medida das variáveis utilizadas, as variáveis foram padronizadas. Os fatores foram rotacionados utilizando o método ortogonal VARIMAX; a análise agrupou as sete características em três componentes principais e quatro fatores latentes reterdo aproximadamente 81,5 e 88,9% da variação total dos dados, respectivamente. A característica DG apresentou independência quanto a expressão fenotípica do conjunto de variáveis avaliadas. Com base nos resultados, pode ser concluído, a maior parte da variabilidade do conjunto de dados está fortemente correlacionado aos dois primeiros fatores e componentes principais, que inclui as características P305, PLIEP, PICO, IUC e IP.

Palavras-chave: bovinos de leite, correlação, estatística multivariada, produção, reprodução

Introdução

As principais causas de descarte nos rebanhos leiteiros são a produção de leite e a eficiência reprodutiva devido às consequências diretas na rentabilidade e na viabilidade econômica dos sistemas de produção de leite. A produção de leite e a reprodução estão interligadas, de forma que mudanças em um tem reflexo na expressão do outro, tornando-se cada vez mais importante por causa do declínio na fertilidade em vacas de alta produção.

Eficiência reprodutiva e de produção de leite são definidas por diversas variáveis, entre as quais há existência de possível correlação do ponto em que o aumento na produção de leite ocasione perda na fertilidade. A maioria dos estudos sobre correlação entre estas características tem mostrado associação antagônica (SILVA et al., 1998; SUN et al., 2010; TIEZZI et al., 2012), mas alguns autores têm descrito maior eficiência reprodutiva em rebanhos especializados em produção de leite (PETERS e PURSLEY, 2002; LÓPEZ-GATIUS et al., 2006; LÖF et al., 2007).

Segundo Leblanc (2010), a produção de leite por vaca tem aumentado, mas não se tem esclarecido quanto deste aumento explica a aparente diminuição da fertilidade. Desta forma, a compreensão das interrelações das características reprodutivas e produtivas é fundamental no delineamento de programas de seleção.

A correlação de variáveis e as informações obtidas utilizando análises genéticas podem ser incompletas, principalmente quando existe associação ou dependência entre o conjunto de variáveis analisadas. Desta forma, é de grande interesse o uso de análise multivariada, pois combinam informações múltiplas provenientes da unidade experimental.

Técnicas multivariadas de interdependência como análise de componentes principais (ACP) e análise de fatores (AF) são capazes de sintetizar fenótipos complexos multivariados em conjunto menor de variáveis latentes, criadas a partir de combinações lineares das variáveis, preservando o máximo da variabilidade original. Ambas as abordagens decompõem a matriz de covariâncias em matrizes de autovalores e autovetores, em que cada autovetor ou variável latente explica parte da variação total dos dados, com base no seu respectivo autovalor, sendo os autovetores independentes um do outro (KIRKPATRICK; MEYER, 2004).

Segundo Roso e Fries (1995), decisões acerca da escolha de animais para determinada característica podem ser tomadas de forma intuitiva, negligenciando

seus componentes e a ligação entre outras características. Os mesmos autores expressam que ACP deve contribuir na interpretação das relações existentes, consequentemente, na tomada de decisões, principalmente em situações de impossibilidade de realizar avaliação genética.

Macciotta et al. (2012) utilizando AF pesquisaram a estrutura das relações entre um conjunto de 15 variáveis de produção, composição e propriedades de coagulação do leite, em bovinos da raça Pardo-Suiço na Itália, derivando quatro fatores ou variáveis latentes interpretadas como: (1) indicador de composição, (2) coagulação, (3) acidez do leite, e (4) indicador da saúde da glândula mamária. No trabalho de Macciotta et al. (2004) foi classificada a curva de lactação de vacas da raça Simental em dois processos, produção no início da lactação e persistência, usando o método de análises de fatores.

Utilizando análise de componentes principais, Sousa (2011), concluiu que a variação fenotípica de 13 características mensuradas em uma prova de ganho de peso, foi bem sumarizada por quatro componentes principais que envolveram, principalmente as variáveis peso aos 365 dias, precocidade comprimento corporal e altura na garupa.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a estrutura de associação entre características de reprodução e produção de leite, utilizando os métodos AF e ACP para extrair novas variáveis a partir da matriz de correlação dos fenótipos de bovinos da raça Holandesa criados no Brasil, visando identificar as características que representem a maior parte da variação fenotípica.

Material e métodos

Descrição dos dados, área de estudo e animais

O trabalho foi desenvolvido em bovinos de leite da raça Holandesa, pertencentes à agropecuária Agrindus S.A., localizada no município de Descalvado, São Paulo. Região caracterizada pelo clima tropical de altitude, com pluviosidade média anual de 1.509 mm e temperatura anual variando entre 15°C e 28°C. O banco de dados continha registros de 5.217 matrizes, nascidas entre os anos de 1993 e 2011.

As características reprodutivas analisadas no presente estudo foram: I1C, intervalo da data do parto ao primeiro cio (número de dias entre a data do parto e a data do primeiro cio); IUC, intervalo da data do parto a última cobertura ou dias abertos (número de dias entre a data do parto e a data da última cobertura); IP, intervalo de partos (número de dias entre partos consecutivos) e DG, duração da gestação (número de dias entre a data da última cobertura e a data do parto).

Foram estabelecidos os critérios de valores mínimos e máximos para a inclusão na análise das características, para I1C, variando de 15 a 200 dias; IUC, variando de 15 a 365 dias; IP, entre 270 e 730 dias e DG entre 250 e 300 dias. Medidas fora destas restrições foram atribuídas como valores perdidos.

Três características de produção foram avaliadas: P305, produção de leite aos 305 dias de lactação (produção de leite em quilos truncada aos 305 dias de lactação); PICO, pico de lactação (maior produção de leite da lactação); PLIEP, produção de leite por dia de intervalo de partos (produção de leite por lactação dividida pelo intervalo de partos).

Os grupos contemporâneos (GC) foram formados pela união das variáveis ano e época de parto. Foram criados diferentes GCs para as características de reprodução e para as de produção, além da característica DG ter seu próprio GC devido ao evento estar ligado ao parto anterior, totalizando 33, 30 e 30 grupos, respectivamente. Foram desconsideradas as medidas de animais com valores acima ou abaixo de 3,5 desvios padrão da média dentro de GC. A estrutura geral dos dados usados na análise é apresentada na Tabela 1.

Análises dos dados

A estruturação dos arquivos de análise e as estatísticas descritivas das variáveis foram realizadas por meio do programa Statistical Analysis System, versão 9.3 (SAS, 2015).

As técnicas multivariadas de análise de fatores e análise de componentes principais foram utilizadas para redução de dimensionalidade dos dados. As informações contidas em determinado conjunto de n variáveis correlacionadas foram sintetizadas, formando novo conjunto de p ($p < n$) variáveis não correlacionadas, chamadas de componentes principais ou fatores, reportados em ordem decrescente de sua variância.

Tabela 1. Resumo da estrutura dos dados, número de observações (N), média, desvio padrão, valor mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV) de características reprodutivas e produtivas de matrizes da raça Holandesa

Característica ¹	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV(%)
IIC (dias)	11.187	59,51	29,52	15,00	199,00	49,60
IUC (dias)	9.421	158,40	86,97	20,00	365,00	54,90
IP (dias)	7.471	448,77	107,52	270,00	730,00	23,95
DG (dias)	12.272	276,18	5,92	250,00	299,00	2,14
P305 (kg)	12.436	9.350,04	2.402,39	810,00	17.710,00	25,67
PICO (kg)	12.254	39,77	7,34	15,00	65,30	18,45
PLIEP (kg/dia)	7.203	23,74	5,21	5,58	42,33	21,93

¹Medidas reprodutivas - IIC, intervalo da data do parto ao primeiro cio; IUC, intervalo da data do parto a última cobertura; IP, intervalo de parto; DG, duração da gestação. Medidas de produção- P305, produção de leite aos 305 dias de lactação; PICO, produção de leite no pico da lactação; PLIEP, produção de leite por dia de intervalo de partos.

Tendo em vista as diferentes unidades de medida das características foi necessária a padronização das variáveis originais, assumindo média igual a zero e variância igual a um e, dessa maneira, a base para extração das variáveis latentes se torna a matriz de correlação.

O método de componentes principais, a partir da matriz de correlação, consiste em transformar um conjunto de p variáveis $X_1, X_2, \dots, X_n$ em um novo conjunto $Y_1 (CP_1), Y_2 (CP_2), \dots, Y_p (CP_p)$.

Cada componente principal (Y_i) é representado pela combinação linear das variáveis padronizadas (X_j):

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n$$

em que a_{ij} são os autovetores da matriz de correlação das variáveis avaliadas.

No modelo de análise de fatores, a correlação fenotípica entre as variáveis pode ser explicado por m fatores comuns (c) e q fatores específicos (s). Assume-se que a matriz de correlação é dada por $\Sigma = TT' + \Psi$, em que: T é a matriz de cargas fatoriais, cuja dimensão é $m \times q$; e Ψ é a matriz das variâncias dos efeitos específicos, sendo esta uma matriz diagonal de ordem m . O modelo em questão pode ser representado como:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i$$

em que X_i é a i -ésima variável com média zero e variância unitária; a_{ij} são as cargas dos fatores para a i -ésima variável; F_j são os m fatores comuns não correlacionados; e e_i é um fator específico somente para a i -ésima variável que não é correlacionado com qualquer dos fatores comuns. O método de rotação VARIMAX (KAISER, 1958), foi aplicado na análise de fatores.

O critério utilizado para selecionar o número de fatores e componentes principais foi o proposto por Kaiser (1958), o qual estabelece que somente devem-se considerar variáveis latentes cuja variância (autovalor) é superior a 1,0, pois geram componentes com qualidade relevante de informação com base nas variáveis originais. A quantidade de informação retida por componente com autovalor abaixo de 1,0 pode ser considerada como não relevante na descrição dos dados.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos a partir da correlação das características de reprodução e produção (Tabela 2), mostraram coeficientes positivos, de alta magnitude e significativos ($p < 0,01$), variando de 0,677 a 0,903 para as características de produção, sugerindo que mudanças em uma das características, geraria alteração na expressão das outras. Estes resultados concordam com o obtido por Albarran-Portillo e Pollott (2008), que obtiveram valor igual a 0,82 para correlação entre pico e produção total de leite em vacas Holandesa no Reino Unido. Da mesma forma, IUC e IP, possuem coeficiente de correlação igual a 0,998 ($p < 0,01$) indicando associação das características.

As correlações entre características de produção e reprodução apresentaram valores que não excederam 0,22, sendo considerados baixos (Tabela 2). A P305, considerada a característica mais acurada para expressar a lactação (BELLO; STEVENSON; TEMPELMAN, 2012), apresentou valor de 0,22 de correlação com as características IUC e IP. Assim, a correlação positiva encontrada entre estas variáveis confirma a evidencia de uma relação antagônica entre produção de leite e a fertilidade. Valores menores aos obtidos neste estudo foram encontrados por Veerkamp, Koenen e De Jong (2001) e Sun et al. (2010) variando de 0,18 a 0,20 para P305 com IP e IUC. Damatawewa e Berger (1998), entretanto, encontraram

valores superiores variando de 0,27 a 0,31 da correlação fenotípica entre P305 e IUC em diferentes rebanhos da raça Holandesa nos Estados Unidos.

Segundo König et al. (2008), a seleção para maior produção de leite, especialmente no início da lactação, teria efeitos desfavoráveis sobre todas as características reprodutivas, sendo o desgaste energético sofrido pelas vacas após o parto uma das causas principais para este declínio da fertilidade.

A correlação de PLIEP com as características IUC e IP foi baixa, negativa e significativa, sugerindo que vacas sub-férteis tendem a ter menores produções de leite entre dois partos consecutivos.

A característica DG evidenciou coeficiente de correlação próximo de zero ($p < 0,10$) com o conjunto de variáveis analisadas, demonstrando independência com relação à expressão das outras características, sendo exceção a correlação com I1C e IUC que não foram significantes.

Tabela 2. Coeficientes de correlação simples entre as características reprodutivas e produtivas de matrizes da raça Holandesa

	I1C	IUC	IP	DG	P305	PICO	PLIEP
I1C	1,000						
IUC	0,204	1,000					
IP	0,205	0,998	1,000				
DG	0,012	-0,019	0,050	1,000			
P305	0,034	0,224	0,229	0,076	1,000		
PICO	-0,005	0,075	0,080	0,071	0,753	1,000	
PLIEP	-0,027	-0,132	-0,130	0,021	0,903	0,677	1,000

¹Medidas reprodutivas - I1C, intervalo da data do parto ao primeiro cio; IUC, intervalo da data do parto a última cobertura; IP, intervalo de parto; DG, duração da gestação. Medidas de produção- P305, produção de leite aos 305 dias de lactação; PICO, produção de leite no pico da lactação; PLIEP, produção de leite por dias de intervalo de partos.

A análise de fatores extraiu a partir da matriz de correlação das sete características, quatro fatores ou variáveis latentes que explicaram 88,9% da variância total dos dados (Tabela 3). Usou-se o método de rotação VARIMAX a fim de facilitar a interpretação dos resultados. O propósito da rotação dos fatores é separar cargas altas de cargas baixas em mais de um fator, nesse caso, cada fator tem apenas um pequeno grupo de variáveis com cargas fortes, obtendo assim agrupamento diferente das variáveis nos fatores (TYRISEVÄ et al., 2011).

O primeiro fator (F_1) apresenta cargas positivas elevadas (correlação variável-fator) e ligadas a todas às características de produção (Tabela 3). Por conseguinte, as três variáveis agrupadas (P305, PICO e PLIEP) estão altamente associadas ao nível de produção das vacas leiteiras, assumindo que o fator expressa quantidade de leite produzido, podendo ser chamado de “produção de leite”, explicando 30,9% da variação total dos dados.

Tabela 3. Coeficientes de ponderação das características reprodutivas e produtivas de matrizes da raça Holandesa com os fatores (F), comunalidade (Com.) e componentes principais (CP) extraídos a partir da matriz de correlação

Variáveis ²	Fatores rotacionados					Componentes principais		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	Com.	CP ₁	CP ₂	CP ₃
I1C	0,001	0,123	0,006	0,992	0,134	0,053	0,246	0,067
IUC	0,017	0,996	-0,028	0,083	0,969	0,195	0,644	-0,066
IP	0,018	0,995	0,041	0,083	0,971	0,199	0,643	0,003
DG	0,026	0,007	0,999	0,005	0,010	0,063	0,002	0,993
P305	0,939	0,207	0,045	0,009	0,952	0,602	-0,064	-0,026
PICO	0,581	0,048	0,037	-0,008	0,759	0,525	-0,137	-0,005
PLIEP	0,972	-0,154	-0,007	-0,007	0,909	0,527	-0,297	-0,067
Autovalor	2,165	2,065	1,005	0,999	6,234	2,607	2,097	0,998
%VA ³	0,309	0,295	0,143	0,142	0,889	0,372	0,30	0,143

¹Em negrito, altos valores para as cargas; ²De acordo com a Tabela 1; ³ %VA percentagem de variância explicada por cada fator e componente principal.

O segundo fator (F_2) pode ser definido como “atividade reprodutiva”, indicando a eficiência reprodutiva no rebanho, ao considerar as características IUC e IP. A busca dos menores valores para estas duas características sugere altos índices reprodutivos. A correlação descrita anteriormente (Tabela 2) foi confirmada pelo fato destas duas variáveis estarem agrupadas em um mesmo fator.

O terceiro (F_3) e quarto fator (F_4) apresentam ligação com as características DG e I1C, respectivamente, indicando relação do terceiro fator a gestação e o quarto ao início da atividade reprodutiva. A diferença com relação aos dois primeiros fatores, seria que tanto F_3 como F_4 estão associados somente a uma característica, indicando independência destas frente as demais características avaliadas.

A comunalidade representa o quanto cada variável original é explicada pelos fatores comuns. Foram encontrados valores baixos para comunalidade das

características I1C (0,134) e DG (0,010) (Tabela 3), demonstrando que não estão completamente explicadas pelos quatro fatores latentes.

Os resultados obtidos a partir da matriz de correlação, para os componentes principais (CP), com seus respectivos autovalores, porcentagens da variância explicadas por cada um e os coeficientes de ponderação entre os CPs e as características são apresentados na Tabela 3. Dois dos sete componentes principais apresentam variância maior que 1,00 (autovalor maior a 1,00), atingindo o critério de Kaiser. CP₃ também foi considerado por estar perto do valor limiar deste critério. Desta forma, os três CPs considerados retêm aproximadamente 81,5% da variação total dos dados.

A associação dos CPs com as características avaliadas, foi similar ao obtido na análise de fatores. Desta forma, o primeiro componente principal (CP₁) está explicando 37,2% da variação total dos dados e apresenta ligação com as características de produção de leite (P305, PICO e PLIEP).

O segundo componente principal (CP₂) está associado positivamente com IUC, IP e com a característica I1C, embora com menor poder discriminatório. Contrário aos anteriores, o terceiro componente principal (CP₃) está representado somente pela característica DG, possuindo alto poder discriminatório para esta variável (0,99).

Na Figura 1, observa-se a distribuição tridimensional do conjunto de características no plano formado pelos três primeiros componentes principais (CP₁, CP₂ e CP₃). No CP₂, as variáveis de produção apresentam cargas negativas, demonstrando a existência de contraste, principalmente, entre a característica PLIEP com IUC e IP (Figura 1), quanto ao posicionamento destas características no espaço formado pelos três componentes principais selecionados. Consequentemente, vacas com menores valores para IUC e IP, tendem a produzir maior quantidade de leite por intervalo de partos (PLIEP). Convém salientar que quanto mais à esquerda ou à direita na horizontal, e mais acima ou mais abaixo na vertical, maiores propriedades específicas possui a característica.

O particionamento da variância explicada por cada um dos fatores extraídos foi equilibrado, com predominância dos primeiros fatores (autovalor = 2,16 para F₁ e 2,06 para F₂), enquanto os valores para os outros dois estiveram próximos de 1,5 (Tabela 3). Segundo Macciotta et al. (2012) esta é particularidade da análise de fatores em comparação com análise de componentes principais. Na análise de

componentes principais, como foi evidenciado neste estudo (Tabela 3), o primeiro componente é geralmente associado com a maior quantidade de variância em comparação com os componentes sucessivos (JOMBART; PONTIER; DUFOUR, 2009).

Segundo a descrição de Enevoldsen, Hindede e Kristensen (1996), a variância não explicada pelas variáveis latentes extraídas consiste em grande parte de forma aleatória, variações imprescindíveis e erros sistemáticos, ou seja, informações redundantes das variáveis.

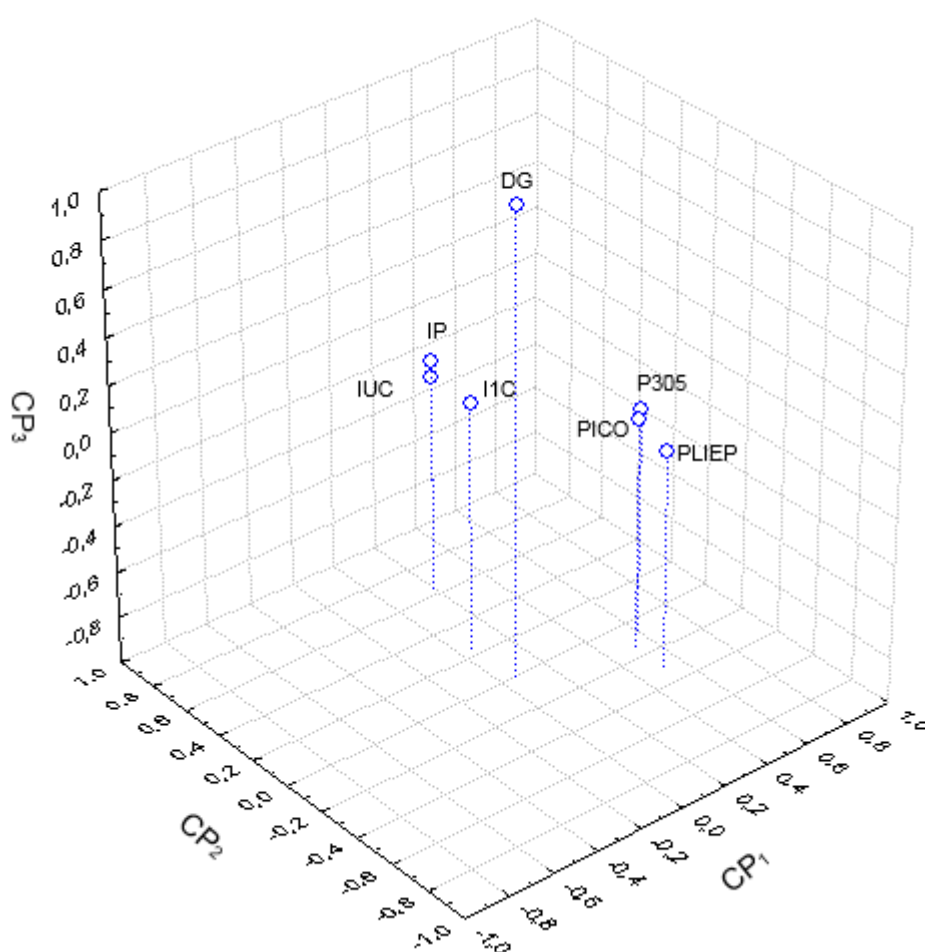


Figura 1. Distribuição das características avaliadas através dos três primeiros componentes principais

Agudelo-Gomez et al. (2015) utilizaram análises de componentes principais para sintetizar a maior parte da variação genética de cinco características reprodutivas e uma de produção de leite em búfalos na Colômbia. Oliveira et al. (2014) usaram a mesma abordagem estatística para modelar a estrutura de

(co)variâncias genéticas entre sete características produtivas e dois reprodutivas em bubalinos no Brasil. Em ambos os estudos foi possível modelar a estrutura de covariâncias genéticas por três e quatro componentes principais, respectivamente. Conseguindo sintetizar o conjunto original de variáveis em conjunto menor de variáveis latentes.

O uso da análise de fatores comportou a separação das características estudadas em quatro fatores, interpretados como indicador da produção de leite, atividade reprodutiva, gestação e início da atividade reprodutiva, respectivamente. A análise de componentes principais foi ferramenta útil na discriminação das variáveis, sintetizando o conjunto original em três variáveis latentes, conseguindo agrupar as características de produção de leite no CP₁, as características reprodutivas no CP₂, com exceção de DG, representada no CP₃. Conseguindo desta forma, reter 81,5% da variação fenotípica total do conjunto original.

Conclusão

A maior parte da variabilidade do conjunto de dados está fortemente correlacionada com os dois primeiros fatores e componentes principais, que inclui as características P305, PLIEP, PICO, IUC e IP.

A duração da gestação (DG) mostrou independência em quanto à expressão fenotípica do conjunto de variáveis avaliadas.

Referências bibliográficas

AGUDELO-GOMEZ, D. A.; SAVEGNAGO, R. P.; BUZANSKAS, M. E.; FERRAUDO, A. S.; MUNARI, D. P.; CERON-MUNOZ, M. F. Genetic principal components for reproductive and productive traits in dual-purpose buffaloes in Colombia. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 3801-3809, 2015.

ALBARRAN-PORTILLO, B.; POLLOTT, G. E. Genetic parameters derived from using a biological model of lactation on records of commercial dairy cows. **Journal of Animal Science**. v. 91, p. 3639–3648, 2008.

BELLO, N. M.; STEVENSON, J. S.; TEMPELMAN, R. J. Invited review: milk production and reproductive performance: modern interdisciplinary insights into an enduring axiom. **Journal of Dairy Science**, vol. 95, no. 10, p. 5461–5475. 2012.

DEMATAWEWA, C. M.; BERGER, P. J. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in Holsteins. **Journal of Dairy Science**, vol. 81, p. 2700–2709, 1998

EGHBALSAIED, S. Estimation of genetic parameters for 13 female fertility indices in Holstein dairy cows. **Tropical Animal Health and Production**, v.43, p.811-816, 2011.

ENEVOLDSEN, C.; HINDEDE, J.; KRISTENSEN, T. Dairy herd management types assessed from indicators of health, reproduction, replacement, and milk production. **Journal of Dairy Science**.Vol.79, p.1221–1236, 1996.

JOMBART, T.; PONTIER, D.; DUFOUR, A.-B. Genetic markers in the playground of multivariate analysis. **Heredity**, v.102, p. 330–341, 2009.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

KIRKPATRIC, M.; MEYER; K. Direct estimation of genetic principal components: simplified analysis of complex phenotypes. **Genetics**, v.168, p.2295-2306, 2004.

KÖNIG, S.; CHANG, Y. M.; BORSTEL, U. U. V.; GIANOLA, D.; SIMIANER, H. Genetic and Phenotypic Relationships Among Milk Urea Nitrogen, Fertility, and Milk Yield in Holstein Cows. **Journal of Dairy Science**, vol. 91, no.11, p. 4372–4382, 2008.

LEBLANC, S. Assessing the association of the level of milk production with reproductive performance in dairy cattle. **Journal Reproduction**, v. 56,p. S1–S7. 2010.

LÖF, E.; GUSTAFSSON, H.; EMANUELSON, U. Associations between herd characteristics and reproductive efficiency in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 4897–4907, 2007.

LOPEZ-GATIUS, F.; GARCIA-ISPIERTO, I.; SANTOLARIA, P.; YANIZ, J.; NOGAREDA, C.; LOPEZ-BEJAR, M. Screening for high fertility in high-producing dairy cows. **Theriogenology**, v. 65, p.1678–1689, 2006.

MACCIOTTA, N. P. P.; CECCHINATO, A.; MELE, M.; BITTANTE, G. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 7346–7354, 2012.

MACCIOTTA, N. P. P.; VICARIO, D.; DIMAURO, C.; CAPPIO-BORLINO, A. A multivariate approach to modelling shapes of individual lactation curves in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p.1092–1098, 2004.

OLIVEIRA, D. P.; BARROS, C. C.; NETO, F. R. A.; LOURENCO, D. A. L.; HURTADO-LUGO, N. A.; TONHATI, H. Principal components for reproductive and productive traits in buffaloes from Brazil. In: 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. British Columbia, Canada. **Resumos...** Vancouver, p. 3–5., 2014.

PETERS, M. W.; PURSLEY, J. R. Fertility of lactating dairy cows treated with Ovsynch after presynchronization injections of PGF2 α and GnRH. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p. 2403–2406, 2002.

ROSO, V.M.; FRIES, L.A. Componentes principais em bovinos da raça PolledHereford à desmama e sobreano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.24, n.5, p.728-735, 1995.

SILVA, M.V.G.B.; BERGMANN, J.A.G; MARTINEZ, M.L; PEREIRA, C.S; FERRAZ, J.B.S; SILVA, H.C.M. Associação Genética, Fenotípica e de Ambiente entre Medidas de Eficiência Reprodutiva e Produção de Leite na Raça Holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.6, p.1115-1122, 1998.

SOUSA, Ricardo Costa. **Análise de componentes principais, curva e alometria do crescimento em bovinos da raça guzerá submetidos à prova de ganho em peso a pasto**. Diamantina, 2011. Tese (Mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011.

SUN, C.; MADSEN, P.; LUND, M.S.; ZHANG, Y.; NIELSEN, U.S.; SU, G. Improvement in genetic evaluation of female fertility in dairy cattle using multiple-trait models including milk production traits. **Jornal of Animal Science**, v. 88, p. 871-878, 2010.

TIEZZI, F.; MALTECCA, C.; CECCHINATO, A.; PENASA, M.; BITTANTE, G. Genetic parameters for fertility of dairy heifers and cows at different parities and relationships with production traits in first lactation. **Jornal of Animal Science**, v.95, p. 7355–7362, 2012.

TYRISEVÄ A.M.; MEYER, K.; FIKSE, W.F.; DUCROCQ, V.; JAKOBSEN, J.; LIDAUER, M.H.; MÄNTYSAARI, E.A. Principal component and factor analytic models in international sire evaluation. **Genetics Selection Evolution**, p. 43:33, 2011.

VEERKAMP, R. F.; KOENEN, E. P. C.; DE JONG, G. Genetic Correlations Among Body Condition Score, Yield, and Fertility in First-Parity Cows Estimated by Random Regression Models. **Jornal of Animal Science**, v. 84, p. 2327–2335, 2001.

CAPÍTULO 3 – COMPONENTES PRINCIPAIS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS E PRODUTIVAS EM MATRIZES DA RAÇA HOLANDESA.

RESUMO – Na avaliação genética de bovinos de leite, modelos de componentes principais do efeito aditivo genético podem ser usados para incorporar várias características na mesma análise, sem o aumento importante no número de parâmetros a serem estimados. Este estudo tem como objetivo comparar modelo multicaracterística padrão (MC) e cinco modelos de posto reduzido ajustados aos primeiros componentes principais determinando assim o mais apropriado para modelar a estrutura de covariâncias genéticas aplicado em características de reprodução e produção de bovinos leiteiros da raça Holandesa criados no Brasil. Foram analisados registros individuais de produção de leite aos 305 dias de lactação (P305), pico de lactação (PICO), produção de leite por dia de intervalo de partos (PLIEP), intervalo da data do parto ao primeiro cio (I1C), intervalo da data do parto a última cobertura (IUC), intervalo de partos (IP) e duração da gestação (DG) de 5.217 matrizes. Para todos os modelos foram considerados os efeitos aleatórios genético aditivo, ambiente permanente e residual e os efeitos fixos de grupo contemporâneo e idade ao parto da vaca. Os componentes de (co)variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando o software Wombat®. Utilizou-se o critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) para comparar os diferentes modelos. Os resultados indicaram que cinco componentes principais (CP5) são necessário para modelar a estrutura de (co)variância genética entre as sete características avaliadas. A correlação genética assim como a fenotípica evidenciou que características associadas à produção de leite estavam fortemente correlacionadas entre si, mas a correlação destas com as características reprodutivas foi fraca. Correlação genética entre características produtivas foi alta ($>0,90$), entre características reprodutivas variou de $-0,19 \pm 0,15$ (DG com IUC) a $0,99 \pm 0,00$ (IP com IUC) e entre estes dois conjuntos de características variou de $-0,14 \pm 0,14$ (PLIEP com IUC) a $0,23 \pm 0,09$ (PICO com DG). As estimativas de variâncias fenotípicas, genéticas e residuais para os modelos MC e CP5 foram similares. Estimativas de herdabilidade no modelo CP5 para as características P305, PLIEP, PICO, I1C, IUC, DG e IP foram $0,18 \pm 0,02$, $0,18 \pm 0,02$, $0,16 \pm 0,02$, $0,09 \pm 0,02$, $0,04 \pm 0,01$, $0,11 \pm 0,02$ e $0,03 \pm 0,01$ respectivamente. CP5 reduziu o número de parâmetros a estimar, sem reduzir a qualidade do ajuste. Características reprodutivas IUP ou IP e a característica produtiva P305, devem ser consideradas como critério de seleção em programas de melhoramento genético em bovinos leiteiros, devido a sua importância econômica e variabilidade genética.

Palavras-chave: componentes de variância, modelos de posto reduzido, Holstein

Introdução

Características de produção de leite e fertilidade são consideradas relevantes em programas de melhoramento genético de bovinos leiteiros, devido a importância econômica (BELLO, STEVENSON e TEMPELMAN, 2012). Desta forma, resulta importante conhecer parâmetros genéticos e correlações genéticas destas características. A estimação de parâmetros genéticos permite conhecer quanto determinada característica responde ao processo de seleção e a ocorrência de respostas genéticas correlacionadas (NASCIMENTO et al., 2014). Estas informações seriam de grande ajuda no momento de delinear o programa de melhoramento no rebanho.

Os grandes conjuntos de dados e amplo número de variáveis, no entanto, dificultam as análises quanto à exigência de tempo e requisitos computacionais, além dos problemas de super estimação de parâmetros devido ao número de características e correlação entre as variáveis (TYRISEVA et al., 2011). Neste contexto, a abordagem estatística de análise de componentes principais (ACP) contribui na diminuição do posto da matriz de (co)variâncias (KIRKPATRICK; MEYER, 2004), reduzindo a dimensionalidade do conjunto original de dados correlacionados e gerando conjuntos reduzidos de variáveis latentes, chamados de componentes principais (CP), com a menor perda possível de informação.

No melhoramento animal, a ACP pode ser utilizada no estudo da relação existente entre as estimativas dos parâmetros genéticos de diferentes características. Exemplos da aplicação da metodologia em bovinos, Meyer (2007) em medidas de carcaça; Bignardi et al. (2012; 2014) para características de produção de leite e de crescimento; Boligon et al. (2015) em pesos corporais. Em suínos, Nascimento et al. (2014) utilizaram a abordagem em medidas de carcaça e desempenho, e por último, em bubalinos, Oliveira et al. (2014) e Agudelo-Gomez et al. (2015) em características reprodutivas e produtivas.

Este estudo tem como objetivo comparar modelo multicaracterística e modelos de posto reduzido ajustados aos primeiros componentes principais e discutir o modelo mais apropriado para modelar a estrutura de covariâncias genéticas,

possibilitando identificar as variáveis mais representativas da variância genética das características de reprodução e produção de bovinos leiteiros da raça Holandesa.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em bovinos de leite da raça Holandesa, pertencentes à agropecuária Agrindus S.A., localizada no município de Descalvado, São Paulo. A região é caracterizada pelo clima tropical de altitude, com pluviosidade média anual de 1.509 mm e temperatura anual variando entre 15°C e 28°C. O banco de dados continha registros de 5.217 matrizes, nascidas entre os anos de 1993 e 2011. A matriz de parentesco continha informação de seis gerações com um total de 7.000 animais no pedigree, filhos de 314 pais e 3.693 mães.

Foram analisadas as seguintes características reprodutivas: I1C, intervalo da data do parto ao primeiro cio (número de dias entre a data do parto e a data do primeiro cio); IUC, intervalo da data do parto a última cobertura ou dias abertos (número de dias entre a data do parto e a data da última cobertura); IP, intervalo de partos (número de dias entre partos consecutivos) e DG, duração da gestação (número de dias entre a data da última cobertura e a data do parto).

Foram estabelecidos os critérios de valores mínimos e máximos para a inclusão na análise das características, para I1C, variando de 15 a 200 dias; IUC, variando de 15 a 365 dias; IP, entre 270 e 730 dias e DG entre 250 e 300 dias. Medidas fora destas restrições foram atribuídas como valores perdidos.

Para avaliar produção de leite foram avaliadas três características: P305, produção de leite aos 305 dias de lactação (produção de leite em quilos truncada a 305 dias de lactação); PICO, pico de lactação (maior produção de leite da lactação); PLIEP, produção de leite por dia de intervalo de partos (produção de leite por lactação dividida pelo intervalo de partos).

Os grupos contemporâneos (GC) foram formados pela união das variáveis ano e época de parto. Foram criados diferentes GCs para as características de reprodução e para as de produção, além da característica DG ter seu próprio GC devido ao evento estar ligado ao parto anterior, totalizando 33, 30 e 30 grupos, respectivamente. Foram desconsideradas as medidas de animais com valores acima

ou abaixo de 3,5 desvios padrão da média dentro de GC. A estrutura geral dos dados usados para os modelos de posto reduzido (CP) e modelo multicaracterística são apresentados na Tabela 1.

A idade da vaca ao parto (IVP) foi obtida pela diferença em anos da idade ao parto e idade ao nascimento, sendo analisada como efeito fixo e dividida em oito níveis, o primeiro aos dois anos e último aos nove ou mais anos. Dentro de cada nível de IVP somente foi considerado um evento reprodutivo e produtivo, a aplicação desta consistência foi descrita por Meyer (2015) para a convergência das estimativas de covariâncias entre as características.

Tabela 1. Resumo da estrutura dos dados, número de observações (N), média, desvio padrão, valor mínimo, máximo, grupos contemporâneos (GC) e coeficiente de variação (CV) de características reprodutivas e produtivas de matrizes da raça Holandesa

Característica ¹	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	GC	CV(%)
I1C (dias)	11.187	59,51	29,52	15,00	199,00	33	49,60
IUC (dias)	9.421	158,40	86,97	20,00	365,00	33	54,90
IP (dias)	7.471	448,77	107,52	270,00	730,00	33	23,95
DG (dias)	12.272	276,18	5,92	250,00	299,00	30	2,14
P305 (kg)	12.436	9.350,00	2.400,24	810,00	17.710,00	30	25,67
PICO (kg)	12.254	39,77	7,34	15,00	65,30	30	18,45
PLIEP (kg/dia)	7.203	23,75	5,21	5,60	42,30	30	21,93

¹Medidas reprodutivas - I1C, intervalo da data do parto ao primeiro cio; IUC, intervalo da data do parto a última cobertura; IP, intervalo de parto; DG, duração da gestação. Medidas de produção- P305, produção de leite aos 305 dias de lactação; PICO, produção de leite no pico da lactação; PLIEP, produção de leite por dias de intervalo de partos.

As análises foram realizadas considerando seis modelos diferentes: multicaracterística padrão (MC) e cinco modelos de posto reduzido, para a matriz de covariância genética, ajustando dois (CP2), três (CP3), quatro (CP4), cinco (CP5) e seis (CP6) componentes principais. Em todos os modelos foram considerados os efeitos aleatórios, genético aditivo direto, ambiente permanente do animal e residual. Foram considerados os efeitos fixos de grupo contemporâneo e idade da vaca ao parto.

O Modelo multicaracterística de repetibilidade (MC) utilizado pode ser representado como:

$$y = Xb + Zu + Wp + e$$

em que y representa o vetor das observações para as sete características, b é o vetor de soluções para os efeitos fixos; u é o vetor de soluções para os efeitos aleatórios genéticos aditivos; p é o vetor de soluções para os efeitos de ambiente permanente do animal; X , Z e W são as matrizes de incidência, para os efeitos fixos, aleatório e de ambiente permanente do animal respectivamente; e é o vetor do efeito aleatório residual, A o numerador da matriz de parentesco e com $Var(u) = \Sigma \otimes A$ em que Σ é a matriz de (co)variâncias.

O modelo de repetibilidade utilizado na análise de componentes principais, é representado pela expressão:

$$y = Xb + Z^*u^* + Wp + e$$

em que $Z^* = Z(E \otimes I)$, $u^* = (E \otimes I)$, $Var(u^*) = (I \otimes A)$ e $\Sigma = E\Lambda E'$. Nestas definições, E corresponde a matriz dos autovetores (v) e Λ a matriz diagonal dos autovalores λ_i . Assim, a matriz de (co)variâncias genética (Σ) pode ser decomposta em termos de E e Λ de forma que $EE' = I$. Considerando m componentes principais, a matriz E é substituída por E_m , a qual compreende as m primeiras colunas ($v_1, \dots, v_m$) de E , portanto, E_m é então utilizada para definir Z^* e u^* (KIRKPATRICK e MEYER, 2005).

Os componentes de (co)variâncias e os parâmetros genéticos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), utilizando o software Wombat (MEYER, 2006).

Os modelos foram comparados pelo logaritmo da função de verossimilhança ($\log L$), critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) (WOLFINGER, 1993). O critério de BIC permite uma comparação entre os modelos não aninhados e penalizam aqueles com maior número de parâmetros. Este pode ser representado como:

$$BIC = -2\log L + p\log(N-r),$$

em que p é o número de parâmetros do modelo, N o número total de observações, r é o posto da matriz de incidência dos efeitos fixos no modelo e $\log L$ o logaritmo da máxima função de verossimilhança restrita. Menores valores para BIC indicam melhor ajuste.

Resultados e discussão

O resumo dos resultados da análise com os diferentes modelos é mostrado na Tabela 2. O número de parâmetros nos modelos estudados variou de 69 a 84. O logaritmo da função de verossimilhança ($\log L$) aumentou conforme aumenta o número de parâmetros até o modelo CP5. No entanto, de acordo com o valor do critério BIC, esse modelo conseguiu o melhor ajuste, indicando que a variância genética total dos dados pode ser explicada por cinco componentes principais.

Tabela 2 – Modelos, número de parâmetros (np), função de verossimilhança ($\log L$), critérios de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) e proporção da variância genética aditiva direta (λ , em %) explicada pelos autovalores para cada modelo

Modelo ¹	np	Log L	BIC*	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
CP2	69	-215.656,92	46,35	86,36	13,64					
CP3	74	-215.646,86	41,33	79,58	13,02	7,40				
CP4	78	-215.578,48	7,13	78,69	13,06	7,58	0,67			
CP5	81	-215.564,21	0,00	79,15	12,80	7,27	0,68	0,10		
CP6	83	-215.575,40	5,60	79,14	12,80	7,28	0,68	0,10	0,01	
MC	84	-215.581,16	8,48	79,16	12,81	7,25	0,68	0,10	0,01	0,00

¹CPn= modelo ajustando n componentes principais; MC= modelo multi-característica de posto completo; *Valores são mostrados como desvios em relação ao “melhor” valor.

A baixa redução obtida a partir da ACP para o conjunto original de dados reflete no alto número de parâmetros ainda a estimar no modelo de posto reduzido, 81 (CP5) de 84 (MC). Isto pode ser explicado pela baixa correlação genética entre as características de produção e reprodução.

De acordo com Meyer (2007), utilizando características altamente correlacionadas, os primeiros componentes principais retêm a maior quantidade de informação explicando a maior parte da variação. Este autor, utilizando análise de fatores e ACP em 14 características de carcaça em bovinos da raça Angus, concluiu que sete CPs conseguiam explicar a maior parte da variação genética.

Utilizando esta mesma metodologia Pereira et. al. (2013) e Bignardi et al. (2012) trabalhando com 10 características de produção de leite em bovinos, Irano et al. (2015) com 11 características de produção de leite de cabras e Boligon et al.

(2015) com sete características de crescimento e reprodução de bovinos, reduziram o conjunto amostral para 2, 2, 2 e 3 componentes principais respectivamente. Os autores explicaram que o reduzido número de CPs necessários para estimar a maior parte da variância foi devido às altas correlações genéticas entre as características avaliadas.

Karacaoren e Kadarmideen (2008) utilizando ACP, avaliaram cinco características funcionais de bovinos da raça Pardo-Suiço, concluindo que quatro CPs, explicaram a maior parte da variação total dos dados, conseguindo redução menor do conjunto de dados original.

As estimativas de herdabilidades foram similares para todas as características entre os modelos PC5 e MC (Tabela 3), a exceção do IP que mostra leve incremento comparado ao modelo multicaracterística (MC). As herdabilidades estimadas para as características de produção variaram de $0,16 \pm 0,02$ a $0,18 \pm 0,02$, e para as características reprodutivas variou de $0,03 \pm 0,01$ a $0,11 \pm 0,02$ no modelo CP5.

As características de reprodução apresentaram estimativas de baixa magnitude, concordando com citações obtidas na literatura, como Veerkamp et al. (2001); Jamrozik et al. (2005); Eghbalsaied (2010) e Sun et al. (2010), indicando baixo efeito atribuído aos genes e alta influência dos componentes ambientais sobre suas expressões. No entanto, devido à importância econômica e variabilidade genética estas características devem ser incluídas como critérios de seleção para obter melhor desempenho.

Albarran-Portillo e Pollott (2008; 2013), trabalhando com gado Holandês no Reino Unido reportaram estimativas de herdabilidade para produção de leite maiores as encontradas no presente estudo, variando de 0,26 (P305) a 0,34 (PICO). Veerkamp et al. (2001), Sun et al. (2010) e Pritchard et al. (2012) também descreveram valores superiores (0,48, 0,39 e 0,34, respectivamente) para a característica P305.

As correlações genéticas e fenotípicas entre as características avaliadas e obtidas pelos modelos MC e CP5 foram semelhantes, mostrando que características associadas à produção de leite estão fortemente correlacionadas entre si, mas a correlação destas com as características reprodutivas foram pequenas, variando de $-0,19 \pm 0,15$ a $0,27 \pm 0,01$ (Tabela 3).

Correlações genéticas entre as características produtivas sugerem que os genes responsáveis pela produção de leite são praticamente os mesmos para as

três características avaliadas, indicando que qualquer uma destas pode ser utilizada como critério de seleção num programa de melhoramento. Estes resultados concordam com o obtido por Albarran-Portillo e Pollott (2008), que obtiveram valor igual a 0,82 e 0,96 para correlação fenotípica e genética, respectivamente, entre PICO e P305. Avaliando as características produtivas em búfalos, Rodrigues et al. (2010), estimaram forte correlação genética para PLIEP e produção de leite (0,99).

As correlações genéticas entre características produtivas e reprodutivas foram baixas, diferente ao encontrado por Sun et al. (2010) e Albarran-Portillo e Pollott (2013) em vacas da raça Holandês, bem como Tiezzi et al. (2012), em vacas da raça Pardo Suíço, que descreveram valores variando de 0,28 a 0,63. A característica I1C apresentou valores positivos para as correlações genéticas com as características produtivas, desta forma, indicando que vacas com maiores produções de leite tendem a ter período maior do parto ao primeiro cio, explicado possivelmente pelo balanço energético negativo sofrido pela maioria das vacas de alta produção no início da lactação.

Segundo Bauman e Currie (1980), o balanço energético negativo no início da lactação é originado pela falta de apetite no pós parto, além do alimento consumido em esta etapa não atender os nutrientes necessários para a lactação, significando em perda de gordura corporal ocasionando alterações na eficiência reprodutiva das matrizes.

A correlação genética entre as características reprodutivas foi baixa e para algumas variáveis foi negativa (DG com IUC e IP), a exceção das características IUC e IP que tiveram correlação alta (0,99). Indicando que os genes responsáveis pelo intervalo de dois partos consecutivos são também altamente responsáveis pelos dias abertos.

Correlação fenotípica entre os dois conjuntos de características foram próximas de zero e levemente negativas, com exceção da correlação do IP e do IUC com P305 ($0,27 \pm 0,01$ e $0,27 \pm 0,01$), sugerindo relação antagônica entre produção de leite e a reprodução, mensurada por estas características.

Segundo Buckley et al. (2003), a relação positiva da produção de leite e as características reprodutivas pode ser explicada pela alimentação baixa de percentual das vacas no início da lactação, impedindo a expressão do potencial genético de produção de leite e, ao mesmo tempo limitando o desempenho reprodutivo. Valores

maiores foram descritos por Albarran-Portillo e Pollott (2013), estimando correlação fenotípica de 0,54 para IP com P305.

A percentagem da variância de ambiente permanente na variância fenotípica para as características avaliadas variou de 2 a 13%. Características de reprodução foram menos influenciadas pelo ambiente permanente (< 10%). Características de produção apresentaram maior influência do ambiente permanente na expressão fenotípica destas, com porcentagens variando de 11 a 13%.

Tabela 3. Estimativas de herdabilidade (na diagonal), correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípica (abaixo da diagonal) obtidas utilizando modelo multicaracterística (MC) e modelo ajustando cinco primeiros componentes principais (CP₅; erro padrão entre parêntesis) de matrizes da raça Holandesa

Variáveis	P305	PLIEP	PICO	I1C	IUC	DG	IP
Modelo MC							
P305	0,18(0,02)	0,99(0,01)	0,93(0,02)	0,16(0,10)	-0,01(0,14)	0,16(0,09)	0,01(0,14)
PLIEP	0,91(0,00)	0,18(0,02)	0,92(0,02)	0,13(0,11)	-0,14(0,14)	0,13(0,10)	-0,12(0,14)
PICO	0,79(0,00)	0,74(0,01)	0,16(0,02)	0,08(0,11)	-0,11(0,14)	0,23(0,09)	-0,08(0,14)
I1C	-0,02(0,01)	-0,06(0,01)	-0,06(0,01)	0,09(0,02)	0,27(0,15)	0,01(0,11)	0,28(0,16)
IUC	0,27(0,01)	-0,04(0,01)	0,11(0,01)	0,15(0,01)	0,04(0,01)	-0,19(0,15)	0,99(0,00)
DG	0,02(0,01)	-0,08(0,01)	0,04(0,01)	0,00(0,01)	-0,03(0,01)	0,11(0,02)	-0,09(0,16)
IP	0,27(0,01)	-0,07(0,01)	0,11(0,01)	0,14(0,01)	0,98(0,00)	0,10(0,01)	0,02(0,01)
Modelo CP5							
P305	0,18(0,02)	0,99(0,01)	0,93(0,02)	0,16(0,10)	-0,01(0,14)	0,16(0,09)	0,01(0,14)
PLIEP	0,91(0,00)	0,18(0,02)	0,92(0,02)	0,13(0,11)	-0,14(0,14)	0,13(0,09)	-0,12(0,14)
PICO	0,79(0,00)	0,74(0,00)	0,16(0,02)	0,08(0,11)	-0,11(0,14)	0,24(0,09)	-0,08(0,14)
I1C	-0,02(0,01)	-0,06(0,01)	-0,06(0,01)	0,09(0,02)	0,27(0,15)	0,01(0,11)	0,28(0,16)
IUC	0,27(0,01)	-0,04(0,01)	0,11(0,01)	0,15(0,01)	0,04(0,01)	-0,19(0,15)	0,99(0,00)
DG	0,02(0,01)	-0,08(0,01)	0,04(0,01)	0,00(0,01)	-0,03(0,01)	0,11(0,02)	-0,09(0,16)
IP	0,27(0,01)	-0,07(0,01)	0,11(0,01)	0,14(0,01)	0,98(0,00)	0,10(0,01)	0,03(0,01)

Medidas de produção- P305, produção de leite aos 305 dias de lactação; PLIEP, produção de leite por dias de intervalo de partos; PICO, produção de leite no pico da lactação. Medidas reprodutivas - I1C, intervalo da data do parto ao primeiro cio; IUC, intervalo da data do parto a última cobertura; DG, duração da gestação; IP, intervalo de parto.

Na Figura 1 estão representadas as correlações dos primeiros três componentes principais com as características. Foram considerados somente os três primeiros CPs devido reter praticamente a variação genética total das variáveis

originais (99,2%). O CP1 agrupou as variáveis IUC e IP, as quais representam 79,1% da variabilidade genética aditiva, seguido do CP2 com 12,8%, que está correlacionado principalmente com P305 e em menor proporção (cargas próximas de 0,25) com as características PLIEP e PICO.

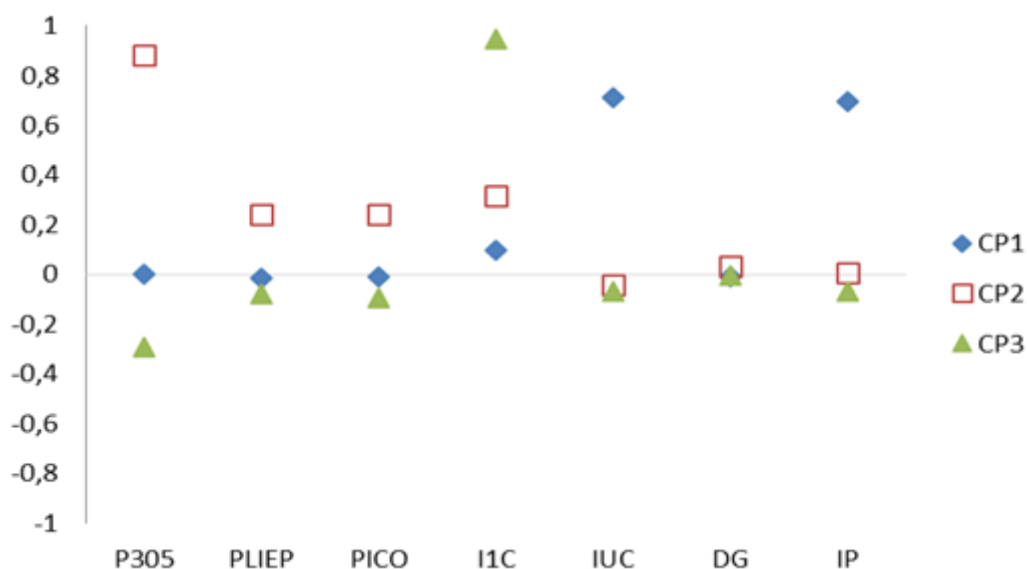


Figura 1. Correlação das características com os três primeiros componentes principais

CONCLUSÕES

O modelo de análise ajustado aos cinco primeiros componentes principais é recomendado para avaliações genéticas de características reprodutivas e produtivas por reduzir o número de parâmetros.

Características reprodutivas intervalo da data do parto a última cobertura ou intervalo de partos e a característica produtiva, produção de leite aos 305 dias de lactação, devem ser consideradas como critério de seleção em programas de melhoramento genético em bovinos leiteiros, devido a sua importância econômica e variabilidade genética.

Referências bibliográficas

ALBARRÁN-PORTILLO, B.; POLLOTT, G. E. The relationship between fertility and lactation characteristics in Holstein cows on United Kingdom commercial dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 635–46, 2013.

ALBARRAN-PORTILLO, B.; POLLOTT, G. E. Genetic parameters derived from using a biological model of lactation on records of commercial dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 91, p.3639–3648, 2008.

AGUDELO-GOMEZ, D. A.; SAVEGNAGO, R. P.; BUZANSKAS, M. E.; FERRAUDO, A. S.; MUNARI, D. P.; CERON-MUNOZ, M. F. Genetic principal components for reproductive and productive traits in dual-purpose buffaloes in Colombia. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 3801-3809, 2015.

BAUMAN, D. E.; CURRIE, W. B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation—A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. **Journal of Dairy Science**, v. 63, p. 1514–1529, 1980.

BELLO, N. M.; STEVENSON, J. S.; TEMPELMAN, R. J. Invited review: milk production and reproductive performance: modern interdisciplinary insights into an enduring axiom. **Journal of Dairy Science**, v. 95, no. 10, p. 5461–5475. 2012.

BIGNARDI, A. B.; EL FARO, L. ; ROSA, G. J. M.; CARDOSO, V. L.; MACHADO, P. F.; ALBUQUERQUE, L. G. Short communication: Principal components and factor analytic models for test-day milk yield in Brazilian Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 2157-2164, 2012.

BIGNARDI, A. B.; SANTANA, M. L.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S. Models for genetic evaluation of growth of Brazilian Bonsmara cattle. **Livestock Science**, v. 162, p. 50-58, 2014.

BOLIGON, A. A.; SILVEIRA, F. A.; SILVEIRA, D. D.; DIONELLO, N. J. L.; SANTANA, M. L.; BIGNARDI, A. B.; SOUZA, F. R. P. Reduced-rank models of growth and reproductive traits in Nelore cattle. **Theriogenology**, v. 83, p. 1338-1343, 2015.

BUCKLEY, F.; O'SULLIVAN, K.; MEE, J. F.; EVANS, R. D.; DILLON, P. Relationships among milk yield, body condition, cow weight, and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 2308–2319, 2003.

EGHBALSAIED, S. Estimation of genetic parameters for 13 female fertility indices in Holstein dairy cows. **Tropical Animal Health and Production**, v.43, p.811-816, 2011.

IRANO, N.; BIGNARDI, A. B.; BALDI, F.; SANTANA, M. L.; TEIXEIRA, I.; TONHATI, H.; ALBUQUERQUE, L. G. Multivariate analysis of test-day and total milk yield in goats. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 13719-13727, 2015.

JAMROZIK, J.; FATEHI, J.; KISTEMAKER, G. J.; SCHAEFFER, L. R. Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 6, p. 2199–2208, 2005.

KARACAOREN, B.; KADARMIDEEN, H. N. Principal component and clustering analysis of functional traits in Swiss dairy cattle. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 32, p. 163-171, 2008.

KIRKPATRICK, M.; MEYER, K. Direct estimation of genetic principal components. Simplified analysis of complex phenotypes. **Genetics**, v. 168, p. 2295-2306, 2004.

KIRKPATRICK, M.; MEYER, K. Restricted maximum likelihood estimation of genetic principal components and smoothed covariance matrices. **Genetics Selection Evolution**, v.21, p.1-30, 2005.

MEYER K. "WOMBAT" – digging deep for quantitative genetic analyses using restricted maximum likelihood. CD ROM Eighth World Congress Genetics Applied Livestock Production, **Proceedings....** Communication No. 27-14, 2006.

MEYER, K. Multivariate analyses of carcass traits for Angus cattle fitting reduced rank and factor analytic models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 124, p. 50-64, 2007.

MEYER, K. **WOMBAT, A program for Mixel Model Analyses by restricted Maximum Likelihood**. Australia, 2015. (Apostila).

NASCIMENTO, G. B.; SAVEGNAGO, R. P.; CHUD, T. C. S.; LEDUR, M. C.; FIGUEIREDO, E. A. P.; MUNARI, D. P. Genetic parameter estimates and principal component analysis on performance and carcass traits of a terminal pig sire line. **Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science**, v. 64, p. 137-144, 2014.

OLIVEIRA, D. P.; BARROS, C. C.; NETO, F. R. A.; LOURENCO, D. A. L.; HURTADO-LUGO, N. A.; TONHATI, H. Principal components for reproductive and productive traits in buffaloes from Brazil. In: 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. British Columbia, Canada. **Resumos...** Vancouver, p. 3–5., 2014.

PEREIRA, R. J.; AYRES, D. R. ; EL FARO, L.; VERNEQUE, R. S.; VERCESI, A. E.; ALBUQUERQUE, L. G. Comparison of factor-analytic and reduced rank models for test-day milk yield in Gyr dairy cattle (*Bos indicus*). **Genetics and Molecular Research**, v. 12, p. 4036-4045, 2013.

PRITCHARD, T.; COFFEY, M.; MRODE, R.; WALL, E. Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. **Animal**, v. 7, p. 34–46, 2012.

RODRIGUES, A. E.; MARQUES, J. R. F.; ARAÚJO, C. V. D.; CAMARGO JÚNIOR, R. N. C.; DIAS, L. D. N. S. Estimação de parâmetros genéticos para características produtivas em búfalos na Amazônia Oriental, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.3, p.712-717, 2010.

SUN, C.; MADSEN, P.; LUND, M.S.; ZHANG, Y.; NIELSEN, U.S.; SU, G. Improvement in genetic evaluation of female fertility in dairy cattle using multiple-trait models including milk production traits. **Jornal of Animal Science**, v. 88, p. 871-878, 2010.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics**, v.22, n.4, p.1079-1106, 1993.

TIEZZI, F.; MALTECCA, C.; CECCHINATO, A.; PENASA, M.; BITTANTE, G. Genetic parameters for fertility of dairy heifers and cows at different parities and relationships with production traits in first lactation. **Jornal of Animal Science**, v.95, p. 7355–7362, 2012.

TYRISEVA, A. M.; MEYER, K.; FIKSE, W. F.; DUCROCQ, V.; JAKOBSEN, J.; LIDAUER, M. H.; MANTYSAARI, E. A. Principal component and factor analytic models in international sire evaluation. **Genetics Selection Evolution**, v. 43, p. 10, 2011.

VEERKAMP, R. F.; KOENEN, E. P. C.; DE JONG, G. Genetic Correlations Among Body Condition Score, Yield, and Fertility in First-Parity Cows Estimated by Random Regression Models. **Jornal of Animal Science**, v. 84, p. 2327–2335, 2001.