



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ALAN LOPES DE AGUIAR

**COMPARAÇÃO DE MODELOS MISTOS GENERALIZADOS BAYESIANOS PARA
AVALIAÇÃO GENÉTICA DA IDADE AO PRIMEIRO PARTO E NÚMERO TOTAL
DE CRIAS EM CABRAS DA RAÇA SAANEN CRIADAS NO BRASIL**

FORTALEZA

2023

ALAN LOPES DE AGUIAR

COMPARAÇÃO DE MODELOS MISTOS GENERALIZADOS BAYESIANOS PARA
AVALIAÇÃO GENÉTICA DA IDADE AO PRIMEIRO PARTO E NÚMERO TOTAL DE
CRIAS EM CABRAS DA RAÇA SAANEN CRIADAS NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Braga Lobo

Coorientador: Dr. Anderson Antônio Carvalho Alves

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A227c Aguiar, Alan Lopes de.
Comparação de modelos mistos generalizados bayesianos para avaliação genética da idade ao primeiro parto e número total de crias em cabras da raça saanen criadas no Brasil / Alan Lopes de Aguiar. – 2023.
43 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Braga Lobo.

Coorientação: Prof. Dr. Anderson Antônio Carvalho Alves.

1. Caprinos leiteiros. 2. Características reprodutivas. 3. Modelos lineares generalizados. I. Título.
CDD 636.08

ALAN LOPES DE AGUIAR

COMPARAÇÃO DE MODELOS MISTOS GENERALIZADOS BAYESIANOS PARA
AVALIAÇÃO GENÉTICA DA IDADE AO PRIMEIRO PARTO E NÚMERO TOTAL DE
CRIAS EM CABRAS DA RAÇA SAANEN CRIADAS NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de Concentração: Produção Animal.

Aprovada em: 27/04/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Braga Lobo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)/ Embrapa Caprinos e Ovinos

Dra. Ana Maria Bezerra Oliveira Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Ana Fabrícia Braga Magalhães
Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Profa. Dra. Maria Malane Magalhães Muniz
University of Guelph

Dr. Gerardo Alves Fernandes Júnior
FUNCAP / CNPq / Embrapa Caprinos e Ovinos

Aos meus pais, Maria Safira Lopes e Ocean Custódio de Aguiar, pelo financiamento incondicional dos meus estudos.

À minha irmã, Aline Lopes de Aguiar, por toda parceria durante toda minha vida estudantil.

A vocês dedico esse trabalho.

Aos meus avós (in memoriam), Margarida Carneiro de Aguiar, Antônio Custódio Neto, Maria Valdete Ponte Lopes e José Lopes Portela. Saudades é como martelo que bate sem aviso prévio, provocando dores e transformações intensas. Todavia, carrego vocês em minha essência, somos indissociáveis.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A princípio, dirijo meus agradecimentos a Deus, criador dos céus e da terra, por Ele ter me guiado nos caminhos da perseverança, da sabedoria e por ter garantido inúmeras provisões, sejam elas pequenas ou grandes, durante o curso de doutorado.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

À Embrapa Caprinos e Ovinos pela operacionalização da pesquisa desta tese.

Ao meu orientador, Dr. Raimundo Nonato Braga Lobo, pela parceria que se deu ao longo do mestrado e doutorado, pela confiança e pela oportunidade de aprender sobre fazer ciência de forma ética e pelo aprendizado sobre vida.

Ao meu coorientador Dr. Anderson Antônio Carvalho Alves, por todo auxílio durante a produção da tese e por ser uma pessoa leve e prestativa.

À minha família que deu força durante os momentos de fraqueza, certeza em momentos de dúvidas e alegrias em momentos de tristeza; sem esse contato diário não seria possível concluir meu doutorado.

Aos membros da banca de minha atividade de qualificação os quais foram iluminados e me ensinaram muita coisa de forma suave, profissional, humana e técnica.

Aos professores das disciplinas do doutorado, Maria do Socorro Carneiro, Ednardo Freitas, Rodrigo Maggione, Ana Liza, José Roberto e José Neumam, Ana Sancha, Ângela Vasconcelos e Aline Landim. Merece destaque para agradecimentos, o professor Luciano Pinheiro, pelas contribuições em algumas disciplinas fundamentais a minha formação profissional, acompanhamentos nas disciplinas de seminário e pelo convívio durante as atividades acadêmicas.

À secretária da pós-graduação, Francisca, pela presteza, quando precisava da coordenação do curso.

Aos meus tios Francisco e Dulce, pela doce receptividade e pala instalação calorosa que me deram durante meu período em Fortaleza.

Aos Colegas de Pós-graduação, Samille, Rafael, Waslinne, Gisa, Emerson e Milena, pelos momentos de alegria e descontração e pelos estudos compartilhados em melhoramento animal.

A todos, muito obrigado!

Não andem ansiosos por coisa alguma, mas em tudo, pela oração e súplicas, e com ação de graças, apresentem seus pedidos a Deus.

Filipenses 4; 6

RESUMO

A produção de leite caprino no Brasil encontra-se em busca de estabilidade e aumento de produtividade, por isso a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária junto com a Associação dos Criadores de Caprinos e Ovinos de Minas Gerais, Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária - EMPAER e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN desenvolvem ações no Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros (Capragene®) nos estados da região sudeste e nordeste do Brasil. Uma das ações do programa consistem em avaliar geneticamente bodes jovens através do teste de progênie, na qual precisa que o reprodutor tenham descendentes em produção para serem avaliados. Objetivou-se com esta pesquisa realizar estudo genético das características idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias durante a vida reprodutiva da matriz (NTC) e comparar diferentes modelos para realizar a avaliação genética. Os dados foram provenientes dos rebanhos de caprinos leiteiros participantes do Capragene. Análises bicaracterísticas foram realizadas para ajustar IPP e NTC conjuntamente, assumindo-se três possíveis combinações de distribuições: Normal x Normal (NN), Normal x Poisson (NP) e Normal x Ordinal (NO). Para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos foram utilizados o Critério de Informação do Desvio (DIC, do inglês Deviance Information Criterion), a correlação entre os valores observados e ajustados e quadrado médio do erro de estimativa (MSE, do inglês Mean-Square-Error). A IPP foi pouco superior a dois anos e o NTC foi superior a três. Foram obtidos diferentes valores de herdabilidade para NTC, variando entre 0,03 e 0,17, de acordo com os diferentes modelos. A estimativa de herdabilidade para NTC estimada com o modelo NN foi inferior aos modelos que assumiram distribuição não-normal para esta característica. A herdabilidade estimada para IPP foi de 0,04, independentemente da distribuição assumida para NTC. Os modelos não lineares apresentaram melhor ajuste para NTC, sendo recomendados para avaliação genética desta característica.

Palavras-chave: caprinos leiteiros; características reprodutivas; modelos lineares generalizados.

ABSTRACT

The production of goat milk in Brazil is in search of stability and increased productivity, so the Brazilian Agricultural Research Corporation together with the Association of Goat and Sheep Breeders of Minas Gerais, Agronomic Institute of Pernambuco - IPA , Paraíba Research, Rural Extension and Land Regularization Company – EMPAER and the Rio Grande do Norte Agricultural Research Company – EMPARN develop actions in Dairy Goats Breeding Program (Capragene®) in the states of the southeast and northeast of Brazil. One of the actions of the program consists of genetically evaluating young bucks through the progeny test, in which the breeder needs to have offspring in production to be evaluated. The increase in offspring left by breeders also depends on the reproductive capacity of females, in this sense, the objective of this research was to carry out a genetic study of the characteristics age at first kidding (IPP) and total number of offspring during the doe's reproductive life (NTC) and compare different models to perform the genetic evaluation. The data came from dairy goat herds participating of Capragene®. Two-trait analyzes were performed to adjust IPP and NTC together, assuming three possible combinations of distributions: Normal x Normal (NN), Normal x Poisson (NP) and Normal x Ordinal (NO). To assess the goodness of fit of the models, the Deviance Information Criterion (DIC) was used, the correlation between the observed and adjusted values and the mean square of the estimation error (MSE). The IPP was just over two years and the NTC was over three. Different heritability values for NTC were obtained, ranging from 0.03 to 0.17, according to the different models. The heritability estimated for NTC estimated with the NN model was lower than the models that assumed non-normal distribution for this trait. The estimated heritability for IPP was 0.04, regardless of the distribution assumed for NTC. The non-linear models presented a better fit for NTC, being recommended for the genetic evaluation of this trait.

Keywords: dairy goats; reproductive traits; generalized linear models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultado do primeiro sumário de avaliação genética para raça Saanen e primeiro sumário de avaliação genética genômica para raça Saanen.....	20
Figura 2 – Histograma (esquerda) e gráfico de barras (direita) para idade ao primeiro parto e número total de crias em caprinos da raça Saanen criados no Brasil	33
Figura 3 – Distribuições posteriores de herdabilidade para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen, considerando um modelo Bayesiano misto com distribuições Gaussianas para ambas características.....	34
Figura 4 – Distribuições posteriores de herdabilidade para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen, considerando um modelo Bayesiano misto ajustado com distribuições Gaussianas para IPP e Poisson para NTC	35
Figura 5 – Distribuições posteriores de herdabilidade para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen, considerando um modelo Bayesiano misto ajustado com distribuições Gaussianas e Ordinais, respectivamente	35
Figura 6 – Densidade de valores genéticos esperados (EBVs) para número total de crias (esquerda) e idade ao primeiro parto (direita), gráficos de dispersão e correlações entre EBVs de acordo com o modelo ajustado, característica e sexo.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Idade em meses reportadas para a puberdade em caprinos	16
Tabela 2	– Número de observações (N), média e desvio padrão (DP), valores mínimos (Min) e máximos (Max), e coeficiente de variação (CV) para idade ao primeiro parto (IPP) em anos e número total de crias (NTC), em caprinos da raça Saanen criados no Brasil.....	29
Tabela 3	– Média (\pm desvio-padrão), mediana, intervalo de maior densidade a 95% (HDP95%) e critérios de convergência para distribuições marginais a posteriori de parâmetros genéticos estimados para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen de acordo com diferentes modelos mistos generalizado bayesiano.....	35
Tabela 4	– Critérios de desvio de informação (DIC) e diferença entre modelos mistos generalizados multicaracterística, usados para ajustar a idade ao primeiro parto sob uma distribuição normal e considerando distribuição Normal, Poisson ou Ordinal para número total de crias, em cabras Saanen.....	34
Tabela 5	– Medidas de qualidade de ajuste para diferentes modelos mistos generalizados bayesianos, considerando o ajuste de todas as observações disponíveis ou um esquema de validação cruzada	36
Tabela 6	– Porcentagem de animais em comum, de acordo com a intensidade de seleção, modelo e característica.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPRAGENE	Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros.
EMC	Erro de Monte Carlo
GC	GC - Grupo de contemporâneo
MCMC	MCMC - Método de Monte Carlo via Cadeia de Markov
NTC	NTC - Número Total de Crias
VC	Validação cruzada
DIC	Critério de desvio de Informação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NN	Modelo bi-característica com distribuição Normal para NTC e IPP
NP	Modelo assumindo distribuição normal para IPP e Poisson para NTC
NO	Modelo assumindo distribuição normal para IPP e ordinal (probit) para NTC
h^2	Herdabilidade
r_a	Correlação genética
R_{cg}	Correlação de grupos contemporâneos
r_e	Correlação residual
ACCOMIG	Associação dos Criadores de Caprinos e Ovinos de Minas Gerais Caprileite
EBV	Valores genéticos esperados
MSE	Erro quadrático Médio

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Eficiência reprodutiva em caprinos leiteiros.....	17
2.2	Idade ao primeiro parto em caprinos leiteiros.....	19
2.3	Estudo do número total de crias em caprinos leiteiros.....	20
2.4	Testes de progênie em caprinos leiteiros no Brasil.....	21
2.5	Estatística bayesiana no melhoramento animal.....	22
3	CAPÍTULO II: COMPARAÇÃO DE MODELOS MISTOS GENERALIZADOS BAYESIANOS PARA AVALIAÇÃO GENÉTICA DA IDADE AO PRIMEIRO PARTO E NÚMERO TOTAL DE CRIAS EM CABRAS DA RAÇA SAANEN CRIADAS NO BRASIL.....	27
3.1	Introdução.....	28
3.2	Material e métodos.....	30
3.2.1	Dados fenotípicos e de pedigree.....	30
3.2.2	Análise estatística.....	31
3.2.3	Comparação do ajuste dos modelos.....	33
3.2.4	Critérios de habilidade de predição.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O leite caprino apresenta-se como fonte de alimento in natura, desidratado ou para produção de produtos lácteos tais como iogurtes, queijos e sorvetes (SANTOS et al., 2021). A demanda por leite caprino se dá pela contribuição dele para segurança nutricional, tendo seus efeitos relacionados ao desenvolvimento muscular e ósseo, sendo recomendado principalmente para crianças e idosos. O leite de cabra constitui-se fonte de nutrientes indispensáveis como carboidratos, gorduras, proteínas, minerais e vitaminas.

O perfil proteico do leite caprino o torna mais digestível, segundo Gallier (2021) a α 2-Caseína, β -Caseína e κ -Caseína são os principais componentes da fração proteica do leite caprino. A digestão do leite caprino é mais rápida, uma vez que a estrutura mais aberta das proteínas permitiria uma maior difusão da pepsina e, portanto, melhora a digestão das proteínas, isso tem se tornado uma vantagem em relação ao leite de gado.

Em 2017, o mundo contava com população de caprinos em torno de 218 milhões de caprinos para produção de leite, de acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO, ainda no mesmo ano a produção de leite caprino correspondia a 18,7 milhões de toneladas por ano (FAO, 2019).

No Brasil, a produção de leite de cabras se concentra, principalmente nos estados das regiões Nordeste e Sudeste, todavia há contrastes entre os sistemas de produção de leite de cada região, na qual os estados do Nordeste adotam o sistema de produção semi-extensivo, no qual os animais são produzidos em pastagem nativa da caatinga (OLIVEIRA et al., 2022) e suplementados nos períodos de menores oferta de forragem.

No ano de 2018 o Brasil produziu cerca de 26 milhões de litros de leite de cabra, sendo a região nordeste responsável por mais 70% dessa produção (IBGE, 2019). De acordo com a estimativa da FAO (2019) a produção de leite caprino neste país apresenta-se em crescimento, sendo que de 1967 até 2017 a produção triplicou.

Por isso a demanda por leite caprino vem aumento a cada ano (MILLER e LU, 2019), principalmente por consumidores de leite bovino que apresenta alergias ou restrições a este tipo de leite. Destarte, a pecuária de pequenos ruminantes deve estar atenta a esta demanda, de modo a ofertar produtos em quantidades e qualidade suficiente.

De maneira geral no Brasil, o setor produtivo de pequenos ruminantes tem se mostrado promissor para fornecimento de alimentos, todavia há muitos entraves a ser superados para otimizá-lo. Dentre os principais desafios pode-se citar a baixa tecnificação da

produção e a desestruturação da cadeia produtiva (LOBO, 2019). O melhoramento genético dos rebanhos é uma das formas de promover ganhos produtivos e econômicos na produção de ovinos e caprinos.

Neste sentido, a seleção de animais de maior mérito genético para se tornarem pais da próxima geração e a definição dos sistemas de acasalamentos mais adequados tem sido uma das formas de promover melhoramento genético. As avaliações genéticas de animais passaram por várias abordagens, visando a seleção de animais superiores, desde as mais simples, como classificação de animais por características fenotípicas, realizadas muitas vezes com base em características morfométricas, passando pelas avaliações genéticas baseadas nos registros fenotípicos, pedigree e genômicos.

As informações reprodutivas são importantes em programas de melhoramento genético de caprinos leiteiros, pois as respostas à seleção estão relacionadas com intervalo de geração, que por sua vez são afetadas pela eficiência reprodutiva. Além disso, faz-se necessário o estudo de novas características que melhor representem o potencial reprodutivo ao longo da vida dos animais.

Uma alternativa seria a adoção do número total de crias durante toda vida da matriz (NTC), de forma a refletir simultaneamente o potencial para prolificidade, habilidade de reconcepção e sua permanência no rebanho. No entanto, o NTC pode ser considerado como uma característica de contagem e possivelmente sujeita a censura de observações. Dessa forma, a utilização de métodos que permitam uma melhor descrição e tratamento da variação genética dessa característica poderia potencialmente promover um melhor ajuste aos dados observados.

Isto porque modelos mistos generalizados (MMG) permite uma maior flexibilidade ao analisar características com diferentes famílias de distribuições, tais como a Binomial e Poisson. Dessa forma sua utilização poderia potencialmente beneficiar a avaliação de características reprodutivas que não seguem distribuição normal, podendo manifestar distribuições discretas ou de contagem (Naya et al., 2017). Nesse sentido, a avaliação genética de características como o NTC poderia ser otimizada pela integração de tecnologias como os MMG. Partindo dessa premissa, o objetivo desse estudo consiste em comparar diferentes distribuições para avaliar o NTC mensurado em caprinos leiteiros.

REFERÊNCIAS

BRAGA LOBO, Raimundo Nonato. Opportunities for investment into small ruminant breeding programmes in Brazil. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Londres, v. 136, n. 5, p. 313-318, 2019.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food and Agriculture Organization of the United Nations statistical databases. Roma, 2019. Disponível em <<http://faostat.fao.org/5>. United States Department> Acessado em 30 agosto de 2022.

GALLIER, Sophie; TOLENAARS, Louise; PROSSER, Colin. Whole goat milk as a source of fat and milk fat globule membrane in infant formula. **Nutrients**, [s.l.], v. 12, n. 11, p. 3486 - 3499, 2020.

BRASIL, I. B. G. E. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. **Censo demográfico**, v. 2019, p. 11, 2019.

MILLER, B. A.; LU, C. D. Current status of global dairy goat production: An overview. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, Camberra, v. 32, n. 8, p. 1219, 2019.

NAYA, H.; PEÑAGARICANO, F.; URIOSTE, J. I. Modelling female fertility traits in beef cattle using linear and non - linear models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Londres, v. 134, n. 3, p. 202-212, 2017.

OLIVEIRA, Leandro Silva et al. Typology of dairy goat production systems in a semiarid region of Brazil. **Small Ruminant Research**, Little Rock, v. 216, p. 1060, 2022.

SANTOS, Wellington Farias dos et al. Production and quality of cheese and milk of goats fed with guava agroindustrial waste (*Psidium guajava* L.). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 42, p. 521, 2021.

2 CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eficiência reprodutiva em caprinos leiteiros

Velocidade de crescimento, peso corporal, eficiência reprodutiva, melhor capacidade de sobrevivência são essenciais para lucratividade na caprinocultura e para acelerar os ganhos genéticos. As características reprodutivas em cabras são de grande importância e determinam a produtividade geral e progresso genético por unidade de tempo (SINGH, 2021).

A eficiência reprodutiva pode ser compreendida como o número de descendentes por animal por unidade de tempo, ela depende da otimização das atividades reprodutiva dos rebanhos, tanto o macho quanto a fêmea são responsáveis pela eficiência reprodutiva, sendo necessário também que os manejos sanitário e nutricional sejam eficientes.

Para avaliar a eficiência reprodutiva, alguns parâmetros precisam ser considerados, dentre eles pode-se destacar: a fertilidade, mensurada pela proporção de fêmeas prenhes em relação ao número total das expostas ao acasalamento; a taxa de parição, que é o número de fêmeas paridas pelo número de fêmeas expostas ao acasalamento; a prolificidade, que é o número de crias nascidas por fêmeas paridas; a idade ao primeiro parto; o intervalo de partos, que é o número de dias entre partos sucessivos; e o percentual de desmame, que é o número de crias desmamadas pelo total de fêmeas expostas ao acasalamento (ALEMAYEHU et al., 2021; ASSAN, 2020). Segundo Alen et al. (2021), as principais características utilizadas para avaliação reprodutiva são: idade ao primeiro parto, período de serviço, intervalo da primeira à última lactação, intervalo de parto, taxa de concepção e número de serviços por concepção. Para Ramos et al. (2019), características reprodutivas das matrizes têm sido incluídas como critérios de seleção em programas de melhoramento genético animal.

Uma boa matriz caprina deve entrar em puberdade cedo. Esta característica pode ser definida como a idade que a fêmea apresenta os primeiros sinais de estro. Esse fenótipo irá variar em função da raça e do sistema de criação (Tabela 1). De acordo com Melado (2016), a idade à puberdade poderá ser reduzida pela nutrição, pela exposição das fêmeas ao macho e pelo uso estratégico de cruzamentos. A idade ao entrar na puberdade influencia a idade ao primeiro parto - IPP, todavia não assegura que animais que entram cedo na puberdade tenham IPP reduzida. Fatores como fertilidade, abortos e maturidade sexual podem levar ao aumento da IPP. De acordo com Mellado (2016), em caprinos, ela tem sido relatada entre 12 e 14 meses.

O intervalo de partos pode ser entendido como o tempo entre um parto e outro subsequente (CHARRAY, 1992). Em caprinos leiteiros da raça Saanen, Adjassin et al. (2022) reportaram intervalo de parto de 1,1 ano. É importante que em caprinos de corte o intervalo de parto seja menor. Para diferentes raças caprinas americanas, Ziadi et al. (2021) reportaram intervalo de partos de 0,96 a 1 ano).

Tabela 1. Idade em meses reportadas para a puberdade em caprinos.

Raça	Sistema	Puberdade	Autores
Saanen	Extensivo	7,3	Ince, 2010
Boer	Extensivo	5,5	Snyman, 2004
Local chinesa	Intensivo	4	Zhao et al., 2019
Local Marroquina	Intensivo	9	Chentouf et al., 2011

Dentre as características reprodutivas, a prolificidade é fundamental para verificar a eficiência do sistema de produção (NUNES e SALGUEIRO, 2011), principalmente por aumentar taxa de desfrute do rebanho. Estudos sobre esta característica tem sugerido variação numérica bastante significativa dentro e entre raças.

Segundo Notter (2008), a herdabilidade para prolificidade é 0,10, demonstrando que há pouca variação genética nela. Desta forma, sugere-se que para melhorar esta característica seria importante a identificação de marcadores/genes, a fim de melhorá-la mais rapidamente, otimizando o potencial genético nas próximas gerações, e melhorar a viabilidade do sistema de criação, obtendo maior retorno econômico.

O número total de crias também é influenciado pela prolificidade, podendo ser entendida como número de crias por parto (HALDAR et al., 2014). É uma característica complexa que envolve o desenvolvimento ovariano, ovulação, concepção, fertilização, implantação e desenvolvimento fetal e placentário (XU et al., 2018).

Uma forma de promover ganhos na prolificidade é através do aumento da taxa de ovulação. De acordo com Jansson (2014), os genes relacionados a essa taxa fazem parte da superfamília do fator de transformação de crescimento (TGF β), nos quais codificam proteínas que são fatores essenciais de crescimento e receptores no desenvolvimento folicular nos ovários, podendo destacar os genes: *BMP1B*, *BMP15* e *GDF9*.

No entanto, em sistema de produção mais rudimentares e em condições de manejo mais severas, altas taxas de prolificidade pode não apresentar viabilidade econômica.

Geralmente, as crias oriundas de partos múltiplos tendem a nascer com peso inferiores que as crias oriundas de partos simples, além de apresentar taxa de sobrevivência muito inferior.

Características reprodutivas exigem maior tempo para prover ganhos genéticos pela baixa herdabilidade e pela influência de fatores ambientais. Entretanto, com avanços dos estudos moleculares novas tecnologias foram desenvolvidas, nas quais permitem otimizar o ganho genético. Adicionalmente, metodologias estatísticas que levem ao aumento da acurácia das avaliações genéticas tem sido uma forma de reduzir o tempo para ganho genético, uma vez que a melhoria na estimativa dos valores genéticos pode definir estratégias de seleção que influenciem no intervalo de geração e na intensidade de seleção (KLUSKA et al., 2018).

Características citadas acima levam para o aumento da eficiência reprodutiva da fêmea. Todavia, o estudo de novas características que representem essa eficiência seria essencial para aplicação em programas de melhoramento animal. Pensando nisso, o número total de crias durante a vida produtiva das matrizes deve ser avaliado visando sua inclusão em programas de melhoramento.

2.2 Idade ao primeiro parto em caprinos leiteiros

A idade ao primeiro parto indica a precocidade reprodutiva sendo uma característica que contribui para aumento na quantidade de animais produzidos no próprio rebanho. A matriz precoce para IPP pode deixar mais descendentes ao longo da vida, promove ganhos econômicos por otimizar os custos com alimentação e manejo, desta forma a IPP é importante por afetar a rentabilidade na produção de caprinos.

Fatores relacionados ao manejo sanitário, reprodutivo, nutricional e bem-estar animal podem aumentar a IPP, de acordo com Zamuner et al. (2023) a estação de nascimento e a taxa de crescimento são os principais fatores que afetá-la, porque se o ganho de peso não for alcançado durante a estação reprodutiva a IPP aumentará.

Cabras com baixas IPP tende a apresentar bons índices reprodutivos ao longo da vida. Além disso, para os animais apresentarem baixa IPP é necessário que as matrizes tenham bom desenvolvimento corporal, uma vez que os animais ao apresentarem primeiro estro não estejam aptas a reprodução pelo baixo desenvolvimento corporal.

Entretanto, caprinos leiteiros com baixa IPP podem comprometer a produção total de leite e baixas produção de componentes do leite na primeira lactação, todavia apresenta alta persistência de lactação. Em caprinos leiteiros produzidos na França Arnal et al. (2018)

indicaram que cabras com IPP entre 9 e 10 meses apresentaram baixa produção leite. Segundo IDELE (2021) a produção de leite e a duração da lactação aumentaram quando a IPP foi superior a 12 meses. Todavia, IPP acima disso apresenta efeito negativo sobre a eficiência produtiva do animal devido ao aumento do custo de uma fase de criação prolongada (WOLBER et al., 2021).

Desta forma, a IPP deve ser acompanhada para que não comprometa a produção de leite, mas que não comprometa a eficiência econômica do rebanho. O sistema de produção de leite precisa de animais mais eficientes e que entrem na produção leiteira mais cedo, todavia aspectos qualitativos, quantitativos e econômicos da produção leite deve ser analisados. Para o melhoramento animal, baixos IPPs são importantes por reduzir o intervalo de gerações que acelera a resposta a seleção.

2.3 Estudo do número total de crias em caprinos leiteiros

Em sistemas de produção de caprinos leiteiros o aumento de cabritas nascidas por rebanho é importante por assegurar reposição, aumentar a quantidade de animais aptas a produção de leite, melhorar a intensidade de seleção. Já para os cabritos podem ser avaliados com futuros reprodutores ou podem ser comercializados, gerando renda para sistema de produção.

Matrizes de alto valor genético para produção leiteira é essencial que apresente bons índices reprodutivos, de modo que possa deixar muitos descendentes no plantel, o que irá promover multiplicação de bom material genético. Além disso, é importante que a matriz não apresente defeitos que possa levar ao descarte.

A otimização do desempenho reprodutivo associado com longevidade da matriz proporcionará que a matriz deixe muito descendentes no plantel. Pensando nisso, seria viável estudar fenotipicamente e geneticamente uma característica que indicasse o potencial reprodutivo e a capacidade de permanência das matrizes no rebanho, desta feita o número total de crias por matriz durante a vida produtiva da matriz – NTC em sistema de produção leiteiro proporcionaria a avaliação integral delas. Em animais leiteiros a avaliação genética para capacidade leiteira se dá através da produção das filhas pelo método conhecido como teste de progênie, desta forma promover melhorias para características NTC pode ser fundamental para disponibilizar mais filhas dos bodes que participarão dos testes de progênie por proporcionar o aumento número de filhas que os reprodutores deixarão no rebanho.

2.4 Testes de progênie em caprinos leiteiros no Brasil

Para realizar avaliações genéticas em animais leiteiros o teste de progênie é uma opção em comum para avaliar o potencial genético dos machos para características relacionadas à produção de leite, neste teste torna-se necessário conhecer a produção dos animais parentes do animal avaliado, principalmente o fenótipo das filhas. Entretanto, no Brasil há alguns entraves financeiro e logístico para realizá-lo, dentre eles, a falta de políticas públicas, empresas para coleta de sêmen e distribuição, número reduzido de lotes com controle leiteiro, e uma baixa eficiência da técnica de inseminação (SANTOS et al., 2015).

No Brasil testes de progênie são realizados em caprinos leiteiros nos animais participantes do Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros (Capragene®), em atividade desde 2005 pela Embrapa Caprinos e Ovinos e parceiros. Dessa forma, o objetivo principal consiste em realizar avaliações genéticas de reprodutores através de um banco de dados adequado e seguro, sendo realizados registros dos animais, dados zootécnicos e o Controle Leiteiro Oficial (FACÓ et al., 2021), e deste modo promover instrumentos necessários para o melhoramento genético dos rebanhos.

A avaliação genética em caprinos leiteiros é uma ferramenta utilizada para estimar o valor genético dos animais, expresso por meio da PTA. Para os animais participantes do Capragene® os testes de progênie buscam avaliar machos jovens da raça Saanen e Anglo-Nubiano de acordo com a produção e tipo leiteiro das filhas, tais como: produção de leite, proteína e gordura, duração da lactação, idade ao primeiro parto, peso adulto e aspecto do úbere. As avaliações genéticas são realizadas por técnicas estatísticas de modelos mistos sob modelos animais, com a metodologia Best Linear Unbiased Prediction – BLUP (LOBO et al., 2010).

Todavia, para realizar avaliações genéticas mais confiáveis faz-se necessário um banco de dados seguro e controle zootécnico consistente, de modo que as informações produtivas dos animais estejam registradas. Desta forma, desde 2020 o programa vem firmando mais parcerias principalmente nos estados da região Nordeste, atualmente já conta com parceiros como Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária – EMPAER e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN para execução do (Capragene®) nos rebanhos dos estados do Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte respectivamente.

Desde 2014 o programa vem lançando sumário de avaliação genética para caprinos da raça Saanen participantes do (Capragene®) (FACO et al., 2014), na qual são

disponibilizadas informações das PTAs de matrizes e reprodutores para produção de leite (Figura 1). Em 2017 e 2020 foram disponibilizados para animais da raça Saanen o primeiro e segundo sumário de avaliação genética genômica respectivamente (Figura 1) (LOBO et al., 2017; FACO et al., 2020). Já no ano de 2021 foi lançado o primeiro sumário de avaliação genética genômica para raça Alpina (FACO et al., 2021).

Tabela 1. Capacidade prevista de transmissão (PTA) para a produção de leite até 305 dias de lactação (PL305) de bodes da raça Saanen, inscritos no 1º e no 2º grupos do teste de progênie, estimada com confiabilidade (Conf.) igual ou superior a 0,70.

Registro do Animal	Nome	Ano Nasc.	PTA PL305 (kg)	Conf.	Sêmen disponível	Situação	Nº de filhas	Nº de rebanhos	Grupo do TP
2615404080	BIG BODE DA SERRA DE ANDRADAS	2004	102,19	0,73	Sim	Morto	14	6	1º
1421306840	BARÃO SANRI	2006	60,34	0,75	Sim	Morto	26	4	2º
2640706059	NATAN DO PARAÍSO DA MANTIQUEIRA	2006	54,43	0,74	Sim	Vivo	24	5	2º
00KAP00M18	KAPRA V. CHANCE WINDSTON	1999	13,87	0,76	Sim	Morto	22	8	1º
2003008002	XAIM DA ÁGUA DA PEDRA	2008	12,55	0,7	Sim	Vivo	19	5	2º

Nasc. = nascimento; TP = teste de progênie.

Tabela 4. PTA genômica de reprodutores para produção total de leite em até 305 dias de lactação (PTAg superior à média da característica mais um desvio padrão e confiabilidade igual ou maior que 70%).

Registro do animal	Código teste de progênie	Nome	Ano de nascimento	PTAg PL305	Confiabilidade	Grupo teste de progênie	Nº de filhos no pedigree
2615404080	200510001	BIG BODE DA SERRA DE ANDRADAS	2004	126,8459	0,80	1º	22
1421306840	200910003	BARÃO SANRI	2006	124,2733	0,86	2º	41
1421311169		GAVIÃO SANRI	2011	122,6907	0,78		19
1428210072		PODEROSO DA MANTIQUEIRA	2010	120,0508	0,72		14
2640708135		XAVIER DO PARAISO DA MANTIQUEIRA	2008	116,1437	0,71		16
2615407287		ELDORADO DA SERRA DE ANDRADAS	2007	114,1159	0,70		17
1421312220		GUARDIÃO SANRI	2012	110,4117	0,72		16
1400804028		REFRÃO DA BOCAINA	2004	109,8195	0,86		49
1421304652		DOMINANTE SANRI	2004	107,9938	0,79		18
1432310009	201110013	DEPUTADO DO CAPRIL RDR	2010	104,0438	0,81	3º	24
1428207094		ELEGANTE DA MANTIQUEIRA	2007	100,0992	0,76		14

Figura 1. Resultado do primeiro sumário de avaliação genética para raça Saanen (acima) e primeiro sumário de avaliação genética genômica (abaixo)

2.4 Estatística bayesiana no melhoramento animal

A estatística Bayesiana se dá a partir do teorema de Bayes, nela o conhecimento prévio se dá como uma distribuição *a priori* e combinado com os dados observados na forma de uma função de verossimilhança, de modo a determinar a distribuição *a posteriori*. A pressuposição de distribuição normal dos efeitos aleatórios genéticos e não-genéticos pode

não ser verdadeira, ou pode se tratar de uma distribuição normal contaminada (MUNIZ, 2016). Isso torna a análise muito sensível à presença de observações discrepantes. De acordo com Santos (2012), nesses casos, torna-se necessária a utilização de metodologias que levem em consideração todas as informações dos animais e o tipo de distribuição dos dados.

Apesar de não haver diagnóstico de convergência na estatística bayesiana alguns indicados alguns procedimento para analisar provável convergência das análise, dentre eles: 1) rodar uma cadeia relativamente longa, dependendo da complexidade do modelo, descarte de algumas iterações no início de uma execução do MCMC, conhecidas por *burn-in*; 2) fazer histogramas dos valores das amostras para todos os componentes de variância; 3) visualização gráfica da cadeia gerada, como método de monitoração informal (GELFAND & SMITH, 1990 NOGUEIRA et al., 2003, GEYER, 1992).

Além disso, o erro de Monte Carlo é uma informação preciosa para observar o desempenho da análise bayesiana, ele é estimado através do cálculo da variância das amostras retiradas para cada componente de (co) variância e dividindo-se essa variância pelo número de amostras (Van Tassel & Vleck 1996). De acordo com Faria et al. (2008) valores pequenos se dão quando a soma da estimativa média da distribuição posterior dos coeficientes de herdabilidade não altera o valor dessa estimativa.

No teste de Geweke, um nível de probabilidade é determinado, porém os resultados deste teste apenas indicam que não há indícios contra a convergência, já que o teste consiste na divisão da cadeia de Markov em duas cadeias e em comparar os valores das médias obtidas nas diferentes parcelas da cadeia. Caso as cadeias alcancem a estabilidade, as médias serão muito próximas. Os resultados destes testes irão depender do período de descarte (*burn-in*), que consiste no espaço para que ocorra o processo de estacionalidade da cadeia.

A inferência bayesiana pode ser utilizada para estimar efeitos de sítio genômicos e epigenômicos, componentes de (co)variância genéticos e ambientais, parâmetros de localização de incômodo, quantidades latentes como valores genéticos e ainda a serem estimados futuros fenótipos (GIANOLA et al., 2022).

As ferramentas bayesianas estão sendo cada vez mais adotadas no melhoramento animal. Segundo Peixoto (2021), elas fornecem resultados adicionais à abordagem frequentista, tal como os intervalos de densidade posterior (HPD). Podem também estimar os parâmetros genéticos e os valores genéticos com maior precisão e ser uma metodologia flexível que permite estimar com precisão componentes de variância e valores genéticos, mesmo a partir de amostras pequenas.

REFERÊNCIAS

- ADJASSIN, Josias Steve et al. Impact of heat stress on reproductive performances in dairy goats under tropical sub-humid environment. **Heliyon**, [s.l.], v. 8, n. 2, 2022.
- ALEM, W.T. Review on reproductive and productive performance of dairy cow in Ethiopia. **Int. J. Ecotoxicol. Ecobiol**, New York, v. 6, p. 14 - 28, 2021.
- ALEMAYEHU, Gezahegn et al. Towards objective measurement of reproductive performance of traditionally managed goat flocks in the drylands of Ethiopia. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, Wellington, n. 1, p. 156 - 170, 2021.
- ARNAL, Mathieu; ROBERT-GRANIÉ, C.; LARROQUE, Helene. Diversity of dairy goat lactation curves in France. **Journal of Dairy Science**, Michigan City, v. 101, n. 12, p. 11040-11051, 2018.
- ASSAN, N. Strategies to improve the reproductive efficiency of goats in Brazil. **Small Ruminant Research**, Little Rock, v. 98, n. 1-3, p. 176-184, 2011.
- CHARRAY, J. **Manual of sheep production in the humid tropics of Africa**. CAB International, 1992.
- CHENTOUF, M.; BISTER, J. L.; BOULANOUAR, B. Reproduction characteristics of North Moroccan indigenous goats. **Small Ruminant Research**, Litter Rock, v. 98, n. 1-3, p. 185-188, 2011.
- DOS SANTOS, Leonardo Hinaldo et al. Breeding programs for dairy goats generate profits in Brazil. **Livestock Science**, Wellington, v. 178, p. 27-34, 2015.
- FACÓ, Olivardo et al. **Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros-Capragene®; sumário de avaliação genética-Ano 2014-raça Saanen**. 2014.
- FACÓ, Olivardo et al. **Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros - Capragene, 3º Sumário de Avaliação Genética, 2º Sumário de Avaliação Genética Genômica, Ano 2020 - Raça Saanen**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2020. 52 p.
- FACÓ, Olivardo et al. **Programa de melhoramento genético de caprinos leiteiros Capragene: 1º sumário de avaliação genética da raça Alpina. Ano 2021- Raça Alpina**. Brasília: Embrapa, 2021.
- FARIA, Carina Ubirajara de et al. Análise genética de escores de avaliação visual de bovinos com modelos bayesianos de limiar e linear. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 835-841, 2008.
- GIANOLA, Daniel; FERNANDO, Rohan L.; SCHÖN, Chris C. Inference about quantitative traits under selection: a Bayesian revisit for the post-genomic era. **Genetics Selection Evolution**, Les Ulis, v. 54, n. 1, p. 1-24, 2022
- GELFAND, Alan E.; SMITH, Adrian FM. Sampling-based approaches to calculating marginal densities. **Journal of the American statistical association**, Boston, v. 85, n. 410, p. 398-409, 1990.

GEYER, C.J. Practical Markov chain Monte Carlo (with discussion). **Statistical Science**, [s.l.], v. 7, p. 473-511, 1992.

HALDAR, A.; PAL, P.; DATTA, M.; PAUL, R. S.; PAL, K.; MAJUMDAR, D.; CHANCHAL, K. B.; PAN, S. Prolificacy and its relationship with age, body weight, parity, previous litter size and body linear type traits in meat-type goats. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, Gwanak-gu, v. 27, n. 5, p. 628, 2014.

IDELE. Milk recording results of cattle, goats and sheep - France 2020. Institut de l'Élevage, France. 2021. Disponível em < <https://idele.fr/detail-article/milk-recording-results-of-cattle-goats-and-sheep-france-2020#docsAssociés-ancre> >. Acesso em 28 de Junho de 2023.

INCE, D. Reproduction performance of Saanen goats raised under extensive conditions. **African Journal of Biotechnology**, Abuja, v. 9, n. 48, p. 8253-8256, 2010.

JANSSON, T. **Genes involved in ovulation rate and litter size in sheep**. 2014. 19 f. Tese (Agriculture programme – Animal Science) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2014.

KLUSKA, Sabrina et al. Estimates of genetic parameters for growth, reproductive, and carcass traits in Nelore cattle using the single step genomic BLUP procedure. **Livestock Science**, Wellington v. 216, p. 203-209, 2018.

LÔBO, RN Braga et al. Brazilian goat breeding programs. **Small Ruminant Research**, Litter Rock, v. 89, p. 149 – 154, 2010.

LÔBO, Ana Maria Bezerra Oliveira et al. Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros Capragene®, 1º sumário de avaliação genética genômica, 2º sumário de avaliação genética, raça Saanen-Ano 2017. 2017.

MELLADO, Miguel. Goat Husbandry: Reproductive Management. In: Grandin Reference Module in Food Science, n. 1, 2016, Saltillo. Resumo (5th Edition), Elsevier Inc. p. 1-8.
MENEZES, L. M. et al. Genetic parameters for reproduction and growth traits in Boer goats in Brazil. **Small Rumin. Res.**, Litter Rock, v. 136, p. 247-256, 2016.

MULC, Danijel et al. Effect of goats age at first kidding on production of milk in the first lactation at Alpina breed. **Dubrovnik**, [s.l.], v. 16, p. 21, 2014.

MUNIZ, L. M. S. **Associação genética entre a mudança de peso vivo e características relacionadas à fertilidade e à habilidade materna de ovelhas Santa Inês**. 2016. 96 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

NOGUEIRA, Denismar Alves et al. Análises clássica e Bayesiana de um modelo misto aplicado ao melhoramento animal: uma ilustração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 1614-1624, 2003.

NOTTER, D. R. Genetic Aspects of Reproduction in Sheep. **Reproduction of Domestic Animals**, Londres, v. 43, p. 122–128, 2008.

NUNES, J. F.; SALGUEIRO, C. C. M. Strategies to improve the reproductive efficiency of goats in Brazil. **Small Ruminant Research**, Litter Rock, v. 98, p. 176-184, 2011.

RAMOS, Pedro Vital Brasil et al. Genomic evaluation for novel stayability traits in Nellore cattle. **Reproduction in Domestic Animals**, Londres, v. 55, n. 3, p. 266-273, 2020.

PEIXOTO, Marco Antônio et al. Multiple-trait model through Bayesian inference applied to *Jatropha curcas* breeding for bioenergy. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 16, n. 3, 2021.

SANTOS, NP da S. et al. Aplicação do modelo de limiar utilizando a Inferência Bayesiana no melhoramento animal. **PUBVET**, Londrina, V. 6, N. 27, 2012.

SINGH, M. K. et al. Genetic and non-genetic factors affecting first parity growth, reproductive and lactation traits in Barbari goats under semi-intensive management in semi-arid region of India. **Indian Journal of Animal Sciences**, Bangladesh, v. 91 n. 2, p.128–136, 2021.

SNYMAN, M.A. Mohair production and reproduction of angora and Angora×Boer goat genotypes in a sub-optimum environment. **Small Rumin. Res.**, Litter Rock, v. 53, p. 75-87, 2004.

VAN TASSELL, C. P.; VAN VLECK, L. Dale. Multiple-Trait Gibbs Sampler for Animal Models: Flexible Programs for Bayesian and Likelihood-Based (co) variance Component Inference. **Journal Animal Science**, Illinois, v.74, n. 11, p. 2586–2597, 1996.

XU, Song-Song et al. Genome-wide association analyses highlight the potential for different genetic mechanisms for litter size among sheep breeds. **Frontier Genetics**, Washington, v. 9, p. 118-129, 2018.

WOLBER, Marie-Rosa; HAMANN, Henning; HEROLD, Pera. Genetic analysis of lifetime productivity traits in goats. **Archives Animal Breeding**, Dummerstorf, n. 2, p. 293-304, 2021.

ZAMUNER, F.; LEURY, B. J.; DIGIACOMO, K. Review: Feeding strategies for rearing replacement dairy goats – from birth to kidding. **Small Ruminant Research**, Litter Rock. v. 170, n. 1, 2023.

ZIADI, Chiraz et al. Selection Criteria for Improving Fertility in Spanish Goat Breeds: Estimation of Genetic Parameters and Designing Selection Indices for Optimal Genetic Responses. **Animals**, Tartu, v. 11, p .409 – 419, 2021.

3 CAPÍTULO II: COMPARAÇÃO DE MODELOS MISTOS GENERALIZADOS BAYESIANOS PARA AVALIAÇÃO GENÉTICA DA IDADE AO PRIMEIRO PARTO E NÚMERO TOTAL DE CRIAS EM CABRAS DA RAÇA SAANEN CRIADAS NO BRASIL

Resumo: Bom desempenho reprodutivo é importante para sucesso econômico da produção de pequenos ruminantes. Em caprinos leiteiros o aumento do número de animais nascidos no rebenho é importante para realização do teste de progene, além disso menores idade ao primeiro parto permite a redução do intervalo de geração. Neste sentido, buscou-se desenvolver o estudo de uma nova característica fenotípica que estivesse relacionada com sucesso reprodutivo em cabras da raça Saanen criadas no Brasil. O critério estudado foi o número total de crias por matriz durante toda a vida reprodutiva (NTC), associando-o com a idade ao primeiro parto (IPP). Para isso, utilizou-se dados provenientes dos rebanhos de caprinos leiteiros participantes do Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros (Capragene®), coordenado pela Embrapa Caprinos e Ovinos, e participação das Associação dos Criadores de Caprinos e Ovinos de Minas Gerais (Caprileite/ACCOMIG) e Associação Brasileira dos Criadores de Caprinos (ABCC). Para a avaliação conjunta das características NTC e IPP, foram utilizados modelos mistos generalizados multicaracterística via Inferência Bayesiana. Três modelos foram comparados de acordo com a distribuição assumida para NTC x IPP: normal x normal, poisson x normal e ordinal x normal. Os animais apresentaram NTC de 2,03 e IPP de 2,93 anos. As herdabilidades para ambas características foram de baixa a média magnitude, variando entre 0,03 e 0,17 para NTC, e 0,03 para IPP. Os parâmetros para todos modelos indicaram convergência. Os modelos que assumiram distribuição não-normal para NTC aumentaram a herdabilidade capturada para esta característica.

Palavra-chave: Caprinos, Características Reprodutivas, Inferência Bayesiana, Parâmetros Genéticos.

Abstract: Good reproductive performance is important for the economic success of small ruminant production. In dairy goats, the increase in the number of animals born in the herd is important for carrying out the progene test, in addition, a lower age at first kidding allows for a reduction in the generation interval. In this sense, we sought to develop the study of a new phenotypic trait that was related to reproductive success in Saanen goats raised in Brazil. The criterion studied was the total number of offspring per doe during the entire reproductive life (NTC), associating it with age at first kidding (IPP). For this, we used data from dairy goat herds participating in the Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros (Capragene®) (Capragene®), coordinated by Embrapa Caprinos e Ovinos, and participation of the Association of Goat and Sheep Breeders of Minas Gerais (Caprileite/ ACCOMIG) and the Brazilian Association of Goat Breeders (ABCC). For the joint evaluation of NTC and IPP traits, multitrait generalized mixed models via Bayesian Inference were used. Three models were compared according to the assumed distribution for NTC x IPP: normal x normal, poisson x normal and ordinal x normal. The animals had NTC of 2.03 and IPP of 2.93 years. The heritabilities for both traits were of low to medium magnitude, ranging between 0.03 and 0.17 for NTC, and 0.03 for IPP. Parameters for all models indicated convergence. The models that assumed a non-normal distribution for NTC increased the captured heritability for this trait.

Keywords: Bayesian Inference, Goats, Genetic Parameters, Reproductive Traits.

3.1. Introdução

Grande parte das características reprodutivas possuem baixa herdabilidade, apesar disso, elas precisam ser incluídas em programas de melhoramento, porque têm grande importância econômica. De acordo com Atoui et al. (2018), as características reprodutivas refletem diferentes estados fisiológicos, tais como puberdade, regularidade do ciclo estral, ovulação, fertilização e habilidade materna.

Em rebanhos leiteiros, o aumento de animais nascidos e disponíveis para entrar no plantel ou para venda é fundamental para o sucesso econômico da produção, além disso, o aumento de animais nascidos em rebanhos leiteiros, aumenta a quantidade de crias nascidas, que podem aumentar a quantidade de fêmeas nascidas por reprodutor, possibilitando a avaliação genética dos animais através de teste de progênie.

De acordo com Assan (2020) as características reprodutivas contribuem para a produtividade do rebanho, atuando como um determinante importante na lucratividade. Avaliar e disponibilizar uma característica que estivesse relacionada com diferentes etapas da vida reprodutiva do animal seria importante para ser usado como critério de seleção. Uma alternativa poderia ser o número total de crias durante a vida produtiva da matriz (NTC), por ser uma característica complexa possivelmente associada com precocidade, prolificidade e longevidade.

A hipótese seria que a seleção para NTC poderia aumentar a eficiência reprodutiva dos rebanhos. Entretanto, seu uso em um programa de melhoramento genético depende de informações como o conhecimento dos seus parâmetros genéticos. Desta forma, a realização de estudos genéticos para NTC pode fomentar estratégias de seleção que promovam ganhos para características reprodutivas em caprinos da raça Saanen.

O NTC pode ser influenciado por diversos fatores, dentre eles a idade ao primeiro parto (IPP), pois animais sem problemas reprodutivos tendem a ter baixos IPP, promovendo a introdução dos animais mais cedo na atividade reprodutiva. Além disso, o NTC reflete uma contagem em um período finito de tempo, e portanto, pode não apresentar distribuição normal.

O uso de Inferência Bayesiana é uma alternativa para viabilizar estudos genéticos em características com distribuição não-normal. De acordo com Harms (2018), o MCMC recupera toda a distribuição posterior dos parâmetros do modelo fornecidos nos dados, fornecendo informações adicionais, como incerteza e correlações dos parâmetros. Outro método de destaque é a amostragem de Gibbs, que é um procedimento de integração estocástica usado para estimar distribuições conjuntas e marginais de todos os parâmetros em um modelo, a partir de suas distribuições posteriores condicionais completas (VAN TASSEL e VAN VLECK, 1996).

O objetivo desse estudo foi avaliar geneticamente o NTC em caprinos leiteiros, e sua associação genética com a IPP, por meio de inferência bayesiana, considerando modelos mistos generalizados, assumindo-se diferentes distribuições amostrais para NTC.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Dados fenotípicos e de pedigree

Os dados são provenientes de rebanhos de caprinos leiteiros participantes do Programa de Melhoramento Genético de Caprinos Leiteiros (Capragene®), coordenado pela Embrapa Caprinos e Ovinos, com a participação das Associação dos Criadores de Caprinos e Ovinos de Minas Gerais (Caprileite/ACCOMIG) e Associação Brasileira dos Criadores de Caprinos (ABCC). Nos rebanhos localizados nos estados de Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, adota-se o sistema intensivo de criação ou regime semi-intensivo. No rebanho da região Nordeste, no Estado do Ceará, os animais são criados sob sistema extensivo durante o período das águas e em regime semi-intensivo no período seco, sendo alimentos com concentrados e pastagens nativas da caatinga.

Para este estudo, as seguintes características foram analisadas: idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias durante a vida da cabra (NTC). A IPP foi definida como sendo a diferença em anos entre o nascimento das marrãs até o primeiro parto. Informações de IPP abaixo de 0,8 anos e acima de 6,0 anos foram excluídas da base de dados. Além disso, animais com 3,5 desvios padrão acima ou abaixo da média do grupo de contemporâneos também foram excluídos. Para o cálculo de NTC, considerou-se o total de animais nascidos por matriz durante a permanência desta no rebanho. Informações de animais que tiveram último parto até um ano antes da data de parto mais recente na base de dados foram tratadas como dados censurados, sendo a informação para NTC tratada como ausente para tais animais, além disso, animais que pariram apenas uma vez não foram incluídos no NTC.

Para ambas características foram considerados como grupo de contemporâneos (GC), animais nascidos no mesmo rebanho, estação e ano de nascimento. Após o controle de qualidade dos dados, o número total de animais com informações para IPP e NTC foi de 4.574 e 4.408, respectivamente. O arquivo de pedigree foi limitado para conter animais até cinco gerações de ancestrais, totalizando 5.829 informações. A Tabela 3 resume o número total de indivíduos analisados e fornece estatísticas descritivas para as características avaliadas.

Tabela 2. Número de observações (N), média e desvio padrão (DP), valores mínimos (Min) e máximos (Max), e coeficiente de variação (CV) para idade ao primeiro parto (IPP) em anos e número total de crias (NTC), em caprinos da raça Saanen criados no Brasil.

Característica	N	Média ± DP	Min	Max	CV (%)
IPP	4.574	2,03 ± 1,07	0,80	6,00	52,62
NTC	4.408	2,93 ± 2,31	0	15	79,19

3.2.2 Análise estatística

Análises bicaracterísticas foram realizadas, assumindo-se três possíveis combinações de distribuições para as características IPP e NTC, respectivamente: Normal x Normal (NN), Normal x Poisson (NP) e Normal x Ordinal (NO). O modelo geral pode ser descrito em notação matricial como segue:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{l} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{X}_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\beta}_y \\ \boldsymbol{\beta}_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{W}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{W}_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{c}_y \\ \mathbf{c}_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Z}_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a}_y \\ \mathbf{a}_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{e}_y \\ \mathbf{e}_l \end{bmatrix}$$

em que \mathbf{y} é o vetor de observações para IPP; \mathbf{l} é o vetor de observações latentes para NTC na escala subjacente; $\boldsymbol{\beta}$ é o vetor contendo as soluções para a média geral; \mathbf{c} é o vetor de efeitos de grupos de contemporâneo; \mathbf{a} é o vetor de efeitos genéticos aditivos; \mathbf{e} é o vetor de efeitos residuais do modelo; \mathbf{X} , \mathbf{W} , e \mathbf{Z} são matrizes de incidência relacionadas aos efeitos $\boldsymbol{\beta}$, \mathbf{c} e \mathbf{a} , respectivamente.

Para o modelo NN, ambas características foram tratadas na escala observável e, portanto, \mathbf{l} não assumiu nenhuma função de ligação, isto é, $y_{iNTC} = l_i$, em que y_{iNTC} é a observação de NTC para o animal i . No modelo NP, a variável \mathbf{l} foi introduzida pelo parâmetro canônico λ , que representa o número médio de ocorrências na distribuição Poisson; a conexão entre a escala observável e latente para NTC foi realizada pela função de ligação na escala logarítmica, isto é, $y_{iNTC} \sim Poi(\lambda = \exp(l_i))$, em que \exp é a função de ligação inversa. Para o modelo NO, assumiu-se uma função de ligação probit para conectar a escala observável e subjacente, dessa forma, $p(y_{iNTC} = k) = \Phi(\gamma_k | l) - \Phi(\gamma_{k-1} | l)$, em que k representa a categoria de interesse, $\Phi()$ é a distribuição normal padrão cumulativa e γ_k são os limiares que definem os limites para a categoria observada na escala subjacente.

Independentemente do modelo utilizado, assumiu-se as seguintes distribuições *a priori* para os parâmetros desconhecidos: $\boldsymbol{\beta} \sim MVN(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Sigma}_\beta)$, em que $\boldsymbol{\Sigma}_\beta$ é uma matriz diagonal conhecida com valores grandes ($1 \times 10^E+10$) assumidos para as variâncias, de modo

a se representar conhecimento vago *a priori*; $\mathbf{c}|\Sigma_c \sim MVN(\mathbf{0}, \Sigma_c \otimes \mathbf{I}_c)$, em que Σ_c é uma matriz de (co)variância para os efeitos de grupo de contemporâneos, \otimes representa o produto Kronecker entre matrizes, \mathbf{I}_c é uma matriz identidade de dimensão p (número de GC); $\mathbf{a}|\Sigma_a, \mathbf{A} \sim MVN(\mathbf{0}, \Sigma_a \otimes \mathbf{A})$, em que Σ_a é a matriz de (co)variância genética de dimensão 2×2 e \mathbf{A} é a matriz de relacionamento aditivo, baseada na informação do pedigree; $\mathbf{e}|\Sigma_e \sim MVN(\mathbf{0}, \Sigma_e \otimes \mathbf{I}_n)$, em que Σ_e é a matriz de (co)variância residual e \mathbf{I}_n é uma matriz identidade de dimensão $n \times n$. Além disso, uma distribuição Wishart Invertida foi assumida *a priori* para Σ_a e Σ_e .

As análises foram realizadas utilizando-se o pacote *MCMCglmm* (Hadfield & Nakagawa, 2010), disponível em R (R Core Team, 2021). O vetor de variáveis latente (\mathbf{l}) e os limiares (γ_k) não possuem distribuição condicional conhecida, e portanto, o algoritmo Metropolis-Hastings foi utilizado para amostrar sua distribuição *a posteriori*. Para os demais parâmetros desconhecidos (β , \mathbf{c} , \mathbf{a} , Σ_a e Σ_e), o algoritmo Gibbs sampling foi utilizado, dado que estes possuem forma conhecida para sua distribuição condicional. Foram consideradas 200.000 iterações, com burn-in das 100.000 primeiras iterações e período de amostragem igual a 100, gerando um total de 1.000 amostras para inferência. A convergência das cadeias foi avaliada por avaliação visual dos gráficos de traços e coeficientes de autocorrelação, bem como computação do tamanho efetivo das cadeias e pelo critério de Geweke (Geweke, 1992).

A distribuição marginal *a posteriori* para a herdabilidade das características e correlações genéticas, ambientais e de GC, foram obtidas a partir das amostras de MCMC geradas para os componentes de (co)variância (após considerar o período de burn-in e amostragem) como segue:

$$h_{IPP}^{2(j)} = \sigma_{a11}^{2(j)} / (\sigma_{a11}^{2(j)} + \sigma_{c11}^{2(j)} + \sigma_{e11}^{2(j)}),$$

$$h_{NTC}^{2(j)} = \sigma_{a22}^{2(j)} / (\sigma_{a22}^{2(j)} + \sigma_{c22}^{2(j)} + \sigma_{e22}^{2(j)}),$$

$$r_{a_{IPP \times NTC}}^{(j)} = \sigma_{a12}^{(j)} / \left(\sqrt{\sigma_{a11}^{2(j)}} \sqrt{\sigma_{a22}^{2(j)}} \right),$$

$$r_{GC_{IPP \times NTC}}^{(j)} = \sigma_{c12}^{(j)} / \left(\sqrt{\sigma_{c11}^{2(j)}} \sqrt{\sigma_{c22}^{2(j)}} \right) e$$

$$r_{e_{IPP \times NTC}}^{(j)} = \sigma_{e12}^{(j)} / \left(\sqrt{\sigma_{e11}^{2(j)}} \sqrt{\sigma_{e22}^{2(j)}} \right),$$

Em que j representa cada iteração do algoritmo MCMC; $h_{IPP}^{2(j)}$ e $h_{NTC}^{2(j)}$ são as herdabilidades estimadas para IPP e NTC, respectivamente; $\sigma_{a11}^{2(j)}$, $\sigma_{c11}^{2(j)}$, e $\sigma_{e11}^{2(j)}$ são os componentes de variância aditiva, de GC e residual para IPP e $\sigma_{a22}^{2(j)}$, $\sigma_{c22}^{2(j)}$, e $\sigma_{e22}^{2(j)}$ representam os mesmos componentes para NTC; $r_{a_{IPP \times NTC}}^{(j)}$, $r_{GC_{IPP \times NTC}}^{(j)}$, e $r_{e_{IPP \times NTC}}^{(j)}$ representam as correlações genéticas, de GC e residual entre IPP e NTC; $\sigma_{a12}^{(j)}$, $\sigma_{c12}^{(j)}$, e $\sigma_{e12}^{(j)}$ representam as covariâncias aditivas, de GC, e residual estimadas entre IPP e NTC.

3.2.3 Comparação do ajuste dos modelos

Os modelos NN, NP, e NO foram comparados por meio de $\hat{\theta}$ que avaliam a qualidade de ajuste ou habilidade de predição desempenhados. O Critério de Informação do Desvio (DIC, do inglês, Deviance Information Criterion), conforme desenvolvido por Spiegelhalter et al. (2002): $DIC = -2 \log p(y|\hat{\theta}) + 2p_D$, em que $\log p(y|\hat{\theta})$ corresponde a função de log-verossimilhança avaliada para as médias *a posteriori* dos parâmetros desconhecidos e $2p_D$ corresponde ao número efetivo de parâmetros no modelo. Valores menores para DIC indicam melhor qualidade de ajuste.

A qualidade de ajuste dos modelos também foi avaliada pela correlação entre valores observados e ajustados e pelo quadrado médio do erro (MSE, do inglês *mean-square-error*). O primeiro dos dois critérios mencionados foi computado como $r(y, \hat{y})$, em que r representa o coeficiente de correlação de Pearson, y são os valores observados para a característica de interesse e \hat{y} são os valores ajustados na escala original da característica, condicionados pela média *a posteriori* dos parâmetros de interesse. Por sua vez, $MSE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, em que n corresponde ao número de observações e i corresponde ao *iésimo* indivíduo.

3.2.4 Critérios de habilidade de predição

A habilidade de predição dos modelos foi avaliada por meio de validação cruzada em cinco “folds”, isto é, o conjunto de dados foi dividido aleatoriamente em cinco subconjuntos, em que quatro desses foram usados para ajuste dos modelos, e os valores do conjunto remanescente foram preditos. Assim, as predições foram realizadas cinco vezes, de

modo que os valores de cada subconjunto fossem preditos com base no modelo ajustado para os demais quatro subconjuntos restantes. As estatísticas avaliadas na validação cruzada foram $r(y, \hat{y})_{vc}$ e MSE_{vc} , computadas de forma análoga ao apresentado anteriormente.

A associação geral entre os valores genéticos preditos pelos diferentes modelos foi avaliada pela correlação de Pearson entre os valores obtidos para as cabras e reprodutores. Além disso, a concordância de ordenamento dos animais entre os modelos foi avaliada através da porcentagem de animais selecionados em comum, com base nos valores genéticos preditos por cada modelo e diferentes intensidades de seleção (1%, 5% e 10%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A IPP (Tabela 3) foi pouco superior a dois anos. Esse valor pode estar associado a problemas reprodutivos como baixa concepção, abortos, além disso pode ser influenciado por problemas no registro zootécnico dos animais. Valores próximo a dois anos (1,9) foram obtidos por Soares Filho et al. (2001) para IPP em caprinos da raça Saanem criados no Brasil. Entretanto, em caprinos da raça Saanem em sistema intensivo no México a IPP obtida por Torres-Vázquez et al. (2009) foi de 1,41, valores similares de 1,3 a 1,6 ano foram obtidos por Ziadi et al. (2021), em caprinos americanos e Simela e Merkel (2008) reportaram 1,5 ano para idade ao primeiro parto em caprinos criados em região semiáridas. O alto valor observado para o coeficiente de variação indica que a característica foi expressa com grandes variações, o que pode ser justificado pelos diferentes sistemas de criação adotados, que podem levar os animais a diferentes condições de clima e instalações.

O NTC inferior a três pode estar associado a problemas reprodutivos, baixa permanência dos animais nos rebanhos, ou manejo sanitário e reprodutivos limitados. Houve animais que não registraram partos, todavia, existem animais que registraram até 15 crias, valor que pode ser influenciado pela prolificidade, uma vez que caprinos são animais prolíficos (LIANOU et al., 2022), além da longa permanência em produção no rebanho. O coeficiente de variação para IPP foi alto (Tabela 3) no qual pode ser justificado por diferenças em prolificidade e pela permanência dos animais no rebanho, além de ser uma característica de contagem.

A inclusão do NTC como parâmetro reprodutivo pode levar a ganhos no desempenho reprodutivo de forma geral, uma vez que para expressão de altos valores para NTC, outras características reprodutivas, como fertilidade, prolificidade, idade ao primeiro parto, taxa de concepção dentre outras devem estar associada com tais características.

De acordo com a Figura 1, o NTC se concentrou entre um e dois animais por matriz, isso pode estar relacionado, dentre outros fatores ao descartede matrizes por problemas reprodutivos, nas quais precisam sair do rebanho tendo as anotações interrompidas, já IPP se concentrou entre um a dois anos. Dentre outras características a NTC pode ser influenciada pela prolificidade, a qual, segundo Sarmiento et al. (2010), pode ser influenciada por fatores como mês de cobertura, ordem de parto, peso na cobertura, idade ao primeiro parto e intervalo de parto.

Para todos os modelos, existem evidências de que as cadeias de Markov convergiram (Tabela 4), os parâmetros usados para avaliação foram lag10 (autocorrelação), tamanho efetivo da cadeia e teste de Geweke.

A herdabilidade para NTC variou entre 0,03 (modelo NN) e 0,17 (modelo NP) (Tabela 4). Assumir distribuição Poisson para NTC pode prever melhor os valores de herdabilidade, uma vez que o NTC consiste numa característica de contagem, e esse tipo de distribuição representa os dados com maior fidelidade. Todavia, a herdabilidade modelo NN foi considerada baixa, assim como para os modelos NP e NO. De acordo com Lima et al. (2020), características com baixa herdabilidade apresentam lenta resposta à seleção, o que requer tempo mais longo para promover ganhos através da seleção.

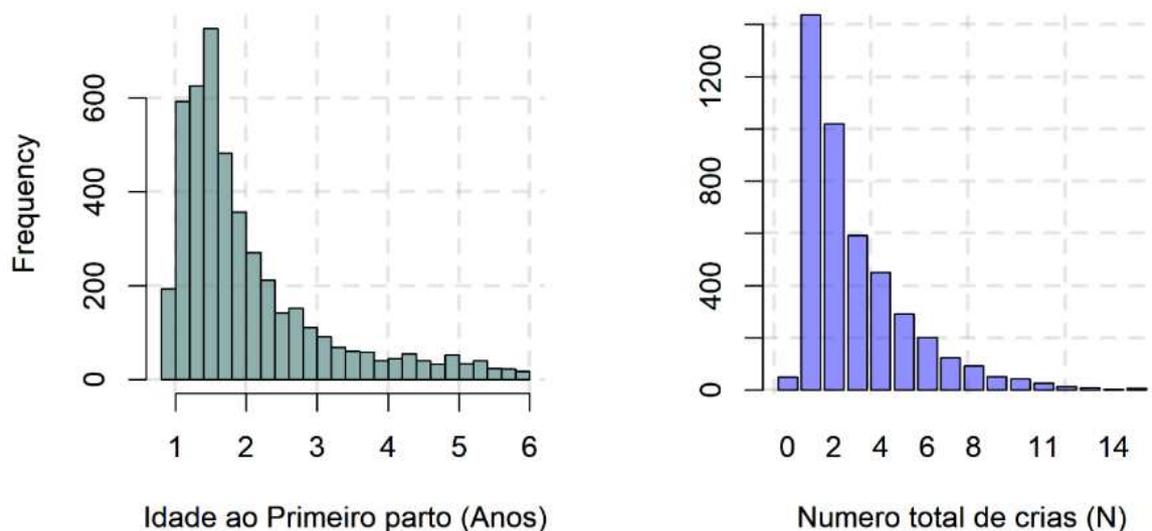


Figura 1. Histograma (esquerda) e gráfico de barras (direita) para idade ao primeiro parto e número total de crias em caprinos da raça Saanen criados no Brasil.

A distribuição *a posteriori* para a herdabilidade da IPP, obtida através da distribuição Gaussiana, mostrou-se concentrada entorno das medidas de tendência central. A análise gráfica da cadeia de Markov indicou pouca dispersão, o que indica estabilidade das cadeias (Figura 3). Por outro lado, para NTC, observou-se uma assimetria a esquerda para a distribuição a posteriori da herdabilidade, o que pode estar relacionado ao fato da característica ser de contagem. Para a mesma característica, as cadeias de Markov apresentaram dispersão.

No modelo NP, em que se ajustou uma distribuição Gaussiana para IPP e distribuição Poisson para NTC, a frequência da distribuição da herdabilidade tanto para IPP quanto para NTC apresentaram tendência de distribuição similares. (Figura 4). Já para análise gráfica das cadeias de Markov, os valores de herdabilidade para IPP foi pouco dispersa, enquanto para NTC apresentou uma dispersão maior.

Tabela 3. Média (\pm desvio-padrão), mediana, intervalo de maior densidade a 95% (HDP95%) e critérios de convergência para distribuições marginais a posteriori de parâmetros genéticos estimados para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen de acordo com diferentes modelos mistos generalizado bayesiano.

Modelo	Parâmetros	Média \pm DP	Mediana	HDP _{95%}	r-lag10	Tamanho Efetivo	Geweke <i>p-value</i>
NN	h_{IPP}^2	0,04 \pm 0,007	0,04	0,029–0,057	-0,04	623,63	0,72
	h_{NTC}^2	0,03 \pm 0,01	0,03	0,01 – 0,048	0,03	156,14	0,12
	$r_{\alpha_{IPP \times NTC}}$	-0,15 \pm 0,17	-0,15	-0,47 – 0,20	0,11	232,03	0,79
	$r_{GC_{IPP \times NTC}}$	0,04 \pm 0,08	0,04	-0,10 – 0,21	-0,08	1000	0,57
	$r_{e_{IPP \times NTC}}$	-0,08 \pm 0,02	-0,08	-0,12 – -0,03	0,05	430,05	0,24
NP	h_{IPP}^2	0,04 \pm 0,007	0,04	0,028–0,055	0,00	643,14	0,09
	h_{NTC}^2	0,17 \pm 0,03	0,17	0,11 – 0,23	0,01	509,62	0,72
	$r_{\alpha_{IPP \times NTC}}$	-0,14 \pm 0,11	-0,14	-0,35 – 0,09	0,00	447,5	0,39
	$r_{GC_{IPP \times NTC}}$	0,08 \pm 0,08	0,08	-0,06 – 0,23	0,01	1000	0,50
	$r_{e_{IPP \times NTC}}$	-0,18 \pm 0,05	-0,18	-0,28 – -0,08	0,00	650,5	0,79
NO	h_{IPP}^2	0,04 \pm 0,007	0,04	0,028–0,056	0,03	614,98	0,96
	h_{NTC}^2	0,13 \pm 0,03	0,13	0,07 – 0,20	0,12	137,52	0,08
	$r_{\alpha_{IPP \times NTC}}$	-0,14 \pm 0,15	-0,16	-0,44 – 0,14	-0,02	288,59	0,30
	$r_{GC_{IPP \times NTC}}$	0,08 \pm 0,08	0,08	-0,06 – 0,23	0,01	1000	0,30
	$r_{e_{IPP \times NTC}}$	-0,17 \pm 0,06	-0,17	-0,30– -0,05	0,08	226,6	0,47

NN: Modelo bicaracterística com distribuição Normal para ambas as características; NP: Modelo assumindo distribuição normal para IPP e Poisson para NTC; NO: modelo assumindo distribuição normal para IPP e ordinal (probit) para NTC; h_{IPP}^2 e h_{NTC}^2 : herdabilidades estimadas para IPP e NTC, respectivamente; $ra_{IPP \times NTC}$: correlação genética entre IPP e NTC; $rGC_{IPP \times NTC}$: correlação de grupos de contemporâneo entre IPP e NTC; $re_{IPP \times NTC}$: correlação residual entre IPP e NTC; r-lag10: função de autocorrelação com lag = 10.

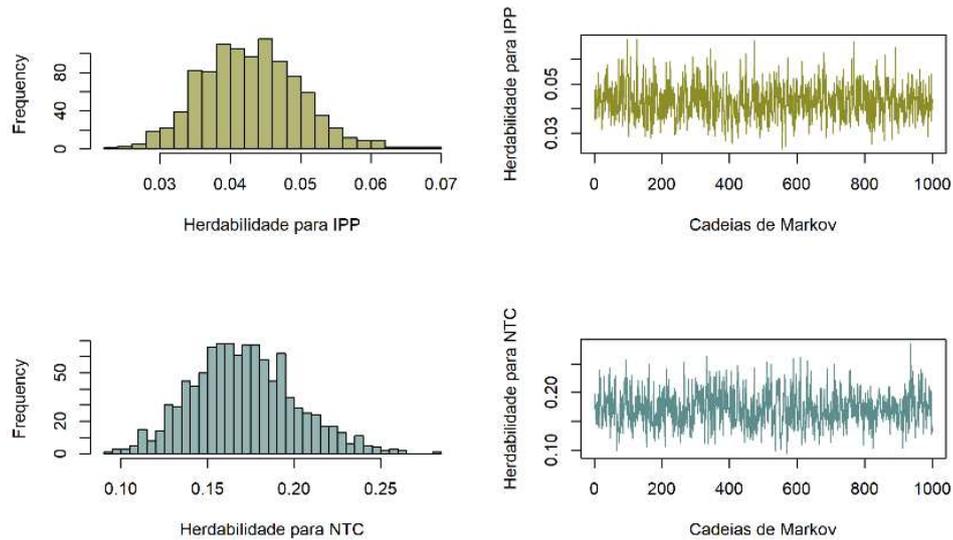


Figura 2. Distribuições posteriores de herdabilidade para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen, considerando um modelo Bayesiano misto ajustado com distribuições Gaussiana para IPP e Poisson para NTC.

As distribuições *a posteriori* das estimativas de herdabilidade obtidas pelo modelo NO para NTC e IPP apresentaram distribuições similares (Figura 5). Já a análise gráfica das cadeias de Markov indica que o NTC apresentou dispersão maior que IPP.

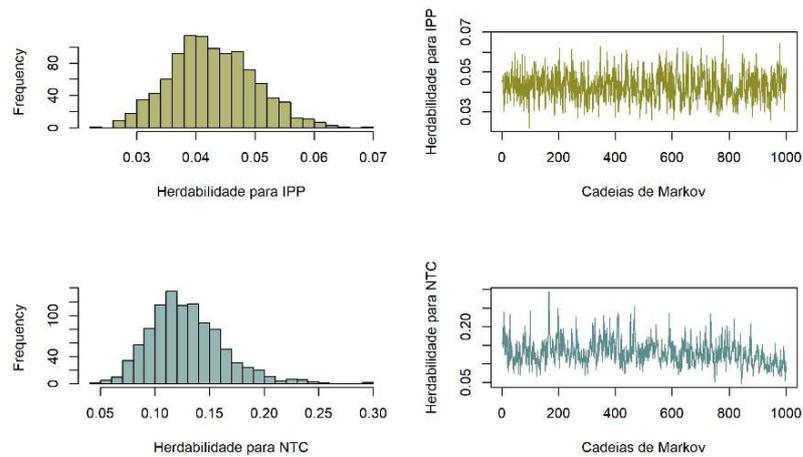


Figura 3. Distribuições posteriores de herdabilidade para idade ao primeiro parto (IPP) e número total de crias (NTC) em caprinos leiteiros da raça Saanen, considerando um modelo Bayesiano misto ajustado com distribuições Gaussianas e Ordinais, respectivamente.

Os modelos apresentaram diferentes critérios de desvio de informação – DIC (Tabela 5), em que os modelos não lineares para NTC apresentam valores inferiores ao modelo lineares NN, o que pode indicar que estes modelos são melhores para as características em estudo. Sob o modelo NO, o DIC obtido foi de 22.911, o menor de todos, seguido pelo modelo NP, no qual foi de 24.421. Por outro lado, o DIC mais alto (26.631) foi obtido pelo modelo NN. Diferente do observado aqui, Ventura (2015) estudando o número de leitões nascidos vivos, observou menor valor de DIC para os modelos normal em comparação ao modelo de Poisson.

Tabela 4. Critérios de desvio de informação (DIC) e diferença entre modelos mistos generalizados multicaracterística, usados para ajustar a idade ao primeiro parto sob uma distribuição normal e considerando distribuição Normal, Poisson ou Ordinal para número total de crias, em cabras Saanen.

MODELO	DIC	DIFERENÇA	
NN	26631	NN – NP	2210
NP	24421	NN – NO	3720
NO	22911	NP – NO	1510

De acordo com Spiegelhalter et al. (2002), modelos com diferenças acima de sete não podem ser considerados como iguais. Dessa forma, o valor de DIC sugere que há

superioridade do modelo NO sob os demais modelos. O DIC é uma combinação de uma medida de adequação com uma de complexidade, nas quais são baseadas pelos seus respectivos desvios, sendo que a estimativa de plug-in do DIC é baseada na média posterior (MEYER, 2016). Geralmente ele é empregado para avaliar modelos práticos em muitas disciplinas e funciona bem para modelos de família exponencial. Além disso, o DIC sofre influência da complexidade do modelo, penalizando aqueles muito parametrizados. Portanto, esta medida é utilizada para equilibrar a precisão do modelo em relação à sua complexidade, sendo comumente considerado uma alternativa muito mais rápida (POOLEY, 2018).

De modo geral, o NTC apresentou menores coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos, que os mesmos coeficientes para IPP (Tabela 6). Para NTC a maior correlação se deu para o modelo NP (0,64). Somado a essas informações, o erro quadrático médio (MSE) obtido pelo modelo NP para a característica NTC foi o menor dentre os modelos avaliados (3,47). Por outro lado, considerando-se os resultados obtidos na validação cruzada (VC), o coeficiente de correlação para os modelos Normal-Poisson e Normal-Normal foi 0,40. Em estudo de Perez et al. (2017) com contagens para produção de embrião in vitro em bovinos Guzerá, modelos de Poisson também apresentaram menor MSE.

Já para IPP, não houve diferenças entre os valores para os coeficientes de correlação entre valores observados e preditos, e para o quadrado médio do erro, obtidos considerando-se os dados ajustados ou a validação cruzada.

Tabela 5. Medidas de qualidade de ajuste para diferentes modelos mistos generalizados bayesianos, considerando o ajuste de todas as observações disponíveis ou um esquema de validação cruzada.

Característica	Modelo	$r(y, \hat{y})$	MSE	$r(y, \hat{y})_{VC}$	MSE_{VC}
NTC	NN	0,56	3,79	0,40 (0,02)	4,48 (0,16)
	NP	0,64	3,47	0,40 (0,02)	4,54 (0,14)
	NO	0,56	4,14	0,39 (0,02)	5,49 (0,28)
IPP	NN	0,92	0,17	0,83 (0,03)	0,36 (0,03)
	NP	0,92	0,17	0,83 (0,03)	0,36 (0,03)
	NO	0,92	0,17	0,83 (0,03)	0,36 (0,03)

NTC: Número Total de Crias; IPP: Idade ao Primeiro Parto; NN: Modelo bi-característica com distribuição Normal para ambas as características; NP: Modelo assumindo distribuição normal para IPP e Poisson para NTC; NO: modelo assumindo distribuição normal para IPP e ordinal (probit) para NTC

A análise gráfica das densidades (Figura 6) para NTC e IPP indicam que não houve grandes dispersões entre os modelos. Além disso, para ambas as características,

foram obtidas altas correlações para os diferentes modelos indicando que os valores genéticos obtidos por eles estão altamente correlacionados.

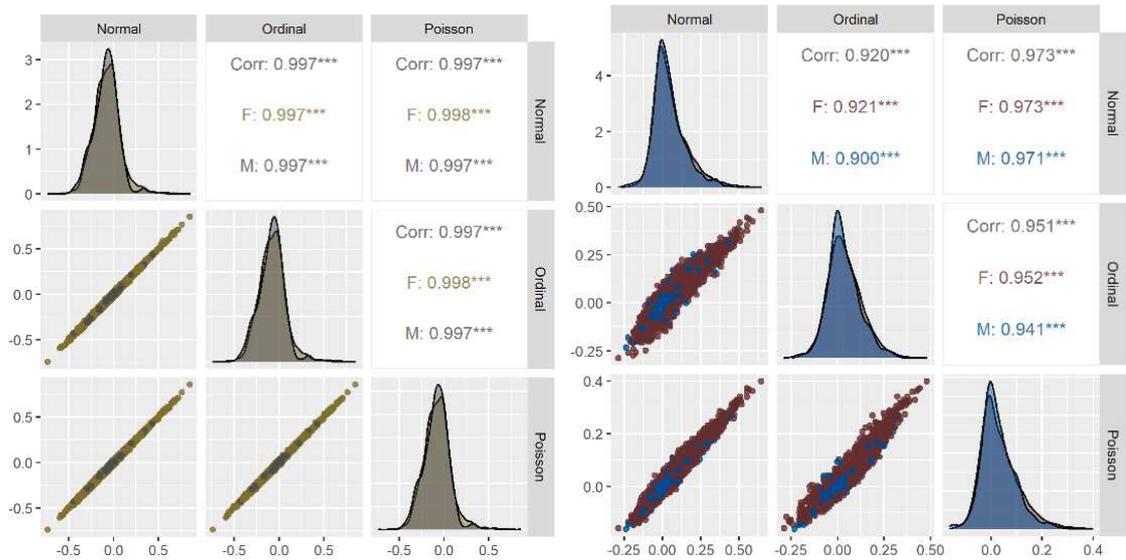


Figura 4. Densidade de valores genéticos esperados (EBVs) para número total de crias (esquerda) e idade ao primeiro parto (direita), gráficos de dispersão e correlações entre EBVs de acordo com o modelo ajustado, característica e sexo.

Para a característica NTC, 74,14%, 73,54% e 78% dos animais seriam selecionados entre os modelos NN e PN, considerando-se as intensidades de seleção de 1%, 5% e 10%, respectivamente (Tabela 7). Valores inferiores foram obtidos para a mesma característica utilizando a comparação dos modelos NN x ON e PN x ON, o que indica maior equivalência entre os modelos NN e PN para a estimação dos valores genéticos.

Já para característica IPP, os percentuais de animais em comum para todos os modelos e para todos os níveis de intensidade de seleção foram superiores aos valores da NTC (Tabela 7). Isso se deve ao fato que todos assumiram distribuição normal para esta característica e pela baixa correlação genética estimada entre IPP e NTC. Percentuais inferiores a estes foram reportados por Costa et al. (2019) para idade ao primeiro parto em novilhas da raça Nelore a partir de diferentes modelos.

Tabela 6. Porcentagem de animais em comum, de acordo com a intensidade de seleção, modelo e característica.

Característica	Comparação de modelo	Animais em comum (%) de acordo com intensidade de seleção		
		1%	5%	10%
NTC	NN x NP	74,14	73,54	78,90
	NN x NO	58,62	60,14	68,44
	NP x NO	67,24	69,07	72,33
IPP	NN x NP	96,55	92,43	95,20
	NN x NO	94,83	92,10	95,54
	NP x NO	93,10	94,85	95,02

NTC: Número Total de Crias; IPP: Idade ao Primeiro Parto; NN: Modelo bi-característica com distribuição Normal para ambas as características; NP: Modelo assumindo distribuição normal para IPP e Poisson para NTC; NO: modelo assumindo distribuição normal para IPP e ordinal (probit) para NTC

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A média observada para NTC foi baixa, enquanto aquela observada para IPP foi alta. Isso pode indicar baixa eficiência reprodutiva dos rebanhos estudados. Entretanto, a primeira característica pode ter sido afetada por interrupções no registro das observações, na qual pode ter sido afetado pelo descarte de algumas matrizes ou pela venda. Adicionalmente, a segunda também pode ter sido superestimada, por conta de perda de registro do real primeiro parto de algumas matrizes. Os altos valores de variação para as características suspeitam falhas em suas mensurações.

Ressalta-se que maior atenção deve ser dada ao registro de características relacionadas à eficiência reprodutiva, visando melhor possibilidade de uso na seleção dos animais. Embora para ambas as características a herdabilidade tenha sido baixa, há oportunidade para seleção. No geral, recomenda-se considerar a distribuição de Poisson para avaliação genética do número total de crias.

REFERÊNCIAS

- ASSAN, N. Aspects of litter size (birth type) in goats and sheep production. **Scientific Journal of Zoology**, [s.l.], v. 9, p. 138-151, 2020.
- ATOUI, Ahlem; CARABAÑO, María J.; NAJARI, Sghaier. Evaluation of a local goat population for fertility traits aiming at the improvement of its economic sustainability through genetic selection. **Spanish journal of agricultural research**, Madri, v. 16, n. 2, p. 404-412, 2018.
- COSTA, Edson V. et al. Bayesian linear-threshold censored models for genetic evaluation of age at first calving and stayability in Nellore cattle. **Livestock Science**, Wellington, v. 230, p. 103833, 2019.
- HADFIELD, J. D.; NAKAGAWA, S. General quantitative genetic methods for comparative biology: phylogenies, taxonomies and multi - trait models for continuous and categorical characters. **Journal of evolutionary biology**, Oxford v. 23, n. 3, p. 494-508, 2010.
- GEWEKE, John. **Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments**. Federal Reserve Bank of Minneapolis, 1991.
- GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In: Bernardo, J. M., Berger, J. O., Dawid, A.P., Smith, A. F.M. (Eds.), **Bayesian Statistics4**, Clarendon, Oxford, pp. 625–631, 1992.
- HARMS, Robbert L.; ROEBROECK, Alard. Robust and fast Markov chain Monte Carlo sampling of diffusion MRI microstructure models. **Frontiers in Neuroinformatics**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 97, 2018.
- LIANOU, Daphne T. et al. Patterns of reproductive management in sheep and goat farms in Greece. **Animals**, Tartu, v. 12, n. 24, p. 3455, 2022.
- MEYER, Renate. Deviance information criterion (DIC). **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**, p. 1-6, 2014.
- PEREZ, B. C. et al. Count Bayesian models for genetic analysis of in vitro embryo production traits in Guzerá cattle. **Animal**, Tartu, v. 11, n. 9, p. 1440-1448, 2017.
- POOLEY, C. M.; MARION, G. Bayesian model evidence as a practical alternative to deviance information criterion. **Royal Society open science**, Londres, v. 5, n. 3, p. 171519 - 171530, 2018.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- SARMENTO, José Lindenberg Rocha et al. Prolificidade de caprinos mestiços leiteiros no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 1471-1476, 2010.
- SIMELA, L.; MERKEL, R. The contribution of chevon from Africa to global meat production. **Meat science**, Taian, v. 80, n. 1, p. 101-109, 2008.

- SOARES FILHO, G.; PIMENTEL, C. M. M.; MARIANTE, A. S. Fatores genéticos e ambientais que influenciam algumas características de reprodução e produção de leite em cabras no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 133-140, 2001.
- SPEIGELHALTER, D J. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). **J. Royal Statis. Soc.** Londres, v. 64, n. 1, p. 583-616, 2003.
- SYED, ALI R., "A Review of Cross Validation and Adaptive Model Selection.". 2011. 36 f. Tese (Arts and Sciences) - Georgia State University, Georgia, 2011.
- TORRES-VÁZQUEZ, J. A. et al. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. **Livestock Science**, Wellington, v. 126, n. 1, p. 147-153, 2009.
- VAN TASSELL, C. P.; VAN VLECK, L. Dale. Multiple-trait Gibbs sampler for animal models: flexible programs for Bayesian and likelihood-based (co) variance component inference. **Journal of Animal Science**, Londres, v. 74, n. 11, p. 2586-2597, 1996.
- VENTURA, Henrique Torres et al. Comparing multi-trait Poisson and Gaussian Bayesian models for genetic evaluation of litter traits in pigs. **Livestock Science**, Wellington, v. 176, p. 47-53, 2015.
- ZIADI, Chiraz et al. Selection criteria for improving fertility in Spanish goat breeds: estimation of genetic parameters and designing selection indices for optimal genetic responses. **Animals**, Tartu, v. 11, n. 2, p. 409, 2021