



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**MODELOS DE REGRESSÕES NÃO LINEARES MISTOS PARA O ESTUDO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

TERESINA
2022

ANNA KAROLINE DE SOUSA SANTOS

**MODELOS DE REGRESSÕES NÃO LINEARES MISTOS PARA O ESTUDO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

Dissertação apresentada no *Campus* Universitário Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, na área de Produção Animal, linha de pesquisa de Melhoramento Genético, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos – DZO/CCA/UFPI

Coorientador: Prof. Dr. Gleyson Vieira dos Santos
- UESPI

TERESINA
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

S237n Santos, Anna Karoline de Sousa.

Modelos de regressões não lineares mistos para o estudo do crescimento de caprinos da raça anglonubiana / Anna Karoline de Sousa Santos. -- 2022.
54 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, 2023.

"Orientador: Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos."

1. Caprinocultura. 2. Curva de crescimento. 3. Modelos de regressão.
4. Modelos mistos. I. Santos, Natanel Pereira da Silva. II. Título.

CDD 636.391

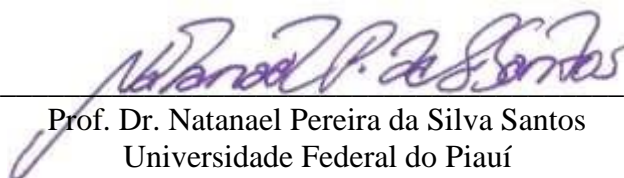
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**MODELOS DE REGRESSÕES NÃO LINEARES MISTOS PARA O ESTUDO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

Autora: Anna Karoline de Sousa Santos

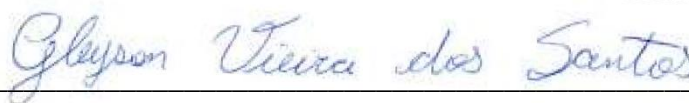
Orientador: Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos

Aprovada em: 25 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos
Universidade Federal do Piauí
Presidente



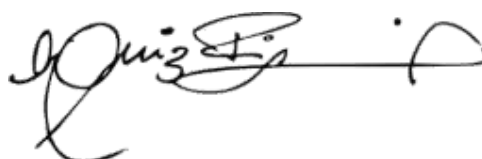
Prof. Dr. Gleyson Vieira dos Santos
Universidade Estadual do Piauí
Coorientador (Membro externo)



Prof. Dr. Samir Julian Calvo Cardona
Universidad Católica de Oriente (Antioquia - Colômbia)
(Membro externo)



Prof. Dr. Daniel Biagiotti
Colégio Técnico de Teresina – Universidade Federal do Piauí
(Membro externo)



Prof. Dr. Luiz Antonio Silva Figueiredo Filho
Instituto Federal do Maranhão - *Campus Caxias*
(Membro externo)

*A Deus e a minha família, Gratidão!
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, fé, força e pelas bênçãos em minha vida;

A Universidade Federal do Piauí pela formação acadêmica;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos pela orientação, ensinamentos e apoio na realização desse trabalho;

Ao Prof. Dr. Gleyson Vieira dos Santos pelo apoio e coorientação;

Ao professor, Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, pelo acolhimento, incentivo e ensinamentos durante o primeiro ano do curso.

Aos meus pais, a minha família e amigos por sempre me darem suporte;

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal CCA/UFPI e aos amigos que fiz durante essa caminhada, que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação;

Meu muito obrigada.

LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
CEUA	Comitê de Ética no Uso de Animais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DP	Desvio Padrão
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
GPD	Ganho de Peso Diário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Identificador
$\log(L)$	Logaritmo da função de verossimilhança
MNLM	Modelos de Regressão Não Linear Misto
N	Número de informações
Ns	Não significativo
OPG	Contagem de ovos por grama de fezes
PAB	Pesquisa Agropecuária Brasileira
PI	Ponto de Inflexão
PPGZT	Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PROC NLIN	Procedure fits nonlinear regression
PROC NLMIXED	Procedure fits nonlinear mixed models
SAS	Statistical Analysis System
SRD	Sem Raça Definida
TCA	Taxas de Crescimento Absoluto
UFPI	Universidade Federal do Piauí
σ_e^2	Variância residual
σ_a^2	Componente de variância do parâmetro A
σ_k^2	Componente de variância do parâmetro k

LISTRA DE TABELAS**CAPÍTULO 1**

Tabela 1. Modelos não lineares para descrição do crescimento animal.....	19
---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Modelos de regressão não linear com diferentes efeitos empregados na descrição na descrição da trajetória do crescimento de caprinos da raça Anglonubiana.....	40
---	----

Tabela 2. Estatística descritiva dos dados de crescimento para característica de peso vivo em caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade.....	42
---	----

Tabela 3. Critérios de seleção de modelo de regressão não linear com e sem efeito aleatório em para característica de crescimento do nascimento aos 120 dias de idade em caprinos da raça Anglonubiana.....	43
--	----

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros fixos e aleatórios da curva de crescimento ponderal de caprinos da raça Anglonubiana de acordo com o modelo acordo com o modelo de Von Bertalanffy.....	45
---	----

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do rebanho experimental de caprinos da raça Anglonubiana pertencente a Universidade Federal do Piauí (UFPI), localizado em Teresina - PI.....38
- Figura 2.** Estimativa dos pesos corporais em função da idade, ajustado pelo modelo não linear misto Von Bertalanffy, em caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade.....46
- Figura 3.** Estimativa dos pesos corporais em função da idade, ajustado pelo modelo não linear misto Brody em caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade.....47
- Figura 4.** TCA de caprinos da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de vida.....48

RESUMO GERAL

O uso dos modelos de regressão não linear misto na análise de curvas de crescimento tem sido muito utilizado, visto que esta metodologia se trata de uma abordagem flexível envolvendo fatores fixos e aleatórios e o seu uso considera a variabilidade entre e dentro de indivíduos, tendo grande aplicação prática para identificação de animais mais eficientes geneticamente, além de ser o meio mais comum de estimar componentes de (co)variância para características de interesse econômico. Nesse sentido, o objetivo geral foi avaliar a aplicabilidade de modelos de regressão não lineares, com enfoque em modelos mistos para descrever curvas de crescimento em caprinos da raça Anglonubiana. Os dados utilizados são provenientes de 385 caprinos da raça Anglonubiana, pertencentes ao rebanho experimental da Universidade Federal do Piauí, localizado em Teresina, entre os anos de 2010 a 2014. Foram ajustados os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Meloun I com e sem a incorporação de efeitos aleatórios para estimar o crescimento do animal e os parâmetros da curva. O maior e o menor peso assintótico estimados para machos e fêmeas foram observados com o modelo de Von Bertalanffy. Avaliando o comportamento das taxas de crescimento absoluto (TCA) ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$) com o aumento do peso corporal, o peso à inflexão (PI) ocorreu em 5,67 kg e a idade à inflexão em 14 dias, que se referem a uma taxa de crescimento absoluto máximo de $0,13 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$. Em relação às fêmeas avaliadas, o PI ocorreu aos 5,03 kg e a idade à inflexão aos 9 dias, com uma taxa de crescimento máximo de $0,10 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$. Verificou-se que o efeito do sexo apresenta efeito significativo ($p < 0,05$) nos parâmetros A e B do modelo ajustado. Assim, deve ser considerado no modelo de Von Bertalanffy desde o nascimento até os 120 dias de idade.

Palavras-chave: caprinocultura, curva de crescimento, modelos de regressão, modelos mistos

ABSTRACT

The use of very appropriate nonlinear curvature models of growth has been dosed for analysis, this methodology is an evaluation approach and its use considers a variability between large application and within tested practice to identify more efficient animals, in addition to being the most common means of estimating (co)variance components for characteristics of economic interest. In this sense, the general objective of this study was to evaluate the applicability of nonlinear regression models, focusing on mixed models to describe growth curves of Anglo-Nubian goats. The data used in this study come from 385 Anglonubian goats, belonging to the experimental herd of the Federal University of Piauí, located in Teresina, between the years 2010 to 2014. Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz and Meloun I models with and without the incorporation of random effects were adjusted to estimate animal growth and curve parameters. According to the criteria of AIC, BIC and σ_e^2 , the Von Bertalanffy model seems to be the most adequate. The highest and lowest asymptotic weights estimated for males and females were observed with the Von Bertalanffy model. Evaluating the behavior of absolute growth rates (AGR) ($\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$) with increasing body weight, weight at inflection (IP) occurred at 5.67 kg and age at inflection at 14 days, which refer to at a maximum absolute growth rate of $0.13 \text{ kg}\cdot\text{day}^{-1}$. In relation to the evaluated females, the PI occurred at 5.03 kg and the age at inflection at 9 days, with a maximum growth rate of $0.10 \text{ kg}\cdot\text{day}^{-1}$. The effect of sex was found to have a significant effect ($p < 0.05$) on parameters A and B. Thus, it should be considered in the Von Bertalanffy model from birth to weaning.

Keywords: goat farming, regression models, random effects, sexual dimorphism

SUMÁRIO

LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
LISTRA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO GERAL	x
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA	15
1 REFERENCIAL TEÓRICO	16
1.1 Panorama da caprinocultura	16
1.2 Raça caprina Anglonubiana.....	17
1.3 Crescimento animal	18
1.4 Modelos para descrição do crescimento animal	19
1.4.1. Modelos não lineares	20
1.4.1.1 Modelo de Brody	21
1.4.1.2 Modelo Logístico.....	22
1.4.1.3 Modelo Von Bertalanffy.....	22
1.4.1.4 Modelo de Gompertz.....	23
1.4.1.5 Modelo Meloun I.....	24
1.5 Modelos de regressão não linear misto (MNLM)	24
1.6 Critérios para seleção de modelos	26
1.6.1 Critério de Informação de Akaike (AIC).....	26
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO 2 - MODELOS NÃO LINEARES MISTOS PARA DESCRIÇÃO DA TRAJETÓRIA DE CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA MANEJADOS EM CLIMA TROPICAL	35
1. INTRODUÇÃO.....	38
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
2.1 Considerações éticas.....	39
2.2 Animais, localização, descrição dos dados e manejo	39
2.3 Análise estatística	40
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1 Análise estatística descritiva.....	43
3.2 Comparação entre os modelos	49
5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS	51

INTRODUÇÃO GERAL

A caprinocultura é um ramo agropecuário com grande potencial a ser explorado e vem crescendo constantemente, tanto no Brasil, como no mundo. Segundo o IBGE (2021), o Brasil é responsável por 11.923.630 de animais caprinos, possuindo o Nordeste um efetivo de cerca de 11.353.363 cabeças, isto é, um concentrado de 95,2% do rebanho nacional. O Estado do Piauí tem-se destacado com 16,3%, correspondendo a 1.945.903 do efetivo (IBGE, 2021). Os dados enunciados evidenciam esta concentração da caprinocultura - justamente nesta região do país – por ser espécies que possuem facilidade de adaptação às condições adversas da região.

A caprinocultura assume caráter socioeconômico importante, por representar fonte de proteína para o consumo humano e fonte de renda através da comercialização dos produtos derivados destes animais como a carne, o leite e o couro (ALENCAR *et al.*, 2010).

Apesar da produtividade e da expansão da caprinocultura no país, a produção da carne de caprinos ainda não atende à demanda do mercado consumidor. O consumo médio de carne caprina no Brasil ainda é considerado baixo, quando comparado com as carnes mais consumidas no país (PESSOA *et al.*, 2019). Dentro deste cenário, há uma necessidade de medidas com o objetivo de aumentar a quantidade e qualidade dos produtos oriundos da caprinocultura.

O crescimento animal é um fenômeno complexo, mas de grande importância (TEDESCHI *et al.*, 2000). Compreender o comportamento do crescimento pode promover a intensificação da produção pecuária, uma vez que as medidas de desenvolvimento ponderal, pesos e idades ideais dos animais, podem ser submetidas, por exemplo, à reprodução ou ao abate.

O crescimento dos animais apresenta relação direta com a quantidade e a qualidade da carne produzida, devido ao aumento do tamanho ou peso. Estudos realizados com curvas de crescimento têm sido adotadas como estratégia em programas de melhoramento genético, no auxílio da definição de critérios de seleção para precocidade de acabamento e velocidade de ganho de peso, além de serem importantes nas estratégias para auxiliar na definição de sistemas de produção mais eficientes (SILVA *et al.*, 2011).

As medidas de peso em caprinos distribuem-se ao longo do tempo de forma semelhante a curvas sigmóides, podendo ser descritas por modelos que consideram a associação entre peso e idade (FERNANDES *et al.*, 2012). Desta forma os dados longitudinais utilizados em estudos de crescimento podem apresentar diferentes variâncias no decorrer da vida dos animais. Além disso, medidas repetidas em um mesmo indivíduo são correlacionadas e isso inviabiliza o uso eficiente desses modelos (GUEDES *et al.*, 2005; MAZUCHELI; ACHCAR, 2002). É

necessário a utilização de avaliadores de qualidade de ajuste para que se busquem modelos que se ajustem.

No entanto, dados de peso/idade de animais não apresentam esses pré-requisitos e a análise apresenta resultados questionáveis e/ou duvidosos. Uma alternativa para solução deste problema é incorporar no modelo efeitos aleatórios associados aos indivíduos, que passa a ser denominado modelos não lineares mistos, os quais apresentam estruturas de covariâncias flexíveis e com capacidade de lidar com banco de dados desbalanceados (LINDSTROM; BATES, 1990).

Diferentes modelos não lineares são adotados para descrever curvas de crescimento. Estes modelos podem fornecer bom ajuste com menos parâmetros que os modelos lineares, além de apresentar parâmetros com interpretação biológica, facilitando o estudo acerca do peso adulto, velocidade de crescimento, pontos críticos de mudanças na velocidade de crescimento, entre outras características (SILVA *et al.*, 2011). O objetivo geral deste estudo foi avaliar a aplicabilidade de modelos não lineares mistos para descrever curvas de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana.

A dissertação está estruturada seguindo as normas do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí - (PPGCA/UFPI) estabelecendo a seguinte organização: **Capítulo 1 – Revisão de Literatura** (onde estão dispostas as descrições gerais da proposta do estudo e tópicos de relevância ao tema da pesquisa); e **Capítulo 2 – Modelos não lineares mistos para descrição da trajetória de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana manejados em clima tropical** (apresentado como artigo científico, e elaborado de acordo com as normas da revista *Small Ruminant Research* [ISSN 0921-4488]).

CAPÍTULO 1
REVISÃO DE LITERATURA

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Panorama da caprinocultura

Os caprinos estão distribuídos por todos os continentes do planeta. De acordo com a FAO (2016), o rebanho mundial de caprinos foi estimado por 1,02 bilhão de cabeças. No cenário nacional, de acordo com os dados fornecidos pelo IBGE (2021), foi registrado uma queda, se comparado à 2020. Foram 11,9 milhões de caprinos, 1,5% ou 178,1 mil cabeças a menos, com mais alta densidade de efetivo na região Nordeste, equivalente a 95,2% do rebanho nacional.

O rebanho caprino nacional está distribuído em todas as 5 grandes regiões geográficas do país. No ano de 2021, a Bahia continua apresentando a marca de maior rebanho do Estado, contendo 28,2% do efetivo de caprinos. Em seguida, destaca-se os estados de Pernambuco e Piauí, respectivamente, 26,9% e 16,3% milhões de cabeças (IBGE, 2021). A alta concentração de caprinos no Nordeste tem raízes na grande adaptação desses animais às condições ambientais do Semiárido nordestino, marcadamente ao bioma Caatinga (MAGALHÃES *et al.*, 2020), sendo criados normalmente para a subsistência da população.

A caprinocultura no Brasil apresenta grande importância socioeconômica. É considerada como uma alternativa pecuária para as regiões áridas e semiáridas do planeta, principalmente para desenvolvimento da região do Nordeste do Brasil (COSTA *et al.*, 2008). A exploração da carne, leite e da pele dos caprinos tem-se consolidado nas últimas décadas como uma importante atividade na produção animal para subsistência, servindo como alternativa financeiramente rentável, inclusiva e como mantenedora do homem ao campo (BATISTA; SOUZA, 2015).

Embora se tenha altas taxas de crescimento dos rebanhos caprinos e a região Nordeste apresentar um grande potencial produtivo, a caprinocultura é vista como uma atividade informal, associada à baixa produtividade, baixa renda e com o uso de pouca ou nenhuma tecnologia, refletindo em baixos índices zootécnicos. Portanto, a caprinocultura caracteriza-se como uma cadeia produtiva desarticulada que vai desde os agricultores até o consumidor final (HOLANDA JÚNIOR, 2006).

Devido novas possibilidades encontradas pela abertura de mercados e a importância da produção caprina em todo o mundo, há necessidade de se promover ações voltadas para a melhoria da eficiência dos sistemas tanto de criação como de produção de caprinos (DARCAN; SILANIKOVE, 2018; SOUZA *et al.*, 2019).

1.2 Raça caprina Anglonubiana

Os caprinos da raça Anglonubiana são animais exóticos introduzidos no Brasil, estes animais têm sido indicados para a formação de rebanhos com dupla aptidão (carne e leite), devido sua rusticidade quando comparada às demais raças exóticas (SANTOS *et al.*, 2005). Entretanto, como os demais recursos genéticos disponíveis nos rebanhos do país, têm em comum a necessidade de ações de melhoramento genético para se adequar às condições climáticas da região (RAMOS *et al.*, 2010), sem comprometimento do potencial de crescimento.

A raça Anglonubiana é bem adaptada a regiões de clima tropical, podendo ser criada em sistema de manejo extensivo e semi-intensivo. Os animais desta raça são de porte médio-alto, apresentando peso entre 50 a 90 kg e medindo em torno de 0,90m nos machos, já as fêmeas pesam de 40 a 60 kg, e medem aproximadamente 0,70 m de altura. 70 kg nas fêmeas, entretanto podem alcançar até 120 kg, se criados em manejo intensivo (SILVESTRE, 2012; OLIVEIRA, 2006). São animais de pelagem variável, indo de negra, castanho escuro, baia até cinza, podendo apresentar manchas pretas ou castanhas (VIEIRA, 1995).

O ganho de peso diário (GPD) é uma característica que depende do genótipo e do manejo alimentar submetido ao animal e, nos caprinos é um atributo bastante variável. Além disso apresenta-se como uma variável importante de desempenho produtivo quando se associa à faixa etária do animal, pois torna-se uma referência para que o abate ocorra na fase a qual inicia o declínio da eficiência da conversão alimentar (BUENO *et al.*, 2002).

A maior taxa de ganho de peso diário ocorre no período do nascimento, aos 5,5 meses de idade, que é a fase de maior desenvolvimento. Com o passar deste período, o GPD em relação ao tempo, tende a diminuir para alcançar o peso ao abate (OLIVEIRA, 2001). Câmara *et al.* (2004), em seu estudo com caprinos da raça Anglonubiana, verificaram GPD de 45,3 e 51,2 em fêmeas e machos. Esse resultado corresponde a cerca de 30% do ganho médio observado em ambos os sexos, do nascimento aos 120 dias de idade.

Oliveira *et al.* (2009), destaca que o sexo influencia o GPD de caprinos da raça Anglonubiana de forma mais intensa até 150 dias de idade e influencia o peso vivo em várias idades, resultando em machos mais pesados que fêmeas. O GPD maior em idades mais jovens, foi igual 194 ± 42 g do nascimento, aos 30 dias e 91 ± 60 g dos 210 aos 240 dias, e cerca de $150 \text{ g} \cdot \text{dia}^{-1}$ do nascimento aos 150 dias de idade.

A raça Anglonubiana é, certamente, o grupo genético caprino controlado mais amplamente difundido no Nordeste do Brasil. Os caprinos desta raça criados sob sistema semi-intensivo apresentam desempenho para produção de carne. No Nordeste a criação de caprinos

normalmente é para a subsistência da população. Estes animais apresentam precocidade, possui capacidade de adaptação aos vários tipos de clima e sistemas produtivos (CÂMARA *et al.*, 2004).

1.3 Crescimento animal

O crescimento é uma propriedade fundamental do sistema biológico. O estudo de crescimento de animais é amplamente utilizado para explicar como os indivíduos geralmente se desenvolvem. Na produção animal, o processo de crescimento pode ser em pesquisas, como por exemplo, que objetivem um manejo nutricional dos animais mais eficiente, na determinação do tempo ideal para o abate do animal, bem como subsidiar programas de seleção animal, visando o melhoramento de características de crescimento relacionadas às diversas raças (LOPES *et al.*, 2011; VELOSO *et al.*, 2016).

Os animais têm um padrão de crescimento pré-determinado geneticamente, mas o crescimento real dos mesmos é influenciado pela alimentação, condições climáticas e sanidade. A partir disso os animais tendem a crescer até um tamanho máximo de acordo com sua raça. O conhecimento destes processos é necessário para identificar fases de vida do animal que descrevem diferentes velocidades de crescimento (LOPES, 2016; RIBEIRO, 2018).

Existem diversos fatores que podem interferir no crescimento pré e pós-natal dos animais, dentre eles destacam-se: nutrição e alimentação, condições ambientais, idade da mãe, raça, sexo, clima, ano de nascimento, localização geográfica, entre outros (PIMENTEL *et al.*, 2017). Em programas de melhoramento genético, a velocidade é um fator importante, pois à medida em que os animais crescem, resulta em redução dos intervalos de geração, diminuição dos gastos com alimentação e, conseqüentemente, aumento do ganho genético a cada geração. (DRUMOND *et al.*, 2013), que refletirão em melhores índices produtivos da atividade pecuária.

O crescimento animal pode ser analisado de uma forma prática e eficiente por meio do estudo de curvas de crescimento, as quais descrevem uma relação funcional entre peso e idade. Estudos com curvas de crescimento animal têm aplicação estratégica em programas de melhoramento genético, pois auxiliam na definição de critérios de seleção quanto à precocidade de acabamento e à velocidade de ganho de peso, e podem auxiliar na definição de sistemas de produção mais eficientes, para cada raça e região, quanto ao manejo dos animais, a programas alimentares, bem como na definição de cruzamentos. Nesse sentido, o estudo de curvas de crescimento de modelagem de animais é necessário para otimizar a gestão e a eficiência da produção animal (KÖHN *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2011).

O comportamento da curva de crescimento animal é do tipo sigmóide, descrevendo uma sequência de medidas de tamanho em função do tempo (peso-idade, altura da garupa-idade, área de olho de lombo-idade). Destacam-se quatro fases nesta curva, sendo a primeira fase, a taxa crescimento, que é elevada e positiva, ocorrendo logo após a concepção e indo até a puberdade, alcançando o máximo no ponto de inflexão da curva. Após a puberdade, inicia-se a fase de crescimento desacelerado, em que uma série de fatores inibem a taxa de crescimento, embora o animal não deixe de crescer. Depois dessa fase regressiva, o animal atinge a fase de maturidade fisiológica, em que a curva atinge o platô, tendo o crescimento muito lento ou praticamente inexistente de outros tecidos (BROWN; FITZHUGH JÚNIOR; CARTWRIGHT, 1976; OWENS *et al.*, 1993; HOSSNER, 2005; SILVA *et al.*, 2011).

1.4 Modelos para descrição do crescimento animal

Modelagem matemática é uma ferramenta usada em diferentes ramos do conhecimento devido a capacidade de expressar matematicamente as relações entre os fenômenos. Gómez; Muñoz; Betancur (2008) reportam que é comum o uso de modelos matemáticos para a descrição do crescimento animal e diversas funções matemáticas têm sido utilizadas na busca pelo conhecimento do padrão de crescimento animal.

Estas funções permitem sintetizar informações em alguns pontos estratégicos do desenvolvimento ponderal, estabelecendo previsões no comportamento produtivo, além de determinar as idades de abate dos animais que permitem obter o máximo benefício econômico (GÓMEZ *et al.*, 2008; TLAPA *et al.*, 2008; CASSIANO; SÁFADI, 2015).

O ajuste de uma função para descrever o crescimento permite entender características importantes, como precocidade, ganho diário, peso adulto e o intervalo de tempo entre o nascimento e a maturidade e pode ser realizado por meio de uma grande variedade de modelos matemáticos linear e/ou não linear, com base em determinadas distribuições de probabilidades (CASAS *et al.*, 2010; HESS *et al.*, 2015).

Em estudos com curvas de crescimento, os modelos não lineares, geralmente, são mais utilizados por terem bom ajuste, com menos parâmetros do que os modelos lineares, além de apresentarem parâmetros ou funções com interpretação biológica, facilitando o estudo do peso do animal adulto, da velocidade de crescimento e de pontos críticos de mudanças na velocidade e na taxa de crescimento (SARMENTO *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2010a).

Nos modelos não lineares usa-se um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, começando com valores iniciais, atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados, pois a resolução do sistema é dependente dos próprios parâmetros a serem

estimados. Para resolver o sistema de equações em um modelo não linear é necessário calcular a soma de quadrado do erro e, a cada passo, obtém-se um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro (SARMENTO *et al.*, 2006).

1.4.1. Modelos não lineares

Estudos com modelos não lineares têm sido utilizados para tentar descrever os fenômenos biológicos dentro da produção animal, em virtude da capacidade de síntese de um grande número de medidas em alguns parâmetros que possuem interpretação biológica, facilitando, assim, o entendimento do crescimento animal. Devido a estes fatores, as curvas de crescimento permitem resumir em três ou quatro parâmetros as características de crescimento da população (peso inicial, velocidade de crescimento e peso adulto) (SILVA *et al.* 2010; SELVAGGI *et al.* 2015).

Estão disponíveis na literatura diferentes funções não lineares para descrever curvas de crescimento animal, e essas possuem diferenças entre si em relação aos ajustes estatísticos e biológicos. Modelos não-lineares como Brody, Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy, são os mais utilizados para a modelagem de curvas de crescimento animal (SANTOS *et al.*, 2018). Estas funções têm várias aplicações na área biológica, e têm sido testados ao longo do tempo em várias pesquisas para descrever o crescimento de diversas espécies (Tabela 1). Nas equações apresentadas na Tabela 1 quase todos os modelos possuem parâmetros que podem ser associados a significado biológico.

Tabela 1. Modelos não lineares utilizados para descrição do crescimento animal

MODELOS	EQUAÇÃO
Brody ¹	$y_t = A(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$
Logístico ²	$y_t = A(1 + Be^{-kt})^{-1} + \varepsilon$
Von Bertalanffy ³	$y_t = A(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$
Gompertz ⁴	$y_t = Ae^{-e^{-B(kt)}} + \varepsilon$
Meloun I ⁵	$y_t = A - Be^{-kt} + \varepsilon$
Richards ⁶	$y_t = A(1 - Be^{-kt})^{-m} + \varepsilon$
Michaelis-Menten Modificado ⁷	$y_t = (Bk^m + At^m)(k^m + t^m)^{-1} + \varepsilon$

¹Brody (1945), ²Nelder (1961), ³Von Bertalanffy (1957), ⁴Laird (1966), ⁵Meloun & Militk (1996), ⁶Richards (1959) e ⁷Lopez et al. (2000).

Nestes modelos as mudanças no tamanho são representadas por Y (peso corporal) em relação à idade t (tempo em dias de vida ou idade); pelos parâmetros: **(i)** A é uma estimativa do peso (ou valor) assintótico ou do peso-limite, quando t tende ao infinito e quando o peso adulto do animal não é atingido, A reflete uma estimativa do peso às últimas pesagens; **(ii)** B é uma constante de integração, não possui interpretação biológica e está relacionada com os pesos iniciais ($t = 0$) até a idade adulta ($t \rightarrow \infty$) do animal; **(iii)** k é interpretado como taxa de maturação e indica a velocidade de crescimento do tecido até a idade adulta, em outros termos, é indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu peso adulto. Quanto maior esse valor, mais precoce seria o animal, em termos de crescimento; **(iv)** m é o que dá forma à curva de crescimento e, conseqüentemente, determina o ponto de inflexão (PI), no qual se inicia a fase de auto desaceleração até chegar ao tamanho adulto; portanto, determina em que proporção do parâmetro A ocorre o PI da curva, isto significa o ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento inibitório atingindo um ponto de crescimento maior, indicando o ponto em que o indivíduo passa a crescer com menor velocidade, este crescimento é linear; ε , é o erro aleatório (MENDES *et al.*, 2008; DRUMOND *et al.*, 2013; FALCÃO *et al.*, 2015; LOPES *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2021). A seguir, serão descritos alguns modelos não lineares para curvas de crescimento.

1.4.1.1 Modelo de Brody

Brody (1945) *apud* por Oliveira (1995); Teleken; Galvão; Robazza (2017); Ribeiro *et al.* (2018) consideram como um modelo o comportamento de retornos decrescentes. Apresenta característica diferente dos demais modelos, pois o ponto de inflexão coincide com o nascimento, resultando em uma curva não sigmóide. Sua função foi proposta inicialmente para descrever a fase de auto inibição do crescimento. O parâmetro m neste modelo assume o valor de (1) e considera o nascimento como o PI (Tabela 1).

Hossein-Zadeh; Golshani (2016) ao descreverem o padrão de crescimento em ovinos iranianos Guilan, concluíram que o modelo não linear Brody forneceu o melhor ajuste da curva de crescimento de cordeiros machos.

Hojjati; Hossein-Zadeh (2017) utilizou cinco funções não lineares para descrever o padrão de crescimento de ovinos iranianos Mehraban. O modelo de Brody forneceu o melhor ajuste da curva de crescimento em todos os cordeiros, machos e fêmeas; cordeiros simples e duplos.

Teixeira Neto *et al.* (2016) utilizou 17 modelos não lineares para melhor descrever o crescimento de cordeiros do nascimento aos 210 dias através da análise multivariada.

Concluindo que o modelo Brody é o mais adequado para descrição do crescimento, onde este revela uma notável redução do ganho de peso após o desmame.

Teleken; Galvão; Robazza (2017) comparou a qualidade do ajuste de cinco modelos não lineares recorrentemente utilizados na literatura para descrever o crescimento animal e concluiu que quando os dados experimentais mostraram perfis hiperbólicos, como vacas e cabras, o modelo mais adequado foi a equação de Brody.

1.4.1.2 Modelo Logístico

Este modelo foi proposto para o estudo do crescimento de animais por Nelder (1961) *apud* por Ribeiro *et al.* (2018), em que se caracteriza por apresentar curva sigmóide e quase simétrica em relação ao PI. Em sua função matemática, o parâmetro m é fixo e igual a (-1) (Tabela 1).

Malhado *et al.* (2008), estudaram modelos não lineares tradicionais para descrever o crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados na região sudoeste da Bahia, observaram que o modelo Logístico apresentou melhor ajuste a partir dos 120 dias de idade, e menor divergência gráfica em relação ao peso médio observado, portanto, foi considerado o mais adequado para modelar o crescimento dos animais no período estudado.

Pires *et al.* (2017) avaliaram os modelos não lineares para a curva média de crescimento de caprinos da raça Repartida, criados na Caatinga. Neste estudo, o modelo logístico apresentou melhores ajustes para descrever a curva de crescimento.

Arré *et al.* (2019) ao ajustar modelos não lineares para descrever crescimento de cabras com pesagens em diferentes idades, verificaram que entre os modelos, o logístico estava entre os mais adequados para dados de peso-idade em animais da raça Anglonubiana. Neste estudo o modelo Logístico estimou o menor peso assintótico.

1.4.1.3 Modelo Von Bertalanffy

Von Bertalanffy (1957) *apud* Kuhl *et al.* (2010) considera o crescimento como um processo metabólico, isto é, a sua suposição baseia-se que o crescimento é a diferença entre as taxas de anabolismo e catabolismo dos tecidos. Entre os modelos não lineares já citados, este também tem a característica de curva sigmoide e simétrica em relação ao PI (TELEKEN; GALVÃO; ROBAZZA, 2017). Na sua função matemática, o parâmetro m é fixo e igual a (3) (Tabela 1).

Malhado *et al.* (2008) estudaram as curvas de crescimento para caprinos da raça Anglonubiana criados na caatinga (rebanho de elite e comercial), verificaram que entre os

modelos estudados, Von Bertalanffy, apresentar os melhores ajustes para descrever o peso dos caprinos da raça Anglonubiana criados na caatinga.

Cavalcante *et al.* (2013), ao ajustar aos dados peso-idade de caprinos sem raça definida (SRD), usando modelos não lineares tradicionais na produção animal verificaram que o modelo de Von Bertalanffy foi o mais indicado ao ajuste dos dados.

Teleken; Galvão; Robazza (2017), ao compararem diferentes modelos não lineares tradicionalmente usados para descrever crescimento de diferentes animais (coelhos e touros), indicaram que o modelo de Von Bertalanffy foi o mais adequado para ajustar a curva de crescimento.

1.4.1.4 Modelo de Gompertz

Laird (1965) *apud* Teleken; Galvão; Robazza (2017) foi desenvolvido com propósito de descrever a taxa de mortalidade em uma população; e ainda se caracteriza como uma modelo que apresenta forma sigmoideal e um ponto de PI, em que a taxa de crescimento é máxima. Este modelo supõe que a taxa de crescimento específica determinada empiricamente decresce de forma exponencial com o tempo e devido ao seu PI a curva de crescimento se torna assimétrica (LAIRD, 1965). Depois que atinge o ponto de inflexão o desenvolvimento dos tecidos é mais lento (Tabela 1).

Sarmiento *et al.* (2006) avaliando os modelos não lineares para descrever a curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês, verificaram que o modelo Gompertz apresentou ajuste médio superior e, portanto, deve ser preferido aos demais modelos estudados para descrição da curva média de crescimento.

Malhado *et al.* (2009) estudaram as curvas de crescimento em ovinos da raça Dorper cruzados com as raças brasileiras locais (Morada Nova, Rabo Largo e Santa Inês), identificaram que a função de Gompertz apresenta o melhor ajuste de crescimento animal.

Ó *et al.* (2012) averiguaram o crescimento de ovinos da raça Santa Inês, no Vale do Gurguéia, a partir da análise de modelos não lineares, verificaram que o modelo Gompertz apresentou melhor distribuição residual e melhor ajuste na descrição da curva de crescimento.

Figueiredo Filho *et al.* (2012) descreveram a curva de crescimento de caprinos mestiços (Boer x Anglonubiana), por meio de ajustes de funções não lineares, com ênfase nos fatores ambientais e genéticos desses animais, verificaram que o modelo de Gompertz apresenta o melhor ajuste para a descrição da curva de crescimento de caprinos criados extensivamente na microrregião de Teresina, Estado do Piauí.

Falcão *et al.* (2015) trabalharam com curvas de crescimento de cordeiros da raça Ile de France, e recomendaram o modelo de Gompertz como a curva que melhor descreve o crescimento desses animais.

Oliveira *et al.* (2021) reportaram que o modelo de Gompertz obteve o melhor ajuste crescimentos em caprinos da raça Alpina em comparação aos modelos não lineares tradicionais.

1.4.1.5 Modelo Meloun I

Este modelo foi utilizado por Meloun; Militky (1996) no intuito de descrever o crescimento de uma estrutura auricular de fetos. Nas curvas de crescimento animal, tem sido um modelo alternativo, devido a sua flexibilidade (Tabela 1).

Muniz *et al.* (2011) utilizando 13 modelos não lineares para estimar a curva de crescimento de caprinos da raça Mambrina, verificaram que a qualidade do ajuste para Meloun I apresentou maior valor para o parâmetro que representa o peso adulto, ou peso assintótico do animal.

Souza *et al.* (2013) em sua pesquisa com modelos alternativos e tradicionais não lineares para descrever curvas de crescimento de ovinos da raça Morada Nova, verificaram que os modelos Meloun I obteve o melhor ajuste e revelou uma redução notável de ganho de peso após 150 dias de idade.

Teixeira Neto *et al.* (2016) por meio de análise multivariada, verificou que o modelo não linear de Meloun I foi considerado um dos mais adequado para descrever o crescimento de ovinos da raça Santa Inês.

1.5 Modelos de regressão não linear misto (MNLMM)

São uma classe de modelos estatísticos que recebem este nome por especificarem, em sua equação, dois tipos de efeitos: efeitos fixos e aleatórios (GODOY; NUNES, 2020). Ao ser utilizado em estudos de crescimento, variáveis físicas ou ambientais podem ser inseridas e mensuradas como efeito fixo; já os efeitos individuais dos animais são analisados como efeitos aleatórios centrados em torno da sua média (SILVA *et al.*, 2016).

Esta metodologia é de fácil aplicação em estudos que envolve modelagem animal, devido sua capacidade de proporcionar melhores ajustes das curvas de crescimento médios e individuais, em comparação com os modelos não lineares, além de ser o meio mais comum de estimar componentes de (co)variância para características de interesse econômico (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2014a).

Esses modelos são eficazes para dados longitudinais e podem ser aplicados a dados desequilibrados ou incompletos, assim como para estimar o comportamento médio e variabilidade entre os indivíduos em uma população (PEREIRA, 2014b; PINHEIRO; BATES, 2000).

Os MNLM são bastante flexíveis, permitindo a modificação da estrutura das matrizes de variâncias e covariâncias, o que permite a correlação entre as observações, sendo útil também para casos de dados desbalanceados, visto que estas informações são modeladas conjuntamente; desta forma, indivíduos que possuem poucas observações, ou em situação em que não temos a mesma quantidade de dados para todos os indivíduos em estudo, não são necessariamente excluídos da análise, sendo uma das grandes vantagens desse método (LINDSTROM; BATES 1990; MELLO, 2018).

O MNLM tem a seguinte forma geral:

$$y_{ij} = f(X, \beta, Z, b, x_{ij}) + e_{ij} \quad , \quad b_i \sim N(0, D)$$

em que:

y_{ij} : é a j -ésima observação do i -ésimo indivíduo ou unidade experimental;

f : é o vetor de funções de resposta não linear;

X : é a matriz de incidência para efeitos fixos;

β : é o vetor de parâmetros de efeitos fixos;

Z : é a matriz de incidência para efeitos aleatórios;

b : é o vetor de parâmetros dos efeitos aleatórios, em que $b_i \sim N(0, D)$; onde D : é a matriz de variâncias e covariâncias para os efeitos aleatórios;

x_{ij} : é o tempo avaliado no i -ésimo indivíduo na j -ésima ocasião;

e_{ij} : são erros independentes e identicamente distribuídos com média dada por um vetor zero e matriz de variâncias $\sigma^2 I$, em que I é a matriz identidade.

Hosseini-Zadeh (2017) descreveram as curvas de crescimento em ovinos iranianos Moghani utilizando equações matemáticas não lineares mistas, verificaram que o modelo Logístico obteve o melhor ajuste de crescimento em machos, fêmeas, tipos de parto simples, duplos e em todos os cordeiros.

Craig; Schinckel (2001) analisaram MNLM em estudos de crescimento de suínos, reportaram que esta metodologia permitiu a obtenção de estimativas mais precisas para parâmetros das funções de crescimento animal, do que os tradicionais modelos de efeitos fixos.

1.6 Critérios para seleção de modelos

Os critérios podem ser adotados para direcionar e consolidar na escolha do modelo apropriado, assim dizendo, o que melhor descreve a curva de crescimento. Diversos critérios são utilizados para seleção de modelos, dentre eles: Akaike, Bayesiano, entre outros.

1.6.1 Critério de Informação de Akaike (AIC)

Proposto por Akaike (1974), este critério é uma medida relativa da qualidade de ajuste de um modelo estatístico estimado. Baseia-se na divergência de Kullback-Leibler (1951), que é uma medida da “distância” entre o modelo identificado e um teórico “modelo real”.

Akaike (1974) desenvolveu uma forma de estimar esta distância através dos dados utilizados na modelagem, usando a função de verossimilhança e a ordem do modelo. Sua fórmula é dada por:

$$AIC = -\log(L) + 2p$$

em que:

$\log(L)$: é o valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros; e

p : é o número de parâmetros a serem estimados no modelo.

Este critério permite utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor (BURNHAM; ANDERSON, 2004).

1.6.2 Critério de Informação Bayesiano (BIC)

Proposto por Schwarz (1978) tem como pressuposto a existência de um “modelo verdadeiro” que descreve a relação entre a variável dependente, e as diversas variáveis explanatórias entre os distintos modelos sob seleção. Este critério é definido como a estatística que maximiza a probabilidade de identificar o verdadeiro modelo dentre os avaliados. O melhor ajuste do modelo é indicado pelo menor valor de BIC.

Sua fórmula é dada por:

$$BIC = -2\log(L) + p\log(n)$$

em que:

n : é o número de observações da amostra utilizadas para ajustar a curva.

Hossein-Zadeh; Golshani (2016) e Hossein-Zadeh (2017) trabalhando com curva de crescimento em ovinos iranianos Guilan; Moghani respectivamente, utilizaram menores valores de AIC e BIC no estudo de diferentes modelos não lineares.

Ali *et al.* (2020) ajustaram as funções de crescimento não linear para descrever o crescimento de ovinos da raça Kajli. Neste estudo utilizaram critério de AIC e BIC, onde observaram que os menores valores encontrados no modelo de Brody foi a melhor função não linear que descreveu o padrão de crescimento biológico de todos os cordeiros, machos, fêmeas, partos simples, duplos e triplos.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v.19, n.6, p.716-723. 1974.

ALENCAR, S.P. *et al.* Perfil sanitário dos rebanhos caprinos e ovinos no sertão de Pernambuco. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.1, p.131-140. 2010.

ALI, A. *et al.* Determinação da melhor função não linear para descrever o crescimento de ovelhas Kajli. **South African Journal of Animal Science**, Pretória, v.50, n.3, p.452-459, 2020.

BATISTA, N.L.; SOUZA, B.B. Caprinovinocultura no semiárido brasileiro - fatores limitantes e ações de mitigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.2, p.1-9. 2015.

ARRÉ, F.A. *et al.* A comparison of nonlinear models for describing weight-age data in Anglo-Nubian does. **Revista Caatinga**, v.32, n.1, p.251-258, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM, 2021**. Produção. Pecuária Municipal, Rio de Janeiro, v.49, p.1-12, 2021. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 out. 2022.

BRODY, S. **Bioenergetics and Growth**. Rheinhold Publishing, New York. 1945.

BROWN, J.E.; FITZHUGH JUNIOR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science, Champaign**, v.42, p.810-818, 1976.

BUENO, M.S.; FERRARI-JUNIOR, E.; BIANCHINI, D. Effect of replacing corn with dehydrated citrus pulp in diets of growing kids. **Small Ruminant Research**, v.46, p.179-185, 2002.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v.33, n.2, p.261-304, 2004.

CÂMARA, A.C.L. *et al.* Desenvolvimento corporal de crias da raça Anglonubiana mantidas em um sistema tradicional de manejo do sertão central. **Revista Ciência e Tecnologia**. v.2, n.3, p.43-45, 2004.

CASAS, G.A.; RODRÍGUEZ, D.; TÉLLEZ, G.A. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.23, n.3, p.349-358, 2010.

CASSIANO, F.R.; SÁFADI, T. Modelos de crescimento animal para tempos irregulares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.11, p.1114-1119, 2015.

CAVALCANTE, D.H. *et al.* Modelos não paramétricos para ajustes de curva de crescimento em caprinos Sem Raça Definida (SRD). **Revista Acadêmica Ciências Animal**, v.11, n.3, 2013.

COSTA, R.G. *et al.* Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região semiárida do Estado da Paraíba. Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.218, p.195-205, 2008.

CRAIG, B.A.; SCHINCKEL, A.P. Nonlinear mixed effects model for swine growth. **The Professional Animal Scientist**, v.17, n.4, p.256-260, 2001.

DARCAN, N.K.; SILANIKOVE, N. The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: a conceptual overview. **Small Ruminant Research**, v.163, p.34-38, 2018.

DRUMOND, E.S.C. *et al.* Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1872-1877, 2013.

FALCÃO, P.F. *et al.* Curvas de crescimento de cordeiros da raça Ile de France criados em confinamento. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.16, n.2, p.377-386, 2015.

FERNANDES, T.L.; PEREIRA, A.A.; MUNIZ, J.A. Comparação de modelos não lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v.2, p.375-2387, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, L.A.S. *et al.* Fatores ambientais e genéticos sobre a curva de crescimento de caprinos mestiços. **Comunicata Scientiae (Online)**, v.3, p.154-161, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2016 Media – News releases. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

GODOY, M.C.; NUNES, M.A. Uma comparação entre anova e modelos lineares mistos para análise de dados de tempo de resposta. **Revista da Abralin**, v.19, n.1, p.1-23, 2020.

GÓMEZ, D.A.A.; MUÑOZ, M.F.C.; BETANCUR, L.F.R. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuárias**, v.21, p.39-58, 2008.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society London**, v.115, n.1825, p.513-585, 1825.

GUEDES, M.H.P. *et al.* Análise bayesiana da curva de crescimento de cordeiros da raça Santa Inês. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.3, p.415-417, 2005.

HESS, A.F. *et al.* Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.84, p.427-433, 2015.

HOLANDA JÚNIOR, E.V. **Sistemas de produção de pequenos ruminantes no semiárido do Nordeste brasileiro**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, p.53. 2006.

HOSSEIN-ZADEH, N.G.; GOLSHANI, M. Comparison of non-linear models to describe growth of Iranian Guilan sheep. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.29, n.3, p.199-209, 2016.

HOSSEIN-ZADEH, N.G. Modelling growth curve in Moghani sheep: comparison of non-linear mixed growth models and estimation of genetic relationship between growth curve parameters. **The Journal of Agricultural Science**, v.155, p.1150-1159, 2017.

HOJJATI, F.; HOSSEIN-ZADEH, N.G. Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve of Mehraban sheep. **Journal of Applied Animal Research**, v.46, p.1-6, 2017.

HOSSNER, K.L. Development of Muscle, Skeletal System and Adipose Tissue. In: HOSSNER, K.L. (Org). **Hormonal regulation of farm animal growth**. Cambridge: CABI International, p.1-12, 2005.

KÖHN, F.; SHARIFI A.R.; SIMIANER, H. Modeling the growth of the Gottingen minipig. **Journal Animal Science**, v.85, n.1, p.84-92, 2007.

KUHI, H.D. *et al.* A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v.66, n.2, p.227-240, 2010.

KULLBACK, S.; LEIBLER, R. On information and sufficiency. **Annals of Mathematical Statistics**, v.22, n.1, p.79-86, 1951.

LAIRD, A.K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, p.249-263, 1965.

LINDSTROM, M.J.; BATES, D.M. Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. **Biometrics**, v.46, n.3, p.673-687, 1990.

LOPEZ, S. *et al.* generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1816-1828, 2000.

LOPES, F.B. *et al.* Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.3, p.607-617, 2011.

LOPES, F.B. *et al.* Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. **Archivos Zootecnia**, v.65, n.250, p.123-129, 2016.

MAGALHÃES, K.A. *et al.* Caprinos e ovinos no Brasil: análise da Produção da Pecuária Municipal 2019. Embrapa Caprinos e Ovinos. **Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovino**. Boletim n.11, Sobral, Ceará, 2020.

MALHADO, C.H.M. *et al.* Curvas de crescimento para caprinos da raça Anglo-Nubiana criados na caatinga: rebanho de elite e comercial. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.9, n.4, p.667-671, 2008.

MALHADO, C.H.M. *et al.* Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. **Small Ruminant Research**, v.84, p.16-21, 2009.

MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J.A. Algumas considerações em regressão não linear. **Acta Scientiarum**, v. 24, n.6, p.1761-1770, 2002.

MELLO, M.N. *et al.* Modelos não lineares mistos para descrever o teor de carbono orgânico no solo. **Revista Brasileira de Biometria**, v.36, n.1, p.230-240, 2018.

MELOUN, M.; MILITKY, J. **Sbírka úloh. Statistické zpracování experimentálních dat.** Pardubice: Universita Pardubice, 1996, 308p.

MENDES, P.N. *et al.* Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p.1984-1990, 2008.

MUNIZ, L.M.S. *et al.* Modelos não lineares alternativos para descrever o crescimento de Caprinos da raça Mambrina. **PUBVET**, v.5, n.36, p.1231-1237, 2011.

NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-289, 1961.

Ó, A.O. *et al.* Curva de crescimento de ovinos Santa Inês no Vale do Gurguéia. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, p 912-922, 2012.

OLIVEIRA, A.N. **Desempenho e características da carcaça de caprinos mestiços Anglo Nubiano, Boer e caprinos sem padrão racial definido em pastagem e em confinamento.** 2006. 123p. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal do Ceará – Fortaleza- Ceará, 2006.

OLIVEIRA, A.N.; VILLARROEL, A.B.S.; FERNANDES, A.A.O. Avaliação do desenvolvimento corporal e da carcaça de cabritos cruzas Boer x SRD e Anglonubiana x SRD, mantidos em sistema semi-intensivo de criação no Estado do Ceará. In: **Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia.** 38, Piracicaba, 2001. Anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001.

OLIVEIRA, D.F. *et al.* Desenvolvimento ponderal e características de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana criados em sistema semi-intensivo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, p.256-265, 2009.

OLIVEIRA, H.N. **Análise genético-quantitativo da curva do crescimento de fêmeas da raça Guzerá.** 1995. 73f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina veterinária, Ribeirão Preto.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* **Curvas de crescimento em caprinos da raça Alpina criados no semiárido nordestino.** In: OELKE, C.A.; MORAES, G.; GALATI, R.L. (Org.). **Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas.** 1ed., Guarujá: Editora Científica Digital, v.2, p.64-82, 2021.

OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; HANSON, C.F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v.71, n.11, p.3138-3150, 1993.

PEREIRA, N.N. **Modelos não lineares mistos na análise de curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã.** Viçosa, MG, 2014. 51f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014a.

PEREIRA, N.N. *et al.* Curvas de crescimento de bovinos com coeficientes aleatórios para peso à maturidade. **Revista da Estatística UFOP.** v.3, p.309-313, 2014b.

PESSOA, R.M.S. *et al.* Caracterização do perfil dos consumidores de carne caprina comercializada no município de Areia - PB. **Nutritime Revista Eletrônica**, v.16, n.01, p.8364-8369, 2019.

PIMENTEL *et al.* Gender on the growth of Criollo foals from birth to three years of age. **Ciência Rural**, v.47, n.1, p.1-7, 2017.

PINHEIRO, J.; BATES, D. Teoria e métodos computacionais para modelos lineares de efeitos mistos. **Modelos de efeitos mistos em S e S-PLUS**, p.57-96, 2000.

PIRES, L.C. *et al.* Growth curve of Repartida goatsreared in the Caatinga region, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.2, p.1041-1049, 2017.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botanic**, v.10, p.290-300, 1959.

RAMOS, J.P.F. *et al.* Desempenho e estimativa do custo da produção de caprinos e ovinos terminados em confinamento. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.31, p.102-108, 2010.

RIBEIRO, T.D. *et al.* Description of the growth of pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, n.4, e-949, 2018.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v.10, p.290-300, 1959.

SANTOS, A.L.P. *et al.* Method to generate growth and degrowth models obtained from differential equations applied to agrarian sciences. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.6, p. 2659-2672, 2018.

SANTOS, F.C.B. *et al.* Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.9, n.1, p.142-149, 2005.

SARMENTO, J.L.R. *et al.* Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.435-442, 2006.

SAVAGEAU, M.A. Growth equations: A general equation and a survey of special cases. **Mathematical Biosciences**, v.48, n.3, p.267-278, 1980.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistics**, v.6, p.461-464, 1978.

SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA, A.I.G. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.5, p.1195-1205, 2001.

SILVA, F.L. *et al.* Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p.262-271, 2011.

SILVA, F.F. *et al.* Genome association study through nonlinear mixed models revealed new candidate for pig growth curves. **Scientia Agricola**, v.74, n.1, p.1-7, 2016.

SILVA, N.A.M. *et al.* Modelo hierárquico bayesiano aplicado na avaliação genética de curvas de crescimento de bovinos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.2, p.647-654, 2010.

SILVA, N.A.M. *et al.* Seleção e classificação multivariada de modelos de crescimento não lineares para bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.2, p.364-371, 2011.

SILVA, R.A.B. *et al.* Caracterização zoonosológica da ovinocultura e da caprinocultura na microrregião homogênea de Teresina, Piauí, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.78, n.4, p.593-598, 2011.

SILVESTRE, E.A. **Caracterização genética de caprinos da raça Anglonubiana no Centro Norte do Piauí**. 2012. 53f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SOUZA, L.A. *et al.* Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, p.671-676, 2010a.

SOUZA, L.A. *et al.* Traditional and alternative nonlinear models for estimating the growth of Morada Nova sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, p.651-655, 2013.

SOUZA, M.F.S. *et al.* Characterisation of goat product consumers and goat farming systems in the Brazilian Northeast region. **Small Ruminant Research**, v.179, p.7-13, 2019.

TEDESCHI, L.O. *et al.* Estudo da curva de crescimento de animais da raça Guzera e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. Análise e Seleção das Funções Não - Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.630-637, 2000.

TEIXEIRA NETO, M.R. *et al.* Descrição do crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos não-lineares selecionados por análise multivariada. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.17, n.1, p.26-36, 2016.

TELEKEN, J.T.; GALVÃO, A.C.; ROBAZZA, W.S. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. **Acta scientiarum. Animal sciences**, v.39, p.73-81, 2017.

TLAPA, R.C. *et al.* Modelos matemáticos en la evaluación del crecimiento de vaquillas cruzadas en clima cálido húmedo y su caracterización productiva a primera gestación. **XXI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y I del Trópico Mexicano**. 2008. Disponível em: <<https://cutt.ly/Jl2Ndx1>> Acesso em: 24 jan. 2021.

VELOSO, R.C. *et al.* Seleção e classificação multivariada de modelos não lineares para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, n.1, p.191-200, 2016.

VIEIRA, M.I. **Criação de cabras: técnica, prática e lucrativa**. São Paulo: Prata Editora e Distribuidora, 1995, 73p.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws for metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, p.217-231, 1957.

CAPÍTULO 2¹
MODELOS NÃO LINEARES MISTOS PARA DESCRIÇÃO DA TRAJETÓRIA DE
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA MANEJADOS EM
CLIMA TROPICAL

¹ Este capítulo é corresponde a um manuscrito integrante desta dissertação, o qual será submetido onforme as normas da revista *Small Ruminant Research*, onde sua redação e edição seguirão as normas adequadas: <https://www.sciencedirect.com/journal/small-ruminant-research>.

Modelos não lineares mistos para descrição da trajetória de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana manejados em clima tropical

Anna Karoline de Sousa Santos^{a*}, Gleyson Vieira dos Santos^b, Natanael Pereira da Silva Santos^c

^aDiscente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí – UFPI

^bUniversidade Estadual do Piauí – UESPI, *Campus* Corrente-PI.

^cCentro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Piauí – UFPI

*Autor correspondente.

Endereços de e-mail: anna_karoline22@hotmail.com; dayanecastro19@outlook.com; gleyson.vieira@yahoo.com; natanael@ufpi.edu.br.

Destaques

- Modelos não lineares mistos permite uma avaliação e estimativas mais precisas das funções de crescimento animal quando comparado aos modelos de efeitos fixos.
- A incorporação de efeitos aleatórios nos parâmetros peso assintótico, taxa de maturidade melhorou a qualidade de ajuste em relação a modelos fixos.
- O modelo de Von Bertalanffy foi o mais adequado segundo os critérios de AIC, BIC e σ_e^2 .

Resumo - A aplicação dos modelos não lineares mistos no estudo de curvas de crescimento, tem permitido uma estimação mais precisa das funções do crescimento dos animais quando comparado aos modelos tradicionais de efeitos fixos. Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa avaliar modelos de regressão não lineares, com enfoque em modelos mistos, para descrever a trajetória do crescimento caprinos da raça Anglonubiana, com base em registros do peso vivo do nascimento ao desmame (120 dias). Os dados utilizados nessa pesquisa foram provenientes de 385 caprinos da raça Anglonubiana, pertencentes ao rebanho experimental da Universidade Federal do Piauí, localizado em Teresina, entre os anos de 2010 a 2014. Foram ajustados os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Meloun I com e sem a incorporação de efeitos aleatórios para estimar o crescimento do animal e os parâmetros da curva. Os modelos com inclusão de efeito aleatório em A e k forneceram os melhores resultados de acordo com os critérios avaliados. A taxas de crescimento absoluto (TCA) ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$) com o aumento do peso corporal, o peso à inflexão (PI) ocorreu em 5,67 kg e a idade à inflexão em 14

36 dias, que se referem a uma taxa de crescimento absoluto máximo de 0,13 kg.dia⁻¹. Em relação
37 às fêmeas avaliadas, o PI ocorreu aos 5,03 kg e a idade à inflexão aos 9 dias, com uma taxa de
38 crescimento máximo de 0,10 kg.dia⁻¹. O modelo de Von Bertalanffy foi o mais adequado
39 segundo os critérios de qualidade AIC, BIC e σ_e^2 .

40

41 **Palavras-chave:** caprinocultura; curvas de crescimento; efeitos aleatórios, modelos de
42 regressão

43

44

45 **Non-linear mixed models to describe the growth trajectory of Anglonubian goats**
46 **managed in a tropical climate**

47

48 **Abstract** - The application of two mixed non-linear models to the study of growth curves
49 allowed a more precise estimate of the growth functions of two animals when compared to the
50 traditional models of fixed effects. Beforehand, this research aims to evaluate non-linear
51 regression models, with a focus on mixed models, to discover the growth trajectory of
52 Anglonubian goats, based on live weight records from birth to weaning (120 days). The data
53 used in the research are from 385 goats of the Anglonubian breed, belonging to the experimental
54 herd of the Federal University of Piauí, located in Teresina, between the years of 2010 to 2014.
55 Foram adjusted the models Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz and Meloun I with
56 and without the incorporation of random effects to estimate the growth of the animal and the
57 parameters of the curve. The models with the inclusion of random effects in A and k provide
58 the best results according to the evaluated criteria. At absolute growth rates (TCA) (kg.day⁻¹)
59 with the increase in body weight, or weight at inflection (PI) it was 5.67 kg and the age at
60 inflection in 14 days, which refers to a taxa of maximum absolute growth of 0.13 kg.day⁻¹.
61 Regarding the evaluated females, the PI was 5.03 kg and the inflection age was 9 days, with a
62 maximum growth rate of 0.10 kg.day⁻¹. The Von Bertalanffy model was the most adequate
63 according to the quality criteria AIC, BIC and σ_e^2 .

64

65

66

67

68

1. INTRODUÇÃO

69

70 A caprinocultura apresenta-se como uma das alternativas para gerar crescimento
71 socioeconômico no Brasil, principalmente na região Nordeste, onde esses animais são expostos
72 ao ambiente hostil devido à capacidade das cabras de manter produção sob condições
73 ambientais extremas (Darcan; Silanikove, 2018). Além disso, a produção de caprinos vem se
74 caracterizando como atividade de grande importância tanto para a produção de carne e leite,
75 quanto para subsistência e/ou comercialização dos seus produtos (Silva; Araújo, 2000;
76 Menezes, 2015).

77 A região nordeste concentra 95,0% do rebanho brasileiro alcançando cerca de
78 11.498.124 de cabeças concentrando 95,0% do rebanho nacional e o Estado do Piauí se destaca
79 com 15,8%, correspondendo a 1.914.146 do efetivo (IBGE, 2021).

80 O crescimento da produtividade de caprinos no Brasil pode ser amparado por programas
81 de melhoramento genético abalizado na seleção e multiplicação rápida de animais
82 geneticamente superiores, com apoio a esses programas os estudos que descrevem o
83 crescimento dos animais podem auxiliar na tomada de decisões relacionadas a qualidade da
84 resposta produtiva do animal (Sousa, 2004, Figueiredo Filho *et al.*, 2012).

85 O crescimento é uma das características mais importantes utilizadas para avaliação da
86 produção animal. A baixa taxa de crescimento pode resultar em baixo peso em certa idade ou
87 atraso no abate, o que resultam em animais com baixo ou nenhum valor de mercado (Hashimoto
88 *et al.*, 2012; Osório *et al.*, 2014). Por esses motivos, estudos com foco no crescimento de
89 animais e utilização de métodos robustos aumentam significativamente os ganhos produtivos.

90 Frente às dificuldades de execução dos processos para o aprimoramento da
91 caprinocultura, informações de crescimento permitem que produtores tomem decisões para
92 aperfeiçoar a produção de carne, tais como definir a idade ótima de abate e a velocidade com
93 que os indivíduos crescem, de forma a atender as exigências dos animais em cada etapa do seu
94 desenvolvimento. Dessa forma, modelos de regressão não linear podem ser utilizadas para
95 descrever o crescimento do animal ao longo do tempo. Esses modelos permitem que conjuntos
96 de informações em séries de peso por idade sejam condensados em pequeno número de
97 parâmetros para facilitar a interpretação e o entendimento do fenômeno (Oliveira *et al.*, 2000),
98 além de considerarem fatores fixos e aleatórios e a variabilidade entre e dentro de indivíduos,
99 tendo grande aplicação prática para identificação de animais mais eficientes (Godoy; Nunes,
100 2020; Medeiros *et. al*, 2020).

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar modelos de regressão não lineares, com enfoque em modelos mistos, para descrever a trajetória do crescimento caprinos da raça Anglonubiana, com base em registros do peso vivo do nascimento ao desmame (120 dias).

2. MATERIAL E MÉTODOS

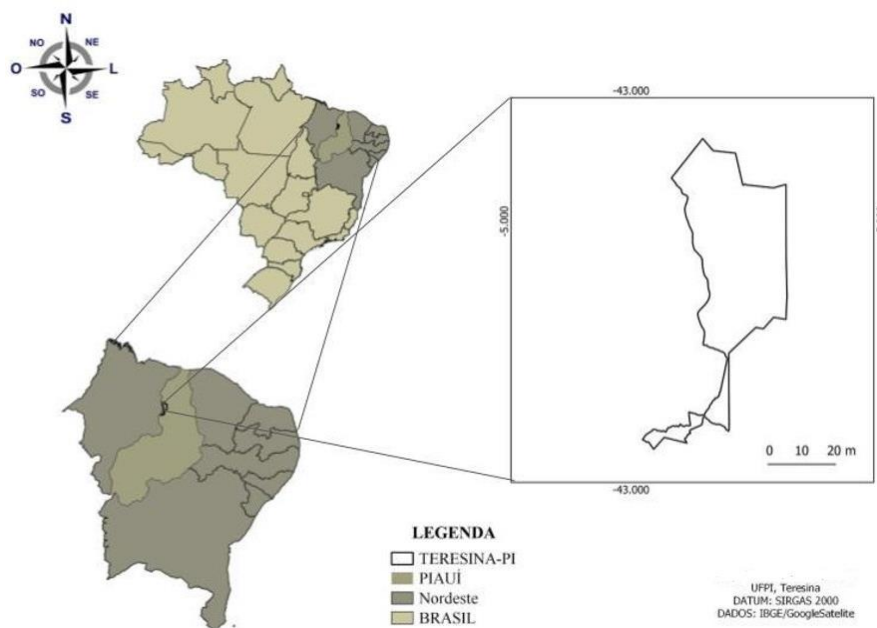
2.1 Considerações éticas

Esta pesquisa foi cadastrada e possui autorização do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) no âmbito da Universidade Federal do Piauí, sob processo cadastrado com N° 489/18.

2.2 Animais, localização, descrição dos dados e manejo

As informações usadas para a execução desta pesquisa fazem parte do banco de dados de animais da raça Anglonubiana. Foram utilizados dados provenientes de 385 caprinos da raça Anglonubiana, nascidos entre os anos de 2010 a 2014. Os animais pertencem ao rebanho experimental da Universidade Federal do Piauí, localizado em Teresina² no Estado do Piauí (Figura 1).

Figura 1. Localização do rebanho experimental de caprinos da raça Anglonubiana pertencente a Universidade Federal do Piauí (UFPI), localizado em Teresina - PI



Fonte: elaborado pela autora (2022).

118

² Coordenadas geográficas: 5°3'27"S e 42°47'50"W

119
120 Os animais participantes deste experimento foram manejados em sistema de criação
121 semi-intensivo, onde a prole acompanhava as mães ao pasto quando completaram 30 dias de
122 idade em uma área formada por vegetação nativa consorciada com gramíneas cultivadas, onde
123 predominava o *Andropogon* (*Andropogon gayanus*), Tanzânia (*Panicum maximum*) para
124 pisoteio, bem como capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) usado como volumoso e
125 Tifton-85 (*Cynodon* spp) sob forma de feno.

126 Foram fornecidas complementação alimentar durante a lactação e em períodos de
127 estiagem, utilizando em média 300g por animal de ração comercial (16% de proteína bruta).
128 Além de serem disponibilizados sal mineral e água no aprisco, para onde os animais eram
129 recolhidos no final do dia.

130 O controle sanitário é realizado de maneira sistemática, através de vacinações e combate
131 aos endo e ectoparasitas; tratamentos contra linfadenite caseosa e do ectima contagioso são
132 adotados quando constatadas as ocorrências no rebanho. Eram realizadas aplicações de um anti-
133 helmíntico quando 10% das cabras apresentaram contagem de ovos por grama de fezes (OPG)
134 superior a 1000, de acordo com Costa et al. (2011); e rotação de um princípio ativo a cada dois
135 anos.

136

137 **2. 3 Análise estatística**

138 Os animais dos rebanhos foram pesados periodicamente, do nascimento até 120 dias de
139 vida, correspondendo até 13 medidas em cada animal. Foram ajustados os modelos Brody, Von
140 Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Meloun¹ para estimar o crescimento do animal e os
141 parâmetros da curva (Tabela 1), sendo: Y_i representa o peso corporal à idade t ; A representa o
142 peso assintótico, que é interpretado como peso à idade adulta; B , uma constante de integração,
143 relacionada aos pesos iniciais do animal; k , que é interpretado como taxa de maturação, que
144 deve ser entendida como a mudança de peso em relação ao peso à maturidade, em outros termos,
145 como indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto; e, m é o
146 parâmetro que dá forma à curva, e conseqüentemente determina em que proporção do valor
147 assintótico (A) ocorre o ponto de inflexão da curva.

148

149

150

151

152

153 **Tabela 1.** Modelos de regressão não linear com diferentes efeitos empregados na descrição na
 154 descrição da trajetória do crescimento de caprinos da raça Anglonubiana

MODELOS	ID	EFEITO ALEATÓRIO	EQUAÇÃO
Brody	I	–	$y_i = A(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$
	II	A	$y_i = (A + u_1)(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$
	III	k	$y_i = A(1 - Be^{-(k+u_2)t}) + \varepsilon$
	IV	A e k	$y_i = (A + u_1)(1 - Be^{-(k+u_2)t}) + \varepsilon$
Logístico	I	–	$y_i = A(1 + Be^{-kt})^{-1} + \varepsilon$
	II	A	$y_i = A(1 + u_1)(1 + Be^{-kt})^{-1} + \varepsilon$
	III	k	$y_i = A(1 + Be^{-(k+u_2)t})^{-1} + \varepsilon$
	IV	A e k	$y_i = A(1 + u_1)(1 + Be^{-(k+u_2)t})^{-1} + \varepsilon$
Von Bertalanffy	I	–	$y_i = A(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$
	II	A	$y_i = A(1 + u_1)(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$
	III	k	$y_i = A(1 - Be^{-(k+u_2)t})^3 + \varepsilon$
	IV	A e k	$y_i = (A + u_1)(1 - Be^{-(k+u_2)t})^3 + \varepsilon$
Gompertz	I	–	$y_i = Ae^{-e^{-B(kt)}} + \varepsilon$
	II	A	$y_i = (A + u_1)e^{-e^{-B(kt)}} + \varepsilon$
	III	k	$y_i = Ae^{-e^{-B[(k+u_2)t]}} + \varepsilon$
	IV	A e k	$y_i = (A + u_1)e^{-e^{-B[(k+u_2)t]}} + \varepsilon$
Meloun I	I	–	$y_i = A - Be^{-kt} + \varepsilon$
	II	A	$y_i = (A + u_1) - Be^{-kt} + \varepsilon$
	III	k	$y_i = A - Be^{-(k+u_2)t} + \varepsilon$
	IV	A e k	$y_i = (A + u_1) - Be^{-(k+u_2)t} + \varepsilon$

155 Fonte: elaborada pela autora (2022). Abreviações: Y_i , = observação do animal i avaliado na idade t ; A = peso
 156 assintótico ou peso médio à maturidade; B = constante de integração; k = taxa de maturidade; ε = erro associado
 157 as observações; u_1 e u_2 = efeitos aleatórios associados a A e k , respectivamente.

158
159

160 Para verificar o ajuste dos modelos de regressão não linear, foram utilizados os critérios
 161 de informação de Akaike (AIC), expresso por $AIC = -\log(L) + 2p$, em que $\log(L)$ é o
 162 logaritmo da função de máxima verossimilhança da função densidade de probabilidade; p é o
 163 número de parâmetros a serem estimados e Bayesiano de Schwarz (BIC), dado por
 164 $BIC = -2\log(L) + p\log(n)$, em que (n) é número de observações da amostra. Esses critérios

165 utilizam a análise de independência residual e o grau de parametrização para definição do
166 modelo mais ajustado.

167 Foram considerados dois parâmetros que admitem interpretação biológica (A e k),
168 individualmente ou combinados. Nesta etapa foram utilizados os critérios para determinar o
169 melhor modelo, sendo estes os critérios de AIC, BIC, e a variância residual (σ_e^2). Todas as
170 análises foram realizadas usando o software SAS (SAS, 2015). Os gráficos de predição e curvas
171 simuladas produzidas com o modelo ajustado também foram examinadas e serviram como
172 critério de escolha do modelo. Foi utilizado o procedimento não linear NLIN correspondente
173 ao modelo de crescimento de efeitos fixos, para determinar os parâmetros iniciais para o
174 processamento do procedimento NLMIXED. Posteriormente, uma segunda estimativa foi feita
175 com o modelo de efeitos mistos usando esse procedimento para ambos os sexos, que leva em
176 consideração o efeito aleatório associado aos indivíduos.

177 No contexto de modelos mistos, considerando y_{ij} como a medida j (peso vivo) do
178 indivíduo i e t_{ij} como a idade desse animal (dias), o modelo de regressão tem resíduos que
179 seguem uma distribuição normal, com média zero e variância constante σ_e^2 . Os parâmetros A e
180 k foram considerados aleatórios, com distribuição normal, enquanto B foi considerado um
181 parâmetro fixo. As observações (y_{ij}) são independentes em relação ao índice i , mas não em
182 relação a j , pois na fixação de i , as medidas (y_{ij}) são feitas longitudinalmente para um único
183 animal. Portanto, é necessário incluir componentes de variância intraindividual no modelo.

184 Considerando $A_i \sim N(A; \sigma_a^2)$ e $K_i \sim N(K; \sigma_k^2)$, em que σ_a^2 e σ_k^2 são componentes de
185 variâncias dos parâmetros A e k. Sendo $M = (A_i; K_i)$ um vetor de efeitos aleatórios e $N' =$
186 $(A, B, K; \sigma_e^2)$ um vetor de efeitos fixos, tem-se que $f(y_i | t_i, N, M_i) \omega(M_i; \Sigma)$ é a função de
187 densidade de probabilidade conjunta, onde $y'_i = (y_{i1}; y_{i2}; \dots; y_{ij})$, $t'_i =$
188 $(t_{i1}; t_{i2}; \dots; t_{ij})$, $\Sigma' = (\sigma_a^2; \sigma_k^2)$ e ω é a densidade conjunta de A_i e K_i . A função marginal
189 de verossimilhança é dada por $L(N; \Sigma) = \prod_{i=1}^n \int f(y_i | t_i, N, M_i) \omega(M_i; \Sigma) dM_i$.

190 Estimadores para os parâmetros em N e Σ são obtidos maximizando $L(N; \Sigma)$ em relação
191 a estas quantidades. O procedimento PROC NLMIXED do programa SAS (2015) minimiza
192 numericamente $-L(N; \Sigma)$ em relação aos parâmetros N e Σ , sendo a matriz de variância e
193 covariâncias é aproximada dos estimadores obtidos pelo inverso da matriz Hessiana.

194 Para a análise conjunta, considerando simultaneamente os dois parâmetros, A e K como
195 aleatórios no modelo, as pressuposições acerca desses parâmetros são descritas como
196 $[A_i K_i] \sim NM([A K], [\sigma_a^2 \sigma_{a,k} \sigma_{k,a} \sigma_k^2])$, em que $\sigma_{a,k} = \sigma_{k,a}$ é a covariância entre os parâmetros

197 A e k. Para explorar quais dos parâmetros do modelo incluem o efeito do gênero (sexo),
198 geramos estatísticas univariadas das estimativas dos parâmetros por gênero.

199 Para a interpretabilidade biológica das estimativas dos parâmetros foram calculadas a
200 taxa de crescimento absoluto (TCA) e o ponto de inflexão (PI) para o modelo selecionado. A
201 TCA foi obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo ∂_y/∂_t .
202 A TCA estima o aumento no peso do animal para cada unidade de tempo t (dias ou meses) na
203 trajetória de crescimento, isto é, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população
204 de caprinos da raça Anglonubiana. Quanto ao PI, este indica o ponto onde a taxa de crescimento
205 corporal do animal é máxima, ou seja, o ponto em que o crescimento passa de uma fase
206 acelerada para uma fase mais lenta.

207

208

209 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

210 3.1 Análise estatística descritiva

211 O número de animais usados juntamente com as estimativas de médias e desvio padrão
212 dos pesos corporais do nascimento aos 120 dias de idade, por sexo, pode ser observados na
213 Tabela 2.

214

215 **Tabela 2.** Estatística descritiva dos dados de crescimento para característica de peso vivo em
216 caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade

IDADE	N	PESO MÉDIO*	MIN.	MÁX.	MACHO		FÊMEA	
					N	PESO**	N	PESO**
1	376	2,97 ± 0,62	1,50	5,00	177	3,09	199	2,84
7	376	3,99 ± 0,90	1,60	6,60	177	4,17	199	3,78
14	375	4,95 ± 1,12	2,50	8,50	177	5,18	198	4,70
21	375	5,76 ± 1,36	2,70	9,50	177	6,03	198	5,46
28	375	6,49 ± 1,53	3,00	11,00	177	6,79	198	6,15
35	375	7,15 ± 1,69	3,10	13,50	177	7,49	198	6,76
42	375	7,78 ± 1,84	3,20	16,90	177	8,16	198	7,36
56	372	8,89 ± 2,22	3,30	17,90	175	9,29	197	8,44
70	371	10,07 ± 2,53	4,00	18,50	175	10,56	196	9,52
84	371	11,23	4,50	20,40	175	11,85	196	10,54
98	371	12,20	4,50	22,00	175	12,87	196	11,44
112	371	13,17	5,70	23,00	175	13,86	196	12,39
120	370	14,08	6,10	25,00	174	14,79	196	13,28

217 Fonte: elaborada pela autora (2022). Abreviações: N = tamanho efetivo de caprinos; * = peso médio do tamanho
218 efetivo, em kg (*quilos*); MÍN. = mínimo, em kg; MÁX. = máximo, em kg; ** = peso médio de cada sexo, em
219 kg.

220

221 A utilização dos critérios para comparar os modelos quanto às curvas de crescimento e
 222 as estimativas dos parâmetros para todos os modelos estão apresentados na Tabela 3.

223 **Tabela 3.** Critérios de seleção de modelo de regressão não linear com e sem efeito aleatório em
 224 para característica de crescimento do nascimento aos 120 dias de idade em caprinos da raça
 225 Anglonubiana

MODELOS	ID	EFEITO ALEATÓRIO	CRITÉRIOS DE AJUSTE DO MODELO				
			AIC	MELHORIA %	BIC	MELHORIA %	σ_e^2
Brody	I	–	21615	–	21661	–	5,0192
	II	A	14503	32,9	14535	32,9	0,8393
	IV	k	14145	34,6	14177	34,6	0,7737
	IV	A e k	14062	34,9	14101	34,9	0,4562
Logístico	I	–	21699	–	21744	–	5,1061
	II	A	15008	30,8	15039	30,8	0,9393
	IV	K	14929	31,2	14961	31,2	0,9030
	IV	A e k	14141	34,8	14180	34,8	0,6062
Von Bertalanffy	I	–	21640	–	21686	–	5,0449
	II	A	14656	32,3	14687	32,3	0,8683
	IV	K	14400	33,5	14431	33,5	0,8156
	IV	A e k	13336	38,4	13375	38,3	0,4484
Gompertz	I	–	21654	–	21700	–	5,0596
	II	A	14742	31,9	14774	31,9	0,8851
	IV	K	14537	32,9	14568	32,9	0,8381
	IV	A e k	13347	38,4	13386	38,3	0,4438
Meloun I	I	–	21615	–	21661	–	5,0192
	II	A	17960	16,9	17991	16,9	1,8536
	IV	K	14145	34,6	14177	34,6	0,7737
	IV	A e k	18385	14,9	18424	14,9	1,6673

226 Fonte: elaborada pela autora (2022). Abreviações: ID = identificador; AIC = Critério de Informação de Akaike;
 227 BIC = Critério de Informação Bayesiano de Schwarz; Redução% = Melhoria percentual do ajuste do modelo com
 228 inclusão do efeito aleatório em função do modelo apenas com efeito fixo; σ_e^2 = estimativa do componente de
 229 variância residual; A = peso assintótico ou peso médio à maturidade; B = constante de integração; k = taxa de
 230 maturação.

231

232 O modelo é selecionado de maneira subjetiva, não havendo um modelo verdadeiro, mas
 233 apresentando valores que se aproximam da realidade em estudo. A melhor opção é elegida de
 234 acordo com os critérios do pesquisador. Contudo os critérios utilizados como qualidade de
 235 ajuste, parâmetros e a representatividade dos dados devem ser considerados para decidir o
 236 modelo que melhor se ajusta.

237 Ao avaliar os modelos não lineares para descrever os dados, principiou-se com modelos
 238 que continha apenas um efeito aleatório, e em seguida aumentou-se a quantidade de parâmetros
 239 que também tivessem os mesmos efeitos aleatórios. A intenção desta ótica abordada não era

240 apenas examinar a mudança no ajuste do modelo com a introdução de efeitos aleatórios
241 adicionais, mas também resolver as questões técnicas, enquanto permite que a complexidade
242 do modelo aumente.

243 Foi observado que todos os modelos avaliados obtiveram convergência (Tabela 3). A
244 comparação dos modelos não lineares foi com base na qualidade de ajuste do melhor modelo
245 que descrevesse a curva de crescimento adequado, e nas dificuldades computacionais.

246 O AIC permite que os modelos sejam penalizados de acordo com o número de
247 parâmetros para satisfazer o critério de parcimônia. Na verdade, este critério é uma função
248 decrescente da probabilidade do modelo e aumento do número de parâmetros no modelo.
249 Dentro de um conjunto de modelos, considera-se que aquele com o menor AIC apresente o
250 melhor compromisso entre ajuste do modelo aos dados (alta verossimilhança) e parcimônia do
251 modelo (baixo número de parâmetros). Em outras palavras, o critério mínimo de AIC seleciona
252 um modelo que explica os dados relativamente bem com um número relativamente pequeno de
253 parâmetros.

254 Todos os modelos com inclusão de efeito aleatório em A e k forneceram os melhores
255 resultados no que diz respeito aos critérios de qualidade de ajuste AIC e BIC, sempre com
256 maiores reduções quando os dois efeitos se apresentam juntos no modelo, exceto para o modelo
257 Meloun I. Os resultados deste tipo de comparação são dependentes do conjunto de dados usado,
258 o que permite concluir que não existe um modelo uniformemente superior, mas sim um
259 adequado a cada situação. O modelo de Von Bertalanffy parece ser o mais adequado, de acordo
260 com os critérios de AIC, BIC e σ_e^2 .

261 Estimativas dos parâmetros fixos e aleatórios da curva de crescimento ponderal de
262 caprinos da raça Anglonubiana são observados na Tabela 4.

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275 **Tabela 4.** Estimativas dos parâmetros fixos e aleatórios da curva de crescimento ponderal de
 276 caprinos da raça Anglonubiana de acordo com o modelo acordo com o modelo de Von
 277 Bertalanffy

ID	PARÂMETROS		ESTIMATIVA	EP	INTERVALO DE CONFIANÇA WALD 95%	
	FIXO	ALEATÓRIO			INFERIOR	SUPERIOR
MODELO DE VON BERTALANFFY IV	A	–	17,3471 *	1,1217	15,1415	19,5528
	$A_{Sexo; macho}$	–	19,1675 *	0,5685	17,0834	21,2517
	$A_{Sexo; fêmea}$	–	15,5268 *	0,7811	13,9910	17,0626
	$A_{Sexo; macho-f}$	–	3,6408 *	1,0523	2,5715	4,7100
	B	–	0,3923 *	0,0123	0,3581	0,4366
	$B_{Sexo; macho}$	–	0,4117 *	0,0152	0,4018	0,4617
	$B_{Sexo; fêmea}$	–	0,3829 *	0,0118	0,3597	0,4062
	$B_{Sexo; macho-f}$	–	0,0288 *	0,0115	0,0160	0,1215
	k	–	0,01497 *	0,0001	0,0110	0,0189
	$k_{Sexo; macho}$	–	0,01410 ns	0,0001	0,0029	0,0421
	$k_{Sexo; fêmea}$	–	0,01491 ns	0,0002	0,0021	0,0453
	$k_{Sexo; macho-f}$	–	-0,0008 ns	0,0002	-0,0002	0,0004
	–	σ_a^2	25,1539 *	3,6714	17,9348	32,3730
	–	$\sigma_{a,k}$	-0,0415 *	0,0062	-0,0537	-0,0292
	–	σ_k^2	0,00020 *	0,0001	0,0001	0,0002
	–	σ_e^2	0,4484 *	0,01	0,4287	0,4681

278 Fonte: elaborada pela autora (2022). Abreviações: A = peso assintótico ou peso médio à maturidade; B = constante
 279 de integração; k, taxa de maturação; σ_a^2 , = estimativa da variância do peso assintótico; σ_k^2 , = estimativa da variância
 280 da taxa de maturação; $\sigma_{a,k}$, = estimativa da covariância entre peso assintótico e taxa de maturação; σ_e^2 , estimativa
 281 do componente de variância residual; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns = não significativo; ER
 282 = erro padrão
 283

284 Esses resultados (Tabela 4) mostram que a inclusão do efeito fixo de sexo no modelo
 285 permite uma descrição mais adequada do crescimento animal, onde o maior e o menor peso
 286 assintótico estimados para machos e fêmeas, respectivamente, foram observados com o modelo
 287 de Von Bertalanffy IV.

288 Os parâmetros A, B e k mostraram-se significativos ($p < 0,05$), assim como as variâncias
 289 (σ_a^2 , σ_k^2 e σ_e^2) e covariância ($\sigma_{a,k}$). Isso implica dizer, que além das estimativas dos termos de

290 variância serem altamente significativas, pode-se inferir que existe uma alta variabilidade entre
 291 indivíduos nos parâmetros A e k.

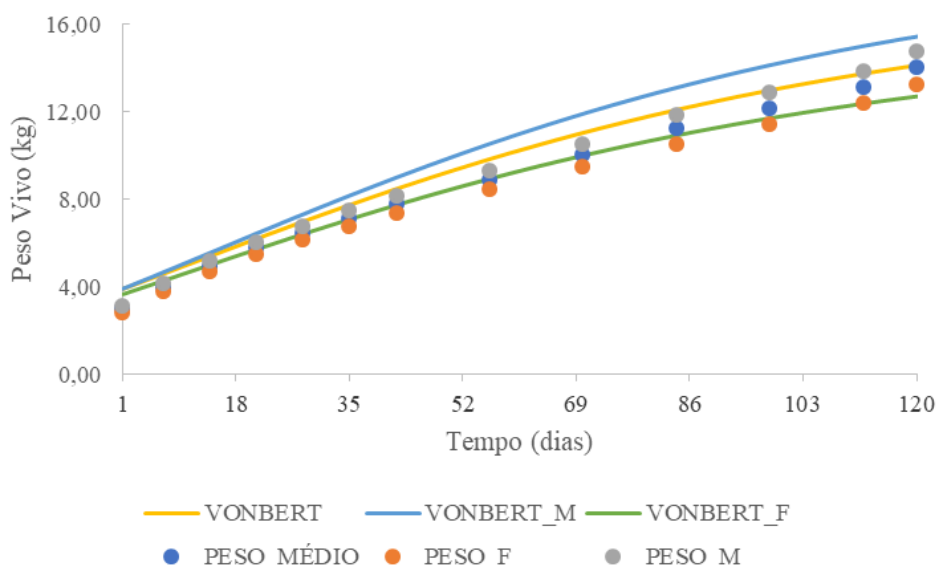
292 O efeito do sexo apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) somente para os parâmetros A
 293 e B (Tabela 4). Já o parâmetro k não apresentou significância, ou seja, vale destacar que este
 294 parâmetro: **(i)** é a inclinação da curva de crescimento; **(ii)** representa a taxa de maturação pós-
 295 natal; e **(iii)** por possuir um grande valor numérico indica que o animal pode atingir o peso
 296 adulto em uma idade jovem.

297 Dessa forma, os resultados concordam com a percepção de senso comum de que o peso
 298 dos animais à maturidade em média ($A = 17,35$ kg) é maior em machos ($A_{Sexo; macho} = 19,17$
 299 kg) do que observadas em fêmeas ($A_{Sexo; fêmea} = 15,53$ kg). Os parâmetros $k_{Sexo; macho}$ e
 300 $k_{Sexo; fêmea}$ obtiveram estatisticamente as mesmas médias e erros padrão, conseqüentemente
 301 não têm efeitos de gênero. A diferença entre machos e fêmeas à maturidade foi estimada em
 302 3,64 kg com IC de 95% (2,57 a 4,71 kg).

303 Para as trajetórias de crescimento "médio" para machos e fêmeas, as curvas com um
 304 vetor de parâmetros (A, B e k) igual às estimativas ($VONBERT_M = A_{Sexo; macho}; B_{Sexo; macho}$
 305 e k) e ($VONBERT_F = A_{Sexo; fêmea}; B_{Sexo; fêmea}$ e k), respectivamente, sobrepostas com a
 306 média dos valores das medidas de peso para as idades (PESO_M; PESO_F e PESO_MÉDIO)
 307 são apresentados na Figura 2.

308

Figura 2. Estimativa dos pesos corporais em função da idade, ajustado pelo modelo não linear misto Von Bertalanffy, em caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

309

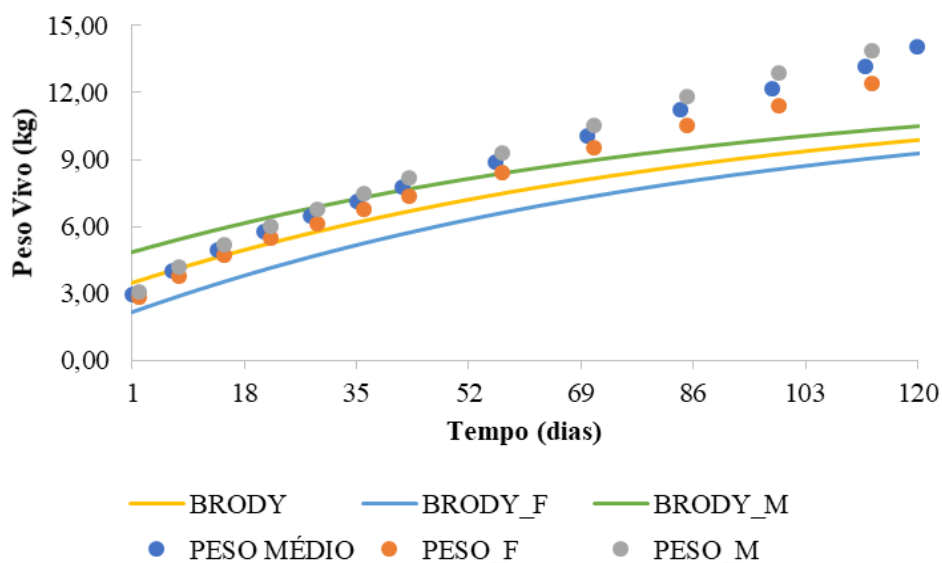
310 Como o período de modelagens conduziu-se a um período de apenas 120 dias, não foi
 311 possível capturar totalmente a curvatura. Entretanto, houve a possibilidade de caracterizar a
 312 tendência geral, em outras palavras, as curvas obtiveram concordâncias com as médias mensais,
 313 embora não se levou em consideração a correlação entre as medidas de um mesmo animal.

314 Apesar da linearidade (Figura 2) decorrente do tempo de análise dos animais, o ajuste
 315 de modelos não lineares é válido por permitir uma melhor interpretação do crescimento. Isso se
 316 deve ao fato de que seus parâmetros condensem informações importantes, tais como,
 317 precocidade e peso à maturidade; as quais não seriam possíveis de serem obtidas por um simples
 318 ajuste de regressão linear.

319 Como critério de seleção do modelo utilizou-se a visualização gráfica. Assim, para
 320 comparação foi plotado um gráfico obtido a partir do modelo não linear Brody (Figura 3).

321

Figura 3. Estimativa dos pesos corporais em função da idade, ajustado pelo modelo não linear misto Brody em caprinos (machos e fêmeas) da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de idade.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

322

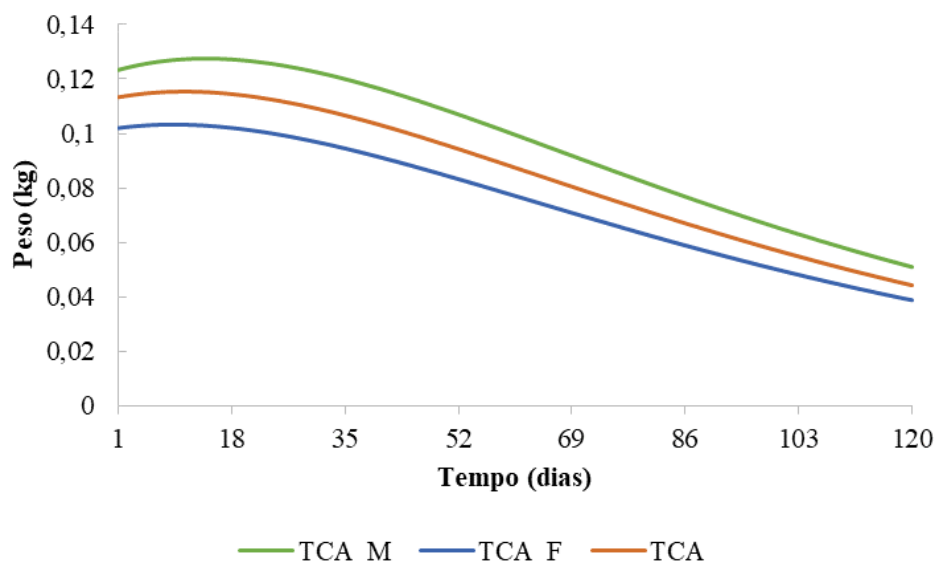
323 Observa-se que este modelo (2º melhor) não estima corretamente os pesos ao nascer e
 324 subestima todos os pesos aos 120 dias, possivelmente por baixos valores observados nas
 325 estimativas dos parâmetros A e k.

326 A Figura 4 ilustra o comportamento das taxas de crescimento absoluto ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$) com o
 327 aumento do peso corporal.

328

329

Figura 4. TCA de caprinos da raça Anglonubiana do nascimento aos 120 dias de vida.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

330

331 Neste presente estudo, o PI observados em machos ocorreu aos 14 dias de idade com
 332 peso de 5,67 kg, ao que se atribui a uma TCA máxima de 0,13 kg.dia⁻¹. Já em relação as fêmeas,
 333 o PI ocorreu aos 5,03 kg com idade à inflexão aos 9 dias, e uma TCA máxima de 0,10 kg.dia⁻¹.

334 Os machos apresentaram-se mais pesados em relação às fêmeas com avanço da idade
 335 (Tabela 1). Diversos autores verificaram a influência do sexo sobre os pesos de caprinos,
 336 apontando geralmente superioridade dos machos em relação às fêmeas em diferentes idades e
 337 grupos raciais (Medeiros *et al.*, 2005; Menezes *et al.*, 2007; Figueiredo Filho *et al.* 2012; Pereira
 338 Junior *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2018). A superioridade dos pesos dos machos pode estar
 339 associada ao efeito anabólico dos hormônios sexuais secretados ainda durante a vida fetal; e
 340 como consequência cooperando para que animais machos possam absorver mais nutrientes da
 341 mãe durante o desenvolvimento pré-natal (Medeiros *et al.*, 2012).

342

343 **3.2 Comparação entre os modelos**

344 A qualidade de ajuste é frequentemente usada para a escolha do melhor modelo (Silveira
 345 *et al.*, 2010 *apud* Silveira *et al.*, 2011). O modelo de Von Bertalanffy apresentou (Tabela 4)
 346 pequena superioridade em relação aos demais, constatado a partir dos menores valores dos
 347 critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiana (BIC) e, estimativa do componente de
 348 variância residual (σ_e^2). O uso desses critérios de qualidade permite chegar a conclusões mais
 349 precisas, visto que levam em consideração fatores como o grau de parametrização dos modelos
 350 comparados, além de permitirem comparações entre modelos não aninhados e até mesmo

351 impondo penalidades de acordo com o número de parâmetros a serem estimados (Sousa *et al.*,
352 2010; Emiliano; Vivanco; Menezes 2014).

353 A estimativa do peso assintótico é representada pelo parâmetro A, o mesmo pode ser
354 interpretado como peso adulto ou maduro. A definição de um ótimo peso adulto apresenta
355 controvérsias, que irá depender tanto da espécie, com da raça, método de seleção, sistema de
356 manejo e condições ambientais (Malhado, 2009 *apud* Sousa *et al.*, 2022). Esse parâmetro indica
357 o peso em que o animal pode atingir a maturidade, podendo ser utilizado na previsão de
358 resultados e planejamento das atividades de criação e reprodução dos animais (Teixeira *et al.*,
359 2012 *apud* Sousa *et al.*, 2022).

360 O parâmetro k , é interpretado como índice de maturidade ou de precocidade. Representa
361 a velocidade de crescimento para atingir o peso assintótico (na maturidade). Quanto maior o
362 valor do parâmetro k , maior a precocidade do animal (Teixeira *et al.*, 2012).

363 Modelos com inclusão de efeito aleatório em A e k forneceram os melhores resultados,
364 de acordo com os critérios de qualidade AIC E BIC. O efeito do sexo apresentou efeito
365 significativo ($p < 0,05$) somente para os parâmetros A e B (Tabela 4).

366 Estudo com ovinos da raça morada nova o efeito de sexo influenciou significativamente
367 ($p < 0,05$) o peso a maturidade A, obtendo as médias de 34,91 e 22,43 kg para machos e fêmeas,
368 respectivamente (Souza *et al.*, 2011). Resultados diferentes foram encontrados no trabalho de
369 Malhado *et al.* (2008a), onde observaram que o sexo do cordeiro não influenciou
370 significativamente ($P > 0,05$) os parâmetros (A e k) da função Logística. Estudos com ovinos da
371 raça Santa Inês para efeito do sexo foi significativo ($p < 0,05$) somente para os parâmetros A e k
372 (Sarmiento *et al.*, 2006). Oliveira *et al.* (2021) trabalhando com caprinos da raça Alpina não
373 encontrou significância ($p > 0,05$) para efeito do sexo (macho e fêmeas) para os parâmetros A,
374 B e k .

375 O modelo Von Bertalanffy foi selecionado para descrever a taxa de crescimento
376 absoluto (TCA) dos caprinos. A (TCA) foi obtida através da primeira derivada do modelo
377 supracitado em função do tempo (Figura 4). Existe um ponto da curva onde a TCA muda de
378 função crescente para decrescente, ocorrendo nesse ponto, uma maior taxa de crescimento
379 (BROWN *et al.*, 1976), e isso se refere ao ponto de inflexão (PI).

380 Alguns autores (Sarmiento *et al.*, 2006; Malhado *et al.* 2008b; Carneiro *et al.*, 2009;
381 Souza *et al.*, 2011; Pires, 2012; Cavalcante *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2021) trabalhando com
382 curvas de crescimento com pequenos ruminantes encontraram os seguintes TCA e PI: (i)
383 caprinos da raça Mambrina, TCA crescente para machos de $0,146 \text{ kg.dia}^{-1}$ aos 88 dias, e para
384 fêmeas de $0,127 \text{ kg.dia}^{-1}$ aos 72 dias; e um PI atingido com 100 dias de idade com peso de 15,1

385 kg para machos, e 83 dias de idade com peso de 9,9 kg para fêmeas; **(ii)** caprinos da raça Anglo-
386 Nubiana, TCA crescente até alcançar o máximo, aproximadamente $0,130 \text{ kg.dia}^{-1}$, e com PI
387 ocorrendo aos 71 dias de idade, com peso de aproximadamente 10,7 kg; **(iii)** ovinos da raça
388 Santa Inês, TCA também crescente até obter o máximo, em torno de $0,170 \text{ kg.dia}^{-1}$, com um PI
389 atingido aos 52 dias de idade com peso de 8,9 kg; **(iv)** caprinos da raça Alpina, TCA crescente
390 até atingir o máximo de aproximadamente $0,151 \text{ kg.dia}^{-1}$ aos 43 dias de idade, e um PI
391 registrado aos 61 dias de idade com peso de, aproximadamente, 9,3 kg; **(v)** ovinos da raça
392 Morada Nova, TCA atingindo $0,116 \text{ kg.dia}^{-1}$, e com PI ocorrendo aos 51 dias de idade com 11,5
393 kg; **(vi)** caprinos da raça Repartida, TCA com $0,9039 \text{ kg.dia}^{-1}$, e com um PI atingindo aos 70
394 dias de idade um peso de 11,88 kg; e **(vii)** caprinos SRD, TCA atingindo $0,100 \text{ kg.dia}^{-1}$, e um
395 PI aos 83 dias de idade com peso de 6,72 kg.

396

397

398

5. CONCLUSÃO

- 399 1. Todos os resultados justificam o uso de um modelo não linear misto com efeitos aleatórios
400 para os parâmetros A e k para caracterizar a trajetória de crescimento de caprinos do
401 nascimento aos 120 dias de idade (desmame).
- 402 2. O dimorfismo sexual é verificado e deve ser considerado no modelo de Von Bertalanffy
403 para os parâmetros A e B desde o nascimento até o desmame.

404

405

406

6. REFERÊNCIAS

407 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Diretoria de Pesquisas,
408 Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM, 2021.
409 Produção. Pecuária Municipal, 49, p.1-12, <http://www.sidra.ibge.gov.br> (acessado em
410 09 outubro de 2022).

411

412 Carneiro, P.L.S; Malhado, C.H.M.; Affonso, P.R.A.M.; Pereira, D.G., 2009. Curva de
413 crescimento em caprinos da raça Mambrina, criados na caatinga. Revista Brasileira
414 Saúde e Produção Animal, 10, 3, 536-545.

415

416 Cavalcante, D.H.; Campelo, J.E.G.; Sousa Junior, S.C.; Terto, G.G; Araujo, J.I.M.; Araujo,
417 A.C.; Fonseca, J.L.; Barros Junior, C.P., 2013. Modelos não paramétricos para ajustes
418 de curva de crescimento em caprinos Sem Raça Definida (SRD). Revista Acadêmica:
419 Ciências Agrárias e Ambientais, 11, 3, 283-289.

420

421 Darcan, N.K.; Silanikove, N., 2018. The advantages of goats for future adaptation to Climate
422 Change: a conceptual overview. Small Ruminant Research, 163, 34-38.

- 423
424 Godoy, M.C.; Nunes, M.A., 2020. Uma comparação entre anova e modelos lineares mistos para
425 análise de dados de tempo de resposta. *Revista da Abralín*, 19, 1, 1-23.
426
- 427 Hashimoto, J.H.; Osório, J.C.S.; Osório, M.T.M.; Bonacina, M.S.; Lehmen, R.I.P., 2012.
428 Qualidade de carcaça, desenvolvimento regional e tecidual de cordeiros terminados em
429 três sistemas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 2, 438–448.
430
- 431 Emiliano, P. C.; Vivanco, M.J.F.; Menezes, F.S. Information criteria: How do they behave in
432 different models? 2014. *Computational Statistics & Data Analysis*, 69, 141-153.
433
- 434 Figueiredo Filho, L.A.S.; Sarmiento, J.L.R.; Campelo, J.E.G; Santos, N.P.S.; Sousa, J.E.R.;
435 Biagiotti, D., 2012. Fatores ambientais e genéticos sobre a curva de crescimento de
436 caprinos mestiços. *Comunicata Scientiae*, 3, 154-161.
437
- 438 Malhado, C.H.M.; Carneiro, P.L.S.; Santos, P.F.; Azevedo, D.M.M.; Souza, J.; Affonso,
439 P.R.A.M., 2008a. Curva de crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados
440 no Sudoeste do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9, 2,
441 210-218.
442
- 443 Malhado, C.H.M.; Carneiro, P.L.S.; Cruz, J.F.; Oliveira, D.F.; Azevedo, D.M.M.R.; Sarmiento,
444 J.L.R., 2008b. Curvas de crescimento para caprinos da raça Anglo-Nubiana criados na
445 caatinga: rebanho de elite e comercial. *Revista Brasileira Saúde e Produção Animal*, 9,
446 4, 662-671.
447
- 448 Medeiros, L.F.D.D.H.; Vieira, S.F.; Ferreira, J.P.; Silveira, EF.V., 2005. Estudo do crescimento
449 de cabritos das raças saanen, parda alemã e mestiços $\frac{1}{2}$ saanen + $\frac{1}{2}$ parda alemã.
450 *Brazilian Animal Industry*, 62, 1, 55-62.
451
- 452 Medeiros, L.F.D.; Vieira, D.H.; Passos, N.P.; Patrício, P.M.P.; Souza, D.C.; Costa, É.C.X.;
453 Yogui, E.K.; Fonseca, M.V., 2012. Estudo do crescimento de cabritos mestiços na
454 região Metropolitana no Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Medicina*
455 *Veterinária*, 34, 35-46.
456
- 457 Medeiros, S.D.S.; Lima, C.G.; Savian, T.V.; Malheiros, E.B.; Werner, S.S., 2020. Modelos não
458 lineares mistos em ensaios de degradabilidade ruminal *in situ*. *Ciência Animal*
459 *Brasileira/Brazilian Animal Science*, 21, 1.
460 <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/57596> (acessado em 15 março 2023).
461
- 462 Menezes, J. J. L.; Gonçalves, H.C.; Ribeiro, M.S.; Rodrigues, L.; Cañizares, G.I.L.; Medeiros,
463 B.B.L.; Giassetti, A.P., 2007. Desempenho e medidas biométricas de caprinos de
464 diferentes grupos raciais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 3, 635-642.
465
- 466 Menezes, V. F., 2015. “Miunça” e caprinocultura: entrelaçamento de lógicas sociais da pecuária
467 caprina e o PAA/Leite no Cariri Paraibano. *Raízes*, 35, 2, 66-82.
468
- 469 Nogueira, A.N.F.; Figueiredo Júnior, C.A.; Yamamoto, A., 2010. Mercado de carne, leite e pele
470 de caprinos e ovinos no Nordeste. *Banco do Nordeste do Brasil*, 27.
471 <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/870> (acessado em 15 março
472 2023).

- 473
474 Oliveira, H.N.; Lôbo, R.B.; Pereira, C.S., 2000. Comparação de modelos não-lineares para
475 descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. Pesquisa Agropecuária Brasileira,
476 35, 9, 1843-1851.
477
- 478 Oliveira, J.A.; Pires, L.C.; Silva, L.P.; Leite, C.D.S.; Pereira, J.S.; Euclides, R.F.; Torres, R.A.;
479 Oliveira, L.H.; Cunha, M.G.G.; Sousa, W.H., 2021. Curvas de crescimento em caprinos
480 da raça Alpina criados no semiárido nordestino. In: Oelke, C.A.; Moraes, G.; Galati,
481 R.L. (Org.). Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas. 1ed., Guarujá: Editora
482 Científica Digital, v.2, p.64-82. [https://www.editoracientifica.com.br/artigos/curvas-](https://www.editoracientifica.com.br/artigos/curvas-de-crescimento-em-caprinos-da-raca-alpina-criados-no-semiarido-nordestino)
483 [de-crescimento-em-caprinos-da-raca-alpina-criados-no-semiarido-nordestino](https://www.editoracientifica.com.br/artigos/curvas-de-crescimento-em-caprinos-da-raca-alpina-criados-no-semiarido-nordestino)
484 (acessado em 15 março 2023).
485
- 486 Osório, J.C.S.; Osório, M.T.M.; Fernandes, A.R.M.; Vargas Junior, F.M.; Seno, L.O., 2014.
487 Produção de ovinos no Brasil, Roca, 1, 1-644.
488
- 489 Pereira Júnior, A.C.; Silva, R.M.; Filho, E.S.; Souza, J.C., 2014. Efeito de sexo e tipo de parto
490 sobre o peso ao nascer de caprinos mestiços Anglo Nubiana. Ciência Animal, 23, 1, 31-
491 34.
492
- 493 Pires, L.C.; Machado, T.M.M.; Araujo, A.M.; Costa, M.S., 2008. Análise de componentes
494 principais no estudo da diversidade genética de caprinos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO
495 DE MELHORAMENTO ANIMAL, 7, 2008, São Carlos. Anais[...], São Carlos:
496 SBMA. CD-ROM.
497
- 498 Sarmiento, J.L.R.; Rezazzi, A.J.; Souza, W.H.; Torres, R.A.; Breda, F.C.; Menezes, G.R.O.;
499 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. Revista Brasileira de
500 Zootecnia, 35, 2, 435-442.
501
- 502 Silva, F.L.R.; Araújo, A.M., 2000. Desempenho produtivo de caprinos mestiços no semiárido
503 do nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Zootecnia, 29, 4, 1028-1035.
504
- 505 Silva, L.S.; Santos, D.S.; Silva, E.R.; Silva, J.K.B.; Silva, G.A.; Vieira, G.M.N.; Moreno,
506 G.M.B., 2018. Desenvolvimento e zoometria de caprinos leiteiros jovens de diferentes
507 grupos genéticos. Pubvet (Londrina), 12, 1-9.
508
- 509 Silveira, F.G.; Silva, F.F.; Carneiro, P.L.S.; Malhado, C.H.M.; Muniz, J.A., 2011. Análise de
510 agrupamento na seleção de modelos de regressão não-lineares para curvas de
511 crescimento de ovinos cruzados. Ciência Rural (UFSC. Impresso), 41, 692-698.
512
- 513 Sousa, J.E.R.; Silva, M.A.; Sarmiento, J.L.R.; Sousa, W.H.; Souza, M.S.M., 2010 Avaliação da
514 trajetória média de crescimento de caprinos em modelos de regressão aleatória.
515 Arquivos de Zootecnia, 59, 226, 267-276,
516 [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922010000200012&lng=es&tlng=pt)
517 [05922010000200012&lng=es&tlng=pt](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922010000200012&lng=es&tlng=pt) (acessado em 15 março 2023).
518
- 519 Souza, L.A.; Carneiro, P.L.S.; Malhado, C.H.M.; Paiva, S.R.; Caires, D.N.; Barreto, D.L.F.,
520 2011. Curvas de crescimento em ovinos da raça morada nova criados no estado da
521 Bahia. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 8, 1700-1705.
522

- 523 Sousa, V.C.; Biagiotti, D.; Sarmiento, J.L.R.; Sena, L.S.; Barroso, P.A.; Barjud, S.F.L.;
524 Almeida, M.K.S.; Santos, N.P.S., 2022. Nonlinear mixed models for characterization
525 of growth trajectory of New Zealand rabbits raised in tropical climate. *Animal*
526 *Bioscience*, 35, 5, 648-658.
- 527
- 528 SAS Institute Inc. SAS/STAT® 14.1, 2015. User's Guide: The NLMIXED Procedure. Cary,
529 NC: SAS Institute Inc.
- 530
- 531 SAS Institute Inc. SAS/ETS1 9.4, 2013. User's Guide; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA.
- 532
- 533 Teixeira, M.C.; Villarroel, A.B.; Pereira, E.S.; Oliveira, S.M.P.; Albuquerque, Í.A.; Mizubuti,
534 I.Y., 2012. Growth curve of lambs from three systems of production in Northeastern
535 Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 33, 5, 2011-2018.