

TÂMARA RODRIGUES PEREIRA

RESPOSTA AO ESTRESSE POR CALOR EM CAPRINOS COM BASE EM DADOS
LONGITUDINAIS DE FÊMEAS ANALISADA COM MODELO MISTO E AJUSTE DE
VARIÂNCIA RESIDUAL

Teresina, PI

2019

TÂMARA RODRIGUES PEREIRA

RESPOSTA AO ESTRESSE POR CALOR EM CAPRINOS COM BASE EM DADOS
LONGITUDINAIS DE FÊMEAS ANALISADA COM MODELO MISTO E AJUSTE DE
VARIÂNCIA RESIDUAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Curso: Mestrado em Ciência Animal

Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. José Elivalto Guimarães
Campelo

Teresina, PI

2019

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

P436r

Pereira, Tâmara Rodrigues.

Resposta ao estresse por calor em caprinos com base em dados longitudinais de fêmeas analisada com modelo misto e ajuste de variância residual / Tâmara Rodrigues Pereira. -- 2019.

60 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2022.

“Orientador: Dr. José Elivalto Guimarães Campelo.”

1. Parâmetros Fisiológicos. 2. Mudanças Climáticas. 3. Resposta Fisiológica. I. Campelo, Elivalto Guimarães. II. Título.

CDD 636.089 26

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DE PROGRAMAS STRICTO SENSU
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

ATA DE ARGUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR
TAMARA RODRIGUES PEREIRA

Aos vinte e seis dias do mês de junho do ano de dois mil e dezenove, às 08:00 horas, no Auditório do Núcleo Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, a Banca Examinadora infranomeada procedeu ao julgamento da defesa de dissertação intitulada **“Análise da resposta ao estresse por calor em caprinos com dados longitudinais e modelo misto com ajustes de variância residual”**, apresentada pela mestranda TAMARA RODRIGUES PEREIRA, da Área de Produção Animal, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, desta Universidade. O Presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, iniciando os trabalhos concedeu a palavra à candidata TAMARA RODRIGUES PEREIRA para uma breve exposição do seu trabalho. Em seguida, o Sr. Presidente concedeu a palavra, pela ordem e sucessivamente, aos examinadores, os quais passaram a arguir a candidata durante o prazo máximo de 30 (trinta) minutos, assegurando-se à mesma igual prazo para responder aos Senhores Examinadores. Ultimada a arguição, que se desenvolveu nos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, expressou seu julgamento, considerando-a *aprovada*

A / NAp

Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo (Presidente) / DZO/CCA / UFPI ()

Profa. Dra. Danielle Maria Machado Ribeiro Azevedo (Externa) / EMBRAPA ()

Pesq. Dr. Anísio Ferreira Lima Neto (Externo) / EMBRAPA ()

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou a candidata TAMARA RODRIGUES PEREIRA *aprovada*. Nada mais havendo a tratar eu Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi por todos assinada.

Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo..... *J. Elivalto*

Profa. Dra. Danielle Maria Machado Ribeiro Azevedo..... *D. M. R. Azevedo*

Pesq. Dr. Anísio Ferreira Lima Neto..... *A. F. Lima Neto*

RESPOSTA AO ESTRESSE POR CALOR EM CAPRINOS COM BASE EM DADOS
LONGITUDINAIS DE FÊMEAS ANALISADA COM MODELO MISTO E AJUSTE
DE VARIÂNCIA RESIDUAL

TÂMARA RODRIGUES PEREIRA

Dissertação submetida à aprovação em: 26/06/2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo (Presidente) – DZO /CCA /UFPI

Prof. Dr. Anísio Ferreira Lima Neto (Externo) – Embrapa Meio-Norte

Profa. Dra. Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo (Interno) – Embrapa Meio-Norte

DEDICO

A todos os meus familiares e amigos.

Em especial aos meus pais José Ribamar (in memoriam) e Elizabete Maria pelo amor, paciência, dedicação e incentivo dados a mim e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, nosso grandioso pai.

Ao professor Dr. José Elivalto por ter me recebido de braços abertos. Grande exemplo de pesquisador, professor e pessoa pela dedicação por tudo que faz.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Arnaud Azevêdo, Lindenberg Sarmiento, Severino Cavalcante, Maria Divina, Danielle Azevêdo e Adriana Mello que me ensinaram com muitos conceitos além da teoria, permitindo meu crescimento profissional.

Aos funcionários do PPGCA, senhor Luís e o vigilante Gilberto .

Aos meus colegas de pós-graduação, Terysdalva Costa, Francisco Diniz, Aline Gomes e Lilian Rosalina, pois passamos por muitas dificuldades, mas sabemos dar boas risadas juntos.

Aos meus amigos e irmãos de pesquisa, em especial João Lopes, Geandro Carvalho, Marcelo Richelly, Vanessa e Artur, que me auxiliaram, ensinaram e não mediram esforços na realização dessa pesquisa.

Aos meus irmãos, Tânia, Tatiana, Telma e Tércio pelo apoio e por acreditarem em meu potencial.

Aos meus sobrinhos, Tauan, Ruth, Sá Filho, Thallisson, Lívia, Emelly e Thaynara pela colaboração e auxílio nessa jornada.

As minhas amigas Rejane Fé, Nathália Belfort e Gracyheny Brito pela amizade.

A UFPI, minha escola de formação. A todos, obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	8
LISTA DE QUADROS E TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1.INTRODUÇÃO GERAL	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Perfil da Caprinocultura no Brasil	17
2.2 Mudanças climáticas.....	19
2.3 Estresse térmico	20
2.4 Modelos lineares mistos aplicados a Dados Longitudinais	24
2.5 Dados Longitudinais	25
2.6 Estruturas de matrizes de covariâncias	26
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
4 REFERÊNCIAS	30
5 CAPÍTULO 1	39
Destaques.....	40
Resumo	40
Abstract	41
Introdução	42
Material e Métodos.....	43
Resultados e Discussão	47
Conclusão	54
Agradecimentos	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

THI - Índice de temperatura

ITGU - índice de temperatura do globo negro e umidade

Tg - Temperatura de globo negro

Tpo - Temperatura de ponto de orvalho

TSPE - Temperatura superficial da pele

Ta - Temperatura do ar

TSPM - Temperatura superficial do pelame

TSM - Temperatura superficial média

UR - Umidade relativa

Vv - Velocidade do vento

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Efetivo caprino no Nordeste e no Brasil.

Tabela 1. Descrição da estrutura do arquivo de dados e de pedigree.

Tabela 2. Resumo dos modelos utilizados para a modelagem do resíduo.

Tabela 3. Resumo dos modelos utilizados para modelagem da parte aleatória

Tabela 4. Estimativas de variância (diagonal), covariâncias (abaixo da diagonal) e correlações (acima da diagonal) entre os coeficientes de regressão aleatória e autovalores associados à matriz dos coeficientes para os modelos com $k=5333-6$.

Tabela 5. Correlação entre os valores genéticos dos animais nas idades 1, 30, 60, 90 e 130 dias; correlação simples de pearson (acima da diagonal) e correlação de spearman (abaixo da diagonal).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimativas de componentes de variâncias direta (σ^2a) e materna (σ^2m), de ambiente permanente direto (σ^2c), e materno (σ^2q), variância fenotípica (σ^2p) e variância residual ($\sigma^2residual$) calculadas em função da idade, em caprinos Anglonubiano, com o modelo de regressão aleatória leg5333 e variância residual heterogênea.

Figura 2. Estimativas de herdabilidades direta (h^2) e materna (m^2); componentes de variância de ambiente permanente de animal (c^2) e materno (q^2) como proporção da variância fenotípica, em caprinos Anglonubiano, com o modelo de regressão aleatória leg5333 e variância residual heterogênea com 6 classes de idade.

RESUMO

A produção animal pode ser limitada pelas condições climáticas, principalmente em decorrência do impacto de estresse térmico, que pode variar em função da condição fisiológica dos animais. Objetivou-se com essa pesquisa avaliar a resposta de adaptação de caprinos a ambiente quente, com base em parâmetros fisiológicos Temperatura retal, Frequências cardíaca e respiratória, como medidas repetidas em fêmeas. Analisou-se individualmente as características com modelos mistos (modelo de repetibilidade) considerando-se como fixos os efeitos de ano e estação de coleta, o estado fisiológico (gestante ou não gestante), tamanho corporal (Frame) e de idade e, como aleatório o efeito de animal. Analisou-se também modelando-se o resíduo considerando ou não classes de idade do animal. Estimou-se a contribuição de cada efeito fixo significativo sobre a média do parâmetro e também do efeito de animal. Considerou-se como positivo usar a modelagem do resíduo e constatou-se efeito mais pronunciado da condição gestação, com ênfase na maior sensibilidade durante o período mais quente do ano. Não houve efeito de idade. A amplitude da variação dos três parâmetros fisiológicos não excede a faixa apresentada por caprinos em ambiente quente, indicando animal adaptado às condições de ambiente avaliado. O efeito da condição fisiológica foi importante, com a gestação relacionada a mais sensibilidade a ambiente quente. Portanto, mostrou ser uma fase da vida do animal que pode ser usada para indicar desconforto térmico em ambiente quente.

Palavras-chave: Parâmetros fisiológicos, mudanças climáticas, resposta fisiológica.

ABSTRACT

Animal production can be limited by climatic conditions, mainly due to the impact of heat stress, which can vary depending on the physiological condition of the animals. The objective of this research was to evaluate the adaptation response of goats to a hot environment, based on physiological parameters Rectal temperature, heart and respiratory rates, as repeated measures in females. The characteristics were analyzed individually with mixed models (repeatability model) considering as fixed the effects of year and season of collection, the physiological state (pregnant or not pregnant), body size (Frame) and age and, as random the animal effect. It was also analyzed by modeling the residue considering or not the age classes of the animal. The contribution of each significant fixed effect on the parameter mean and also on the animal effect was estimated. It was considered positive to use residue modeling and a more pronounced effect of the pregnancy condition was observed, with an emphasis on greater sensitivity during the hottest period of the year. There was no age effect. The amplitude of the variation of the three physiological parameters does not exceed the range presented by goats in a hot environment, indicating an animal adapted to the conditions of the evaluated environment. The effect of physiological condition was important, with pregnancy related to more sensitivity to a hot environment. Therefore, it proved to be a phase of the animal's life that can be used to indicate thermal discomfort in a hot environment.

Keywords: Climate change, Physiological parameters, Physiological response

1.INTRODUÇÃO GERAL

O rebanho de caprinos do Brasil corresponde a cerca de 9,6 milhões de animais (IBGE, 2006), concentradas na região Nordeste, com 90% da produção nacional, sobretudo no semi-árido, onde essa concentração é favorecida por vantagens climáticas por estarem localizados em região agroclimática do semiárido.

Com as mudanças climáticas nos últimos anos, principalmente em ambiente tropical onde se concentra grande parte da atividade pecuária em vários países. O impacto sobre os animais de interesse zootécnico é consequência de variações diárias e sazonais de temperatura e de umidade relativa do ar que influenciam as respostas fisiológicas básicas, que são utilizadas como sinalizadoras das condições de estresse a que os animais estão submetidos nos sistemas de produção.

O potencial do ambiente em causar estresse tem sido quantificado com a combinação de variáveis climáticas na forma de índices de conforto térmico segundo Roberto e Sousa (2011), são ferramentas bioclimatológicas fundamentais na busca e seleção de animais mais adaptados às condições climáticas do semiárido.

Algumas dessas variáveis climáticas são utilizadas de forma direta como: temperatura máxima e mínima, temperatura do bulbo seco e de bulbo úmido, temperatura do globo negro, umidade relativas do ar, ou combinadas na forma do Índice de temperatura (THI) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), em ambos incluídas em equações (NÓBREGA et al., 2011).

Não é recente que esse tema tem sido abordado tanto na perspectiva de quantificar a capacidade do ambiente em causar estresse nos animais, como da capacidade de reação destes aos agentes estressores, pois para produzir com seu máximo potencial, é necessário que os animais se encontrem dentro de uma zona de termoneutralidade ou de conforto térmico (BAETA; SOUZA, 1987).

Na região tropical, durante boa parte do ano a temperatura do ar, juntamente com outras variáveis ambientais, podem provocar estresse nos animais, que buscam se ajustar, aumentando a dissipação de calor por meio principalmente da termólise cutânea e respiratória (SILVA, 2000). Muitos resultados de pesquisas originados de ambiente com clima temperado têm sido considerados como referência para ambiente quente, o que não é muito conveniente utilizá-los diretamente.

Prevalece na literatura estudos da resposta dos animais aos agentes estressores do clima com base na variação da temperatura retal, frequências respiratória e cardíaca, uma

vez que são considerados os melhores indicadores de tolerância ao calor (BROWN-BRANDL et al., 2003).

A taxa de sudorese e a variação nos níveis hormonais são características mais utilizadas para avaliar a resposta dos animais ao estresse térmico (SILVA et al., 2006), geralmente avaliados em mais de uma estação do ano, porém, raramente como medida repetida no tempo nos mesmos animais.

As alterações no clima implicam na necessidade de manter os animais mais adaptados às condições ambientais adversas, para servir de suporte a programas de melhoramento, sabendo que a interação entre animais e ambiente deve ser fortalecida, quando se busca uma maior eficiência na exploração pecuária. Isso, ocorre em virtude dos parâmetros fisiológicos por serem afetados pelas variações climáticas, limitando assim a produção (SILVA et al., 2006).

Os caprinos explorados em áreas tropicais têm sua performance influenciada por estressores climáticos, com isso o animal rústico torna-se importante para esse ambiente, principalmente se essa qualidade for decorrente também da tolerância ao calor, que não haja sacrifício de bem-estar para manter um desempenho. Portanto, tão importante quanto quantificar o estresse, é buscar animais cada vez mais adaptados ao calor.

Mas para a adequação de um animal a ambiente estressante consiste em considerar dois aspectos: a adaptação fisiológica, representada principalmente pelas alterações do equilíbrio térmico, e a adaptabilidade de um rendimento, que descreve as modificações na característica quando o animal é submetido a condição de estresse (MACDOWELL, 1989), que é uma forma de teste de rusticidade.

Esta dissertação foi redigida seguindo as normas para elaboração e apresentação de Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí – (PPGCA/UFPI) estabelecendo os seguintes itens: Capa / Folha de rosto / Ficha catalográfica / Termo de aprovação / Dedicatória e Agradecimentos / Sumário / Resumo / Abstract / Introdução / *Revisão bibliográfica / *Capítulo 1 / Considerações finais / Referência bibliográfica.

*A Revisão bibliográfica desta Dissertação será submetida a Atena Editora na categoria de publicação capítulo de livro.

*O Capítulo 1 referente ao artigo científico desta Dissertação será submetido a Revista Semina: Ciências Agrárias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Perfil da Caprinocultura no Brasil

A produção animal assim como outras atividades econômicas, está diretamente ligada às mudanças ambientais que se apresenta com perspectivas de ocorrência de mudanças climáticas cada vez mais frequentes razão pela qual é necessária constante adequação do sistema de criação às novas condições de ambiente. Isso significa que sempre haverá a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas de manejo, para que a produção seja satisfatória, como já afirmaram RIBEIRO et al. (2006).

Um dos ramos da produção animal que está em desenvolvimento constante é a caprinocultura. Os caprinos são encontrados em todos os continentes, mas com maior concentração em países emergentes (FAO, 2016), localizados nos trópicos. A caprinocultura representa uma boa alternativa de trabalho e renda em regiões de clima mais adverso onde produz alimentos de alto valor biológico como leite, carne e vísceras, explorando a grande capacidade de adaptação da espécie caprina a diferentes ecossistemas (MORAES NETO et al., 2003).

As alterações no clima implicam na necessidade de identificar os animais mais adaptados a condições ambientais adversas, para servir de suporte a programas de melhoramento, pois a interação entre animais e ambiente deve ser explorada, quando se busca maior eficiência na exploração pecuária. Os caprinos explorados em regiões tropicais, tem sua performance influenciada por elementos climáticos comuns ao clima dessas regiões, com isso o animal rústico torna-se importante para esse ambiente, principalmente se essa qualidade for decorrente também da tolerância ao calor (BARROS JÚNIOR et al., 2017).

Variações climáticas podem afetar os parâmetros fisiológicos dos animais limitando assim a produção (SILVA et al., 2006). A adequação de um animal a um ambiente estressante consiste em considerar dois aspectos: a adaptação fisiológica, representada principalmente pelas alterações do equilíbrio térmico, e a adaptabilidade de rendimento, que descreve as modificações na característica quando o animal é submetido à condição de estresse (MACDOWELL, 1989), que é uma ocorrência comum no verão em regiões produtoras de animais (BROWN-BRANDL, 2018).

A produção de pequenos ruminantes é de grande relevância mundial. As cabras e ovelhas representam aproximadamente 56% da população de ruminantes do planeta (FAO, 2016). O rebanho de caprinos do Brasil corresponde a cerca de 9,78 milhões, sendo

o rebanho de ovinos de aproximadamente 18,43 milhões (ANULAPEC, 2017), concentradas na região Nordeste, com 63% da produção nacional.

Na região Nordeste a caprinocultura tecnificada ocorre em paralelo a criação extensivas de subsistência, com mercado para os produtos de ambos crescentes, mas a demanda comercial anual tem sido apenas parcialmente suprida. As dificuldades para atendimento desse mercado potencial por parte dos caprinocultores não é recente, com o componente animal tendo participação direta no sistema menos tecnificado, como afirmado por CAMPOS (1999). Esse cenário ainda continua sendo a realidade atual. Para melhorar rendimento neste sistema de produção, um recurso tem sido utilizar animais de raças exóticas em cruzamentos (LÔBO, 2009), sendo que nem sempre a adaptação climática tem sido levada em consideração.

Por esses e outros aspectos, nesta região a caprinocultura se caracteriza como atividade de importância cultural, social e econômica. (COSTA et al., 2008). Ao longo dos anos tem sido uma atividade relegada a segundo plano no Brasil e geralmente relacionada à produção familiar de subsistência. Desprovida de uso de tecnologias, investimentos ou seleção explorando critérios genéticos mais eficientes, a atividade apresentou durante anos baixa produtividade.

Os primeiros caprinos que chegaram ao Brasil foram sobras de animais trazidos pelos colonizadores portugueses em porão dos navios e destinados ao consumo. Estes animais foram criados sem práticas zootécnicas e sem seleção direcionada para a produção (COSTA, 2010).

De origem principalmente ibérica, se multiplicaram desordenadamente sem monitoramento, passando assim por um processo de seleção natural secular e deram origem aos vários tipos étnicos encontrados atualmente (FIGUEIREDO, 1987). Estes ao serem submetidos a processo de seleção natural desenvolveram características específicas de adaptação às condições ambientais. A partir da chegada de raças vindas de região de clima temperado, levou a substituição e ou descaracterização genética dos grupos naturalizados do país (EGITO, 2002).

São consideradas raças naturalizadas no Brasil: Moxotó, Canindé, Repartida e Marota (EGITO, 2002), que, por terem seu desenvolvimento na região Nordeste, guardam íntima relação com condições de clima adverso como as do semiárido. Estes animais são tidos como patrimônio genético do país e devem ser preservados (LIMA, 2005), visto que se encontram ameaçadas de extinção como raça, pois não tem recebido atenção

necessária, razão pela qual nos rebanhos que existem a taxa de consanguinidade é elevada, em consequência do baixo número de animais encontrados.

2.2 Mudanças climáticas

O aquecimento global é o aumento da temperatura média das camadas de ar da terra que pode ser consequência de causas naturais ou de atividades humana. As mudanças climáticas mais recentes estão ligadas as atividades humanas e representam ameaças a quase todos os ecossistemas existentes (IPCC, 2014). O aumento progressivo da temperatura global está provocando intensas ondas de calor sobre a Terra e levando a impactos ambientais que podem ser irreversíveis (PACHAURI; MEYER, 2014), principalmente para a produção animal nos trópicos.

Este fenômeno climático pode ser atribuído ao aumento da concentração de (CO₂) (NOAA, 2014), também ao aumento da concentração de metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O). A maior parte deste aumento na concentração dos gases está relacionado as atividades humanas resultando em aumento na temperatura ambiente (FENG et al., 2003).

Os animais são afetados pelas mudanças climáticas (SOMERO, 2010) regem apresentando adaptação de natureza genética e ambiental ou migram para ambientes mais favoráveis (PECL et al., 2017). Estas adaptações são essenciais para a sobrevivência das espécies em escala mundial, pois o desaparecimento de espécies animais provoca impactos negativos na resiliência e no equilíbrio do ecossistema (BENNETT et al., 2016). A resposta nos animais ao aumento da temperatura segue uma curva de desempenho de adaptação (NATI et al., 2016). Essa curva de desempenho é baseada na capacidade do animal em alterar sua fisiologia com a mudança de temperatura para melhorar sua adaptação.

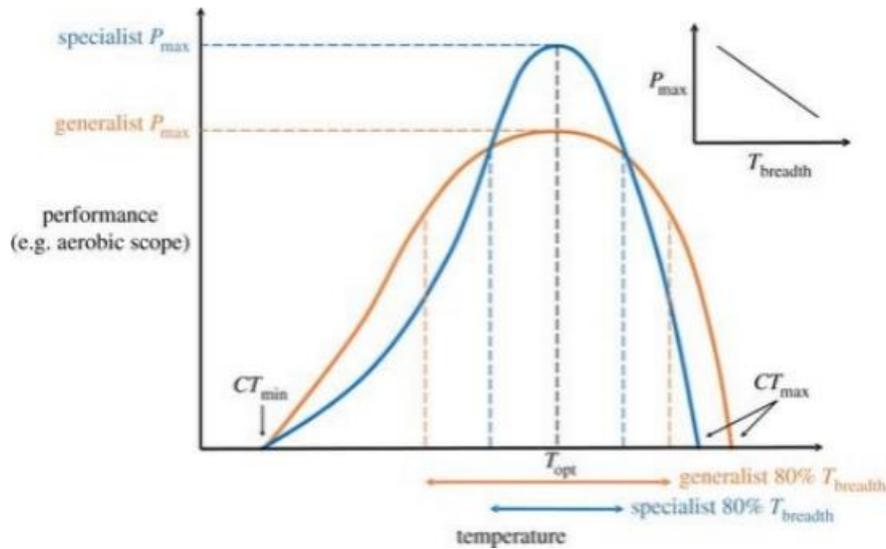


Figura 01 – Curva de desempenho de adaptação

2.3 Estresse térmico

No reino animal, os animais são divididos em dois grandes grupos de acordo com as suas características de capacidade de manutenção da temperatura corporal, são eles os poecilotérmicos e homeotérmicos. Os mamíferos são classificados como homeotérmicos (CUNNINGHAM, 2014). Por definição, esses animais são capazes de manter sua temperatura corpórea com pouca variação por meio de mecanismos de termorregulação.

A temperatura, umidade do ar e radiação solar ativam o sistema de termorregulação dos animais mamíferos em países tropicais como o Brasil. A temperatura elevada e umidade do ar baixa interferem negativamente na capacidade do animal dissipar calor, conseqüentemente há um aumento na temperatura corpórea (SILANIKOVE, 2000). Em resposta os animais tendem a se ajustar por meio de adaptações na fisiologia como por exemplo: hormonal, hematológicas e bioquímicas (BERNABUCCI et al., 2010; RIBEIRO et al., 2015).

Em resposta também são capazes através da evaporação de água promover dissipação do calor e assim manter o controle da temperatura. A perda ocorre principalmente por evapotranspiração e pelo suor (CUNNINGHAM, 2014), sendo este meio de controle correspondendo a 80% da dissipação (SILVA et al., 2009). Entretanto, o sistema de termorregulação apresenta limitações fisiológicas quando a temperatura ambiente excede a um limite denominado temperatura crítica.

Para avaliar as condições fisiológicas dos animais em relação à resposta termorregulatória, utilizam-se os seguintes parâmetros clínicos: temperatura retal, frequências cardíaca e respiratória, e temperatura da pele. Em condições fisiológicas

normais a temperatura retal em caprinos varia de 38,3°C a 40 °C, intervalo utilizado como parâmetro para avaliação da temperatura corporal (PICCIONE; REFINETTI, 2003); frequência cardíaca média para caprinos é de 90 bat/min-1 podendo variar de 70 a 120 bat/min-1; frequência respiratória varia de 62,6 mov/min-1 a 69,5 mov/min-1 e a temperatura superficial variando de 29,4°C a 31,3°C de acordo com Souza et al., (2008b).

Segundo Neves et al. (2009), a alta radiação incidente nas regiões tropicais, em conjunto com altas temperaturas e umidade relativa do ar, são condições que geram o desconforto térmico e levam, conseqüentemente, ao estresse calórico, quando os animais se encontram em pastagens sem o provimento de sombra. Para Souza et al. (2005), a eficiência produtiva é maior quando os animais estão em condições de conforto térmico e não precisam acionar os mecanismos termorreguladores. Por outro lado, temperaturas elevadas e radiação solar intensa, condições prevaletentes no semiárido nordestino durante quase todo o ano, podem levar os animais ao estresse, ocasionando declínio na produção (LUZ et al., 2014).

O estresse térmico afeta de modo negativo a produção animal, não somente pelo comprometimento do bem-estar animal, mas também pela diminuição da eficiência de produção (LUZ et al., 2016). O Brasil é um país de clima tropical (dois terços do território) onde há predominância de temperaturas elevadas e alta radiação solar (SILVA et al., 2002).

Como resposta inicial ao estresse térmico o animal promove o aumento da frequência respiratória, que leva a perda de água e de calor pela evaporação e diminuindo a temperatura corporal (RENAUDEAU et al., 2014). Esta estratégia ajuda a controlar a temperatura corporal em curtos períodos de tempo. Em seguida há aumento na atividade muscular diminuindo a resistência vascular e isso melhora a circulação do sangue para partes periféricas do corpo (RIBEIRO et al., 2015). Paralelamente a esse processo há aumento da frequência cardíaca.

Entretanto, se exceder a capacidade corpórea de controle de temperatura, os efeitos do estresse térmico se estendem a outras mudanças metabólicas nutricionais, como metabolização de proteínas, lipídios e triglicérides (BAUMGARD; RHOADS, 2013).

O calor é responsável pelo aumento das taxas de marcadores plasmáticos, principalmente ureia plasmática, de catabolismo muscular em vacas (SHWARTZ et al., 2009) e porcos (PEARCE et al., 2013). Por outro lado, o aumento de temperatura promove o aumento da retenção de lipídios na carcaça (RENAUDEAU et al., 2014) isso

se deve ao aumento da expressão do gene LPL (lipase lipoprotéica) adiposo (SANDERS et al., 2009).

Na interação animal x ambiente deve-se sempre atentar para as limitações de cada uma das partes, levando em conta que a melhor expressão da habilidade produtiva dos animais é proporcional a capacidade de adaptação climáticas que são oferecidos pela região ao qual são produzidos (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011).

Em ruminantes o estresse térmico pode levar os animais ao desenvolvimento de um quadro clínico de acidose ruminal (KADZERE et al., 2002). De uma maneira geral todas essas alterações levam a diminuição na digestão e absorção de nutrientes (LIU et al., 2009) e comprometem o desempenho do animal, pois o aumento de temperatura também promove uma alteração na circulação sanguínea visceral, pois o sangue é desviado das vísceras para a pele como um dos mecanismos para maximizar a dissipação do calor (KREGEL et al., 1988).

Como mecanismo compensatório para a manutenção da pressão sanguínea corpórea, há vasoconstrição dos vasos viscerais (LAMBERT, 2009), diminuindo a disponibilidade de oxigênio e nutrientes (HALL et al., 1999). Os enterócitos, células da mucosa intestinal, são extremamente sensíveis a restrição de oxigênio e nutrientes levando rapidamente a hipóxia e dano destas células (ROLLWAGEN et al., 2006). Desta forma os segmentos intestinais também podem ser afetados pelo aumento da descamação epitelial e conseqüentemente encurtamento das vilosidades (YU et al., 2010).

O aumento da temperatura promove perdas nos sistemas de criação animal (SALAMA et al., 2014). Há redução na produção de leite e do ganho de peso em caprinos (HAMZAOUI et al., 2012). Cabras apresentam uma boa capacidade de resistência e capacidade de sobreviver a ambientes hostis (BERNABUCCI et al., 2010). Um ambiente é considerado confortável quando o animal está em equilíbrio térmico com o mesmo, ou seja, o calor produzido (termogênese) pelo metabolismo animal é perdido (termólise) para o meio ambiente sem prejuízo apreciável ao seu rendimento. Quando isso não ocorre, caracteriza-se estresse por calor e o uso de artifícios capazes de manter o equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente faz-se necessário (PIRES; CAMPOS, 2004).

Na tentativa de manutenção do equilíbrio utiliza-se o fluxo de dissipação de calor, que ocorre através de processos que dependem da temperatura ambiental (condução, convecção e radiação) e da umidade (evaporação via transpiração e respiração). A hipertermia ocorre quando o fluxo de calor para o ambiente é menor que a produção de

calor metabólico. Quando a temperatura do ar (TA) se eleva, e o gradiente térmico entre a superfície do corpo e o ambiente, decresce, proporciona dificuldade na dissipação de calor, com isso o animal utiliza mecanismos evaporativos (sudorese e/ou frequência respiratória) para perder calor e assim manter o equilíbrio térmico de seu corpo (SOUZA et al., 2008).

Contudo, vários índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o conforto térmico de determinados ambientes através da mensuração da temperatura e umidade relativa do ar, levando em conta também a radiação, pois estes têm ligação direta com o acionamento dos mecanismos de regulação térmica, porque a adaptação consiste em não acionar os mecanismos fisiológicos de perda de calor (PIRES; CAMPOS, 2004).

O estresse térmico é o resultado de um desequilíbrio entre o calor produzido ou obtido do meio ambiente e a quantidade de calor perdida para o meio ambiente. O nível de estresse térmico pode variar de pequeno ou nenhum efeito à morte de animais vulneráveis. Em condições de verão, o estresse térmico resulta em hipertermia ou estresse térmico.

Os efeitos em animais que sofrem de estresse térmico incluem diminuições no consumo de ração, crescimento animal e eficiência de produção. Durante esses eventos extremos, as perdas de animais podem exceder 5% de todos os bovinos alimentados em um único confinamento. Felizmente, esses eventos extremos são geralmente muito localizados e duram apenas um ou dois dias. No entanto, essas perdas podem ser devastadoras para produtores individuais na área afetada.

O nível de estresse térmico que um animal experimentará é o resultado de uma combinação de três componentes distintos: condições ambientais, susceptibilidade individual do animal e manejo do rebanho. Os componentes ambientais incluem temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar. Vários índices foram desenvolvidos para resumir os diferentes componentes em um único valor.

A susceptibilidade individual dos animais é influenciada por muitos fatores diferentes, incluindo cor da pelagem, sexo, temperamento, histórico de saúde anterior, aclimatação e pontuação de condição. Finalmente, o gerenciamento influencia muito os efeitos do estresse térmico. Os fatores de manejo podem ser divididos em quatro categorias distintas: ração, água, influências ambientais e manejo.

Entender esses fatores de risco e como cada um deles influencia o estresse animal ajudará no desenvolvimento de estratégias de manejo e como implementá-las. Estratégias

de manejo que podem ser empregadas no momento certo e para os grupos corretos de animais irão aumentar os benefícios aos animais e limitar os custos para os produtores.

2.4 Modelos lineares mistos aplicados a Dados Longitudinais

Os modelos matemáticos são sistemas de equações em que as soluções representam respostas dos processos para o correspondente conjunto de entradas específicas fornecidas (DENN, 1986).

A denominação de modelo misto vem do fato que o modelo contém parâmetros de efeitos fixos e parâmetros de efeitos aleatórios, além do erro experimental e da constante μ . Os modelos lineares mistos são usados para modelar a parte aleatória (modelagem da correlação intraindivíduo), presente, muitas vezes, em dados agrupados e aos quais se permite atribuir uma distribuição de probabilidade (LITTELL et al., 2006).

Os três tipos de modelos: modelo de efeitos fixos quando todos os fatores na estrutura de tratamentos são efeitos fixos e que contenha somente um componente de variância; modelo de efeitos aleatórios quando todos os fatores da estrutura de tratamento são efeitos aleatórios e modelo de efeitos mistos quando os fatores da estrutura de tratamentos são fixos e outros são aleatórios, ou se todos os fatores da estrutura de tratamentos são fixos e existe mais de um componente de variância no modelo.

Todo modelo linear que contenha a média geral ou uma constante μ , tomada como fixa, e um termo referente ao erro, assumido como aleatório, é um modelo linear misto. Entretanto, tal denominação é, geralmente, reservada a modelos lineares que contenham efeitos fixos, além de μ , e qualquer outro termo aleatório, além do erro (MARTINS et al., 1993). Assim, pode-se considerar como misto o seguinte modelo:

$$y = X\beta + Zb + \varepsilon,$$

em que, y é o vetor de observações e assume-se que β é um vetor de parâmetros de efeitos fixos desconhecidos, com matriz de delineamento conhecida X , b é um vetor de parâmetros de efeitos aleatórios desconhecidos, com matriz de delineamento conhecida Z e ε é um vetor de erros aleatórios desconhecidos.

As matrizes X e Z podem se diferenciar, podendo Z conter qualquer covariável que influencie a unidade experimental. A formulação de X é semelhante à utilizada na análise usual de regressão, em que suas colunas especificam os fatores que definem a estrutura das subpopulações (tratamentos) ao fator tempo, identificando a curva a ser ajustada e as covariáveis cujos efeitos na resposta desejam-se obter.

2.5 Dados Longitudinais

Os conjuntos de dados que são obtidos a partir de múltiplas mensurações sobre a mesma unidade experimental ou indivíduo ao longo do tempo na qual poderá ocorrer uma correlação entre as medidas no tempo e exista certa heterogeneidade de variância (LITTELL et al., 2006), ou seja, dados longitudinais que são medidas repetidas em que a condição de avaliação não pode ser aleatorizada (tempo, por exemplo).

Segundo Van der Werf e Schaeffer (1997), características tomadas em função do tempo merecem um tratamento estatístico diferenciado. De acordo com esses autores, para analisar esse tipo de dado é importante modelar esta estrutura de covariância utilizando modelos estatisticamente mais adequados que possibilitem fazer inferências a partir do conjunto de dados, e gerar as informações de uma característica que se altera com o passar do tempo.

Os dados longitudinais ou medidas repetidas de um caráter no mesmo indivíduo têm sido analisadas sob diferentes aspectos metodológicos. Os dados longitudinais apresentam estrutura hierárquica, uma vez que as medidas repetidas são aninhadas dentro do indivíduo (KER et al., 2003). Tal estrutura hierárquica faz com que possa fazer a suposição de que as observações entre os indivíduos sejam independentes e que as aninhadas no indivíduo possuam a característica da dependência com erros correlacionados. Segundo Pinheiro et al. (1995) e Ker et al. (2003) devido a suposição de erros correlacionados exige a modelagem da matriz de covariância dos dados.

Assim, os modelos para análise de dados longitudinais devem levar em conta a relação entre as observações seriais sobre a mesma unidade e os modelos de efeitos aleatórios em dois estágios podem ser usados. Nos modelos de dois estágios, as distribuições de probabilidades para vetores respostas de diferentes indivíduos pertencem a uma única família, mas alguns parâmetros de efeitos aleatórios variam através de indivíduos, com uma distribuição especificada para o segundo estágio. Laird e Ware (1982) propõem o modelo de dois-estágios:

$$y_i = X_i\beta + Z_i b_i + \varepsilon_i ,$$

em que, β é um vetor de dimensões $p \times 1$ de parâmetros, desconhecido, X_i é uma matriz de delineamento conhecida, específica para o i -ésimo indivíduo de dimensões $n_i \times p$, b_i é um vetor de dimensões $k \times 1$ de efeitos individuais, desconhecido, Z_i é uma matriz de

dimensões $n_i \times k$ de delineamento, conhecida e ϵ_i é distribuído como $N(0, R_i)$, sendo R_i uma matriz de covariância positiva-definida de dimensões $n_i \times n_i$.

Para o primeiro estágio, β e b_i , são considerados fixos e os ϵ_i são assumidos independentes, de forma que, condicional sobre b_i , tem-se, que

$$E(Y_i / b_i) = X_i\beta + Z_ib_i$$

$$V(Y_i / b_i) = R_i.$$

No segundo estágio, assume-se que os b_i tem distribuição $N(0, G)$, independentemente um dos outros e dos ϵ_i ; G é uma matriz de covariância positiva definida de dimensões $k \times k$ e os parâmetros populacionais, β , são tratados como efeitos fixo. Marginalmente, os Y_i são independentes e tem distribuição com m ' média $X_i\beta$ e matriz de covariância $R_i + Z_iGZ_i'$. Essa família de modelos de dois-estágios inclui modelos de crescimento e modelos de medidas repetidas como casos especiais.

A correlação entre as mensurações no indivíduo ao longo do tempo pode ser modelada por meio de uma estrutura de covariâncias de erros (ROSARIO et al., 2005). De acordo com Rocha (2004), o modelo para essa matriz depende da maneira pela qual as observações foram obtidas e do conhecimento sobre o mecanismo gerador das observações.

2.6 Estruturas de matrizes de covariâncias

Quando a mesma unidade experimental é observada ao longo do tempo, espera-se que haja uma correlação entre essas unidades (COSTA, 2003). Assim, em dados longitudinais, a matriz Σ não apresenta a estrutura pressuposta na análise usual de modelos de delineamentos de experimentos ($I\sigma^2$), existindo uma estrutura diferente para essa matriz.

É possível considerar formas específicas para matriz de covariância com a utilização da metodologia de modelos lineares mistos que representam variabilidade real dos dados da forma mais adequada possível. Algumas estruturas são apresentadas por Boeck, Naberezny e Tavares (2001).

Principais tipos de estruturas de G e R que veem implementadas no SAS (LITTELL et al., 2006), considerando, por exemplo, $n_i = 4$ ocasiões de medidas repetidas.

São elas: Autorregressiva de 1ª ordem – AR (1): apresenta variâncias homogêneas e correlações que diminuem exponencialmente à medida em que aumenta o intervalo de

tempo entre as medidas repetidas. Denota-se por ρ o parâmetro autorregressivo, de forma que, para um processo estacionário, assume-se que $\rho < 1$. As variâncias entre todas as ocasiões são iguais (CECON et al., 2008).

$$\Sigma = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

Autorregressiva heterogênea (ARH): caracterizada pela desigualdade de variâncias e covariâncias e pela maior correlação entre avaliações adjacentes.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_1\sigma_4\rho^3 \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho^2 \\ \sigma_3\sigma_1\rho^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho^3 & \sigma_4\sigma_2\rho^2 & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Simétrica Composta (CS) -variância comum mais diagonal: caracterizada por variâncias homogêneas e covariâncias constantes entre quaisquer observações de uma mesma unidade devido a erros independentes.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1 \end{bmatrix}$$

Simétrica Composta Heterogênea (CSH): Nessa estrutura, as variâncias são distintas para cada elemento da diagonal principal e raiz quadrada desses parâmetros fora da diagonal principal, sendo σ_i^2 o i -ésimo parâmetro de variância e ρ o parâmetro de correlação. Tem $n_i + 1$ parâmetro (CECON et al., 2008).

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_1\sigma_4\rho \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho \\ \sigma_3\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho & \sigma_4\sigma_2\rho & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Toeplitz (TOEP): similar a estrutura AR (1), mas com correlações variáveis à medida em que as distâncias entre tempos crescem (BOECK; NABEREZNY; TAVARES, 2001). É uma estrutura usada em séries temporais.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2 & \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 \\ \sigma_1 & \sigma^2_1 & \sigma_1 & \sigma_2 \\ \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma^2 & \sigma_1 \\ \sigma_3 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

Não-estruturada (UN): todas as variâncias e covariâncias podem ser desiguais. Especifica uma matriz completamente geral, parametrizada em termos de variâncias e covariâncias. As variâncias são restritas a valores não negativos e as covariâncias não têm restrições.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \sigma_{34} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Componentes de Variância (VC): caracterizada por variâncias iguais em todas as ocasiões de medidas e observações independentes e tem um único parâmetro (CECON, et al., 2008).

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Várias técnicas de seleção do modelo com a respectiva estrutura da matriz de covariâncias podem ser utilizadas. As de uso mais difundido são os critérios de

informação de Akaike – AIC (Akaike’s Information Criterion), critérios de informação de Akaike corrigido - AICC (Akaike’s Information Criterion Corrigido) e o critérios de informação de Schwarz – BIC (Bayesian Information Criterion), ambos baseados na verossimilhança de ajuste do modelo e dependentes do número de observações e parâmetros (FLORIANO et al., 2006).

São métodos de seleções de modelos que podem ser utilizados para comparar modelos aninhados e não aninhados, ou seja, quando um é, ou não, caso especial do outro. Em geral, os dois critérios produzem resultados concordantes, nesse caso é selecionado o modelo que apresentar menor valor.

Os critérios de informação podem ser definidos conforme Littell et al. (2006). A representação dos critérios de informação citados está apresentada abaixo:

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

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

$$AICc = -2 \log L(\theta) + 2(p) + 2p(p+1)/(n-p-1)$$

Sendo que:

p = representa o número de parâmetros do modelo;

N = o total de observações;

r = o posto da matriz X (matriz de incidência para os efeitos fixos).

Outro procedimento de uso comum é o teste assintótico de razão de verossimilhanças (LRT), que permite comparar dois modelos de cada vez, ambos ajustados por verossimilhança, um deles como versão restrita do outro (modelos aninhados ou encaixados). O uso dessas técnicas é fundamental na teoria de decisão em modelo misto, pois, além da qualidade de ajustamento, consideram o princípio da parcimônia, que penaliza modelos com maior número de parâmetros (CAMARINHA FILHO, 2002).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, o objetivo desta revisão de literatura foi apresentar como os fatores do ambiente, em especial, nos trópicos, pode afetar o desempenho produtivo e reprodutivo de animais de interesse econômico como os caprinos.

Caprinos, sendo animais homeotérmicos, que detém a capacidade de manter a temperatura corporal constante na tentativa de manter a homeostase. Raças de caprinos desenvolvidas em regiões tropicais, como a Anglonubiana, mantêm a temperatura retal dentro da amplitude de variação apresentada por animais de raças que apresentam adaptação fisiológica a ambiente com temperatura alta, independente da condição de reprodução, com variação na frequência respiratória e cardíaca não excedendo a faixa normal para caprinos.

E que para possibilitar os estudos para elucidar como as mudanças climáticas, com a elevação da temperatura do ar, por exemplo, podem alterar o desempenho dos animais, os modelos de avaliação de dados longitudinais ajustados com matrizes de covariâncias são indicados.

4 REFERÊNCIAS

ANUALPEC: Anuário da Pecuária Brasileira. **Anuário da Pecuária Brasileira**, v.1, 20^a ed., São Paulo, SP: Instituto FNP, 2017.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais conforto térmico**.1.ed. Viçosa: UFV, 246 p., 1997.

BARBOSA, M. **Uma abordagem para análise de dados com medidas repetidas utilizando modelos lineares mistos**. Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 118 p., 2009.

BARROS JUNIOR, C. P., DE SOUSA JUNIOR, S. C., CAMPELO, J. E. G., AZEVEDO, D. M. M. R., CARVALHO, G. M. C., & DE SOUSA, P. H. A. A. **Avaliação de parâmetros fisiológicos de caprinos da raça Anglonubiana em Teresina, Piauí**. Revista Electrónica de Veterinária, v.18, n.12, p. 1-11, 2017^a.

BARROS JUNIOR, C. P., DE SOUSA JUNIOR, S. C., CAMPELO, J. E. G., AZEVEDO, D. M. M. R., CARVALHO, G. M. C., & DE SOUSA, P. H. A. A. **Avaliação de parâmetros fisiológicos em diferentes raças de caprinos na Região Nordeste brasileira**. Revista Electrónica de Veterinária, v.19, n.17, p. 1-11, 2017.

BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P. **Effects of heat dtress on postabsorptive metabolism and energetics**. Annu. Rev Anim Biosci, n.1, p. 311-337, 2013.

BENNETT, S.; WERNBERG, T.; CONNELL, S. D.; HOBDAI, A. J.; JOHNSON, C. R.; POLOCZANSKA, E. S. **The 'Great Southern Reef': Social, ecological and economic value of Australia's neglected kelp forests.** Marine and Freshwater Research, n.67, p. 47-56, 2016.

BERNABUCCI, Umberto et al. **Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants.** Animal, v.4, n.7, p. 1167-1183, 2010.

BOECK, P.; NABEREZNY, C. L.; TAVARES, H. R. **Linear nonlinear generalized mixed models: inference and applications.** Fortaleza: Escola de Modelos de Regressão, p.123, 2001.

BROWN-BRANDL, T.M.; NIENABER, J.A.; EIGENBERG, R. A.; et al. **Comportamento de ovinos submetido a três níveis de temperatura ambiente.** Revista Ceres, v.20, p. 231-242, 2003.

BROWN-BRANDL, TAMI M. Understanding heat stress in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, V. 47, 2018.

CALUS, M. P. L.; POOL, M. H.; VEERKAMP, R. F. **Heterogeneous variances and genotype x environment interaction in a random regression test-day model.** In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, n.8, Belo Horizonte. Proceeding. Belo Horizonte, MG, Brasil. CD-ROM, 2006.

CAMARINHA FILHO, J. A. **Modelos lineares mistos: estruturas de matrizes de variâncias e covariâncias e seleção de modelo.** Tese (Doutorado em Agronomia: Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 85 p., 2002.

CAMPOS, R.T. **Uma abordagem econométrica do mercado potencial de carne de ovinos e caprinos para o Brasil.** Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza (CE), v.30, n.1, p. 26-47, 1999.

CARVALHEIRO, R.; SCHENKEL, F. S.; ALBUQUERQUE, L. G. **Efeito da heterogeneidade de variância residual entre grupos de contemporâneos na avaliação de genética de bovinos de corte.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.4, p. 1680-1688, 2002.

CECON, P. R et al. **Análise de medidas repetidas na avaliação de clones de café ‘Conilon’**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.9, p. 1171-1176, set. 2008.

COSTA, M. S. **Inventário e caracterização de caprinos do grupo naturalizado Gurguéia e sua relação com os principais grupos genéticos do semi-árido do estado do Piauí**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí.

COSTA, R. G.; ALMEIDA, C. C.; PIMENTA FILHO, E.; et al. **Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região semi-árida do estado da Paraíba, Brasil**. Archivos de Zootecnia, v.57, n.218, p. 195-205, 2008.

COSTA, S. C. da. **Modelos lineares generalizados mistos para dados longitudinais**. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 110 p., 2003.

DENN, M. M. **Process Modeling**. Harlow, Longman,. 324 p., 1986.

CUNNINGHAM, Hugh. **Children and childhood in western society since 1500**. Routledge, 2014.

EGITO, A. A.; MARIANTE, A. S.; ALBUQUERQUE, M. S. M. **Programa brasileiro de conservação de recursos genéticos animais**. Arch. Zootec, v.51, p. 39-52, 2002.

EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; SANTOS, P. E. F.; SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; et al. **Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, n.8, p.1807-1814, 2011.

FENG, M.; MEYERES, G.; PERACE, A.; WIJFFELS, S. **Annual and interannual variations of the Leeuwin Current at 32°S**. J. Geophys. Res. 108, p. 2156-2202, 2003.

FIGUEIREDO, E. H. **Recursos genéticos e programas de melhoramento na espécie caprina no Brasil**. In: 7º Congresso Brasileiro de Reprodução Animal. Belo Horizonte. Brasil, 1987.

FLORIANO, E. P. et al. **Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores**. Ciência Florestal, v.16, n.2, p.177-199, 2006.

Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v16n2/A6V16N2.pdf>.

Acesso em: 17 out. 2018.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Statistical Yearbook**, v. 1. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FONSECA, W. J. L., AZEVÊDO, D. M. M. R., CAMPELO, J. E. G., FONSECA, W. L., LUZ, C. S. M., OLIVEIRA, M. R. A., ... & SOUSA JÚNIOR, S. C. **Effect of heat stress on milk production of goats from Alpine and Saanen breeds in Brazil**.

Archivos de zootecnia v. 65, n. 252, p. 615-621, 2016.

HALL, Mary B. et al. **A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.79, n.15, p. 2079-2086, 1999.

HAMZAOU, S.; SALAMA, A. A. K.; CAJA, G.; ALBANELL, E.; FLORES, C.; SUCH, X. **Milk production losses in early lactating dairy goats under heat stress**. J. Dairy Sci. 95 (Suppl. 2), p. 672-673, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal 2017. Tabela 3939: efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho, 2008 a 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 01 out. 2018.

IPCC. Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability** (eds Field, C. B. et al.) Cambridge Univ., Cambridge, 2014.

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. **Heat stress in lactating dairy cows: a review**. Livestock Prod Sci., v. 77, p. 59-91, 2002.

KER, H-W.; WARDROP, J.; ANDERSON, C. **Application of linear mixed-effects models in longitudinal data: a case study**. 2003

http://www.hiceducation.org/Edu_Proceedings/Hsiang-Wei%20Ker.pdf . acessado em 30 Jul. 2018.

KREGEL, K. C.; WALL, P. T; GISOLFI, C. V. **Peripheral vascular responses to hyperthermia in the rat**. J Appl Physiol, v.64, p. 2582-2588, 1988.

LAIRD, N. M.; WARE, J. H. **Random-effects models for longitudinal data**. Biometrics, v.38, p. 963-974, 1982.

- LAMBERT, G. P. **Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects.** J Anim Sci, v.87, p. 101-108, 2009.
- LIMA, P. J. de S. **Caracterização demográfica e estado de conservação dos rebanhos caprinos nativos no Estado da Paraíba.** Dissertação (Mestrado). CCA/UFPB. 62 p., 2005.
- LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. **SAS system for mixed models,** Cary, 633 p, 2006.
- LIU, F.; YIN, J.; DU, M.; YAN, P.; XU, J.; ZHU, X.; YU, J. **Heat-stress-induced damage to porcine small intestinal epithelium associated with downregulation of epithelial growth factor signaling.** J Anim Sci, v.87, p. 1941-1949, 2009.
- LÔBO, R. N. B. **Brazilian hair sheep breeds: origin, characteristics and their economical and social importance Proceedings.** VII World Congr. on Coloured Sheep, v.1, p. 36-44, 2009.
- LUSH, Jay L. **Animal breeding plans.** Iowa State College Press, Ames, 443 p, 1945.
- LUZ, C. S. M., JUNIOR, C. P. B., FONSECA, W. J. L., DE AMORIM, R. B., DA SILVA, L. A., LIMA, L. A., ... & DOS SANTOS, K. R. **Estimativas de características termorreguladoras de ovinos em período seco e chuvoso criados na região do Vale do Gurgueia, sul do estado do Piauí.** Acta Veterinaria Brasilica, v.8, n.1, p.19-24, 2014.
- LUZ, C.S.M.; FONSECA, W.J.L.; VOGADO, G.M.S.; FONSECA, W.L.; OLIVEIRA, M.R.A.; SOUSA, G.G.T.; FARIAS, L.A.; SOUSA JÚNIOR, S.C. **Adaptative thermal traits in farm animals.** Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, v. 4, n. 1, p. 6-11, 2016.
- MCDOWELL, R. E. **Bases biológicas de la produccion animal en zonas tropicales.** 1ª. Ed., Icone. São Paulo, 1989.
- MARTINS, E. N.; LOPES, P. S.; SILVA, M. A.; REGAZZI, A. J. **Modelo linear misto.** Viçosa: Imprensa Universitária, 46 p., 1993.
- MORAES NETO, O. T.; RODRIGUES, A.; ALBUQUERQUE, A. C. A.; MAYER, S. **Manual de capacitação de agentes de desenvolvimento rural (ADRs) para a Caprinovinocultura.** SEBRAE/PB. João Pessoa. 114 p., 2003.

NATI, J. J. H.; LINDSTROM, J.; HALSEY, L. G.; KILLEN, S. S. **Is there a trade-off between peak performance and performance breadth across temperatures for aerobic scope in teleost fishes.** *Biology Letters*, v.12, 2016.

NEVES, M. M. W.; AZEVEDO, M.; COSTA, L. A. B.; GUIM, A.; Leite, A. M.; CHAGAS, J. C. **Níveis críticos do índice de conforto térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do estado de Pernambuco.** *Acta Sci Anim Sci*; 31(2): p. 169-175, 2009.

NOAA, 2014. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html>

NÓBREGA, G. H.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; MANGUEIRA, J. M. A **produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido paraibano,** *Revista Verde*, v. 6, p: 67-73, 2011.

OLIVEIRA, C. A. L.; MARTINS, E. N.; FREITAS, A. R.; et al. **Heterogeneidade de variâncias nos grupos genéticos formadores da raça Canchim.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.4, p.1212-1219, 2001.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.) **Climate Change. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,** IPCC, Geneva, 2014.

PEARCE, S. C.; MANI, V.; WEBER, T. E.; RHOADS, R. P.; PATIENCE, J. F.; BAUMGARD, L. H.; GABLER, N. K. **Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs.** *J Anim Sci*, v.91, p. 5183-5193, 2013.

PECL, G. T.; ARAÚJO, M. B.; BELL, J. D.; BLANCHARD, J.; BONEBRAKE, T. C.; Chen, I.-C.; WILLIAMS, S. E. **Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being.** *Science*, 355, e9214, 2017.

PICCIONE, G., REFINETTI, R. **Thermal chronobiology of domestic animals.** *Front Biosci*. v.8, p. 258-264, 2003.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **LME and nLME: mixed effects models methods and classes for S and S-Plus.** Version 1.2. Madison: University of Wisconsin-Madison; 1995.

PIRES, M. D. F. A.; DE CAMPOS, Aloísio Torres. **Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite**. Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2004.

RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J. L.; FLEURY, J.; FERCHAUD, S.; BILLON, Y.; NOBLET, J.; GILBERT, H. **Selection for residual feed intake in growing pigs: Effects on sow performance in a tropical climate**. J Anim Sci, v.92, p. 3568-3579, 2014.

RIBEIRO, M. N.; CRUZ, G. R. B.; OJEDA, D. B. **Recursos genéticos de pequenos ruminantes na América do Sul e estratégias de conservação**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v.43, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBZ, p. 800-817, 2006.

RIBEIRO, N. L.; PIMENTA FILHO, E. C.; ARANDAS, J. K. G.; RIBEIRO, M. N.; SARAIVA, E. P.; BOZZI, R.; COSTA, R. G. **Multivariate characterization of the adaptive profile in Brazilian and Italian goat population**. Small Rumin Res, v.123, p. 232-237, 2015.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B. **Fatores ambientais, nutricionais e de manejo e índices de conforto térmico na produção de ruminantes no semiárido**. Revista Verde, v.6, p. 08-13, 2011.

ROCHA, F. M. M. **Seleção de estruturas de covariância para dados com medidas repetidas**. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 114 p., 2004.

ROLLWAGEN, F. M.; MADHAVAN, S.; SINGH, A.; LI, YY.; WOLCOTT, K.; MAHESHWARI, R. **IL-6 protects enterocytes from hypoxia-induced apoptosis by induction of bcl-2 mRNA and reduction of fas mRNA**. Biochem Biophys Res Commun, v.347, p. 1094-1098, 2006.

ROSÁRIO, M. F.; SILVA, M. A. N.; SAVINO, V. J. M.; COELHO, A. A. D.; MORAES, M. C. **Avaliação do desempenho zootécnico de genótipos de frangos de corte utilizando-se a análise de medidas repetidas**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, MG, v.34, n.6, p. 2253-2261, Suplemento, 2005.

SAS. **STATISTICAL ANALYSES SYSTEM - SAS**. SAS/STAT User's guide. Version 9.0. 4ª.ed. v.2. Cary: 2002.

SALAMA, A. A. K.; CAJA, G.; HAMZAOUI, S.; BADAOU, B.; CASTRO-COSTA, A.; Façanha, D. A. E.; Guilhermino, M. M.; Bozzi, R. **Different levels of response to heat stress in dairy goats.** *Small Rumin Res*, v.121: p.73-79, 2014.

SANDERS, S. R.; COLE, L. C.; FLANN, K. L.; BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P. **Effects of acute heat stress on skeletal muscle gene expression associated with energy metabolism in rats.** *FASEB J*, v. 23, 598 p., n.7, 2009.

SHWARTZ, G. et al. **Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows.** *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 3, p. 935-942, 2009.

SILANIKOVE, N. **Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants.** *Livest Prod Sci*, v.67, p.1–18, 2000.

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; ACARARO JÚNIOR, I.; PIEDADE, S. M. S.; MOURA, D. J. **Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas Holandesas.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31: p. 2036-2042, 2002.

SILVA, G. A.; SOUZA, B.B.; ALFARO, C.E.P., et al. **Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.10, n.4, p.903-909, 2006.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal.** São Paulo: Nobel. 2000.

SILVA, R. G.; GUILHERMINO, M. M.; FACANHA-MORAIS, D. A. E. **Thermal radiation absorbed by dairy cows in the pasture.** *Int. J. Biometeorol*, v.47, p.23–29, 2009.

SOMERO, G. N. **The physiology of climate change: How potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine ‘winners’ and ‘losers’.** *Journal of Experimental Biology*, v.213, p. 912-920, 2010.

SOUZA, B. B. DE.; SOUZA, E. D. DE; CEZAR, M. F.; SOUZA, W. H. DE; SANTOS, J. R. S. DOS; BENICIO, T. M. A. **Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido nordestino.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.275-280, 2008^a.

SOUZA, E. D.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H. **Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido.** *Ciênc Agrotec*, v.29(1), p.177-84, 2005.

TORRES, R.A. **Efeito da heterogeneidade de variância na avaliação genética de bovinos da raça Holandesa no Brasil.** 1998. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

VAN DER WERF, J. H. J.; SHAEFFER, L.R. **Random regression in animal breeding.** Course notes, University of Guelph, Ontario, Canadá, 1997.

YU, J.; YIN, P.; LIU, F.; CHENG, G.; GUO, K.; LU, A.; ZHU, X.; LUAN, W.; XU, J. **Effect of heat stress on the porcine small intestine: A morphological and gene expression study.** *Comp Biochem Phys. A* 156, 119-128, 2010.

5 CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DA RESPOSTA TERMORREGULATÓRIA DE CABRAS
EXPOSTAS NATURALMENTE AO CLIMA TROPICAL A PARTIR DO USO DE
DADOS LONGITUDINAIS

AVALIAÇÃO DA RESPOSTA TERMORREGULATÓRIA DE CABRAS
EXPOSTAS NATURALMENTE AO CLIMA TROPICAL A PARTIR DO USO DE
DADOS LONGITUDINAIS

EVALUATION OF THE THERMOREGULATORY RESPONSE OF GOATS
NATURALLY EXPOSED TO TROPICAL CLIMATE USING LONGITUDINAL
DATA

Destaques

- Os parâmetros fisiológicos TR, FC e FR medidos como dados longitudinais em cabras, apresentam estrutura de covariância residual distintas.
- A modelagem com os dados de temperatura retal ajusta-se com o uso da matriz de resíduo Simétrica composta heterogênea, enquanto a matriz Autorregressiva heterogênea ajustou-se para modelar com dados das frequências respiratória e cardíaca.
- A TR oscilou dentro da faixa padrão para caprinos nos trópicos
- A TR foi mantida dentro da amplitude de variação apresentada por raças adaptadas a ambiente quente;
- A gestação condiciona a cabra a elevar a FR na época chuvosa do ano na região para manter a TR na faixa de amplitude normal para caprinos.

Resumo

Utilizou-se a Temperatura retal (TR), Frequências cardíaca (FC) e respiratória (FR) aferidas como medidas repetidas no tempo em cabras, objetivando identificar matrizes de estruturas de covariância que melhor se ajustam aos dados para modelagem de resíduos nessas características e também avaliar a sensibilidade de cabras ao calor. Constatou-se cinco matrizes com convergência nas três características. A Simétrica composta heterogênea ajustou-se bem para modelagem do resíduo associado a TR, enquanto a Autorregressiva heterogênea ajustou-se melhor para a FR e FC, de acordo com os critérios

AIC, AICc e BIC. Em análise com modelos mistos a Época de coleta, Estado fisiológico e Idade da cabra foram avaliados como efeitos fixos após modelagem com a melhor estrutura de resíduos. A modelagem do resíduo interferiu de modo diferenciado no p valor associado aos efeitos fixos estudados. A época da coleta e interações não influenciaram a variação da TR ($P>0,761$), que oscilou dentro da faixa padrão para caprinos nos trópicos, mas o Estágio fisiológico sim ($P<0,05$). A Temperatura retal e as Frequências cardíaca e respiratória tendem a apresentar estruturas de covariâncias modeláveis com utilização de matrizes de covariâncias residuais específicas, sendo a Simétrica composta heterogênea adequada para dados da Temperatura retal, enquanto a Autorregressiva heterogênea para as Frequências cardíaca e respiratória. As cabras mantêm a temperatura retal dentro da amplitude de variação apresentada por raças adaptadas a ambiente quente. Isso ocorre independente da condição fisiológica, mas com ocorrência de variação na frequência respiratória e cardíaca, não excedendo a faixa normal para caprinos. A gestação condiciona a cabra a elevar a FR na época chuvosa do ano na região para manter a TR na faixa de amplitude normal para caprinos.

Palavra-chave: Estresse térmico. Estrutura de covariância. Medidas repetidas. Parâmetros fisiológicos

Abstract

Rectal temperature (RT), Heart rate (HR) and Respiratory rate (RR) measured as repeated measures in time in goats, aiming to identify matrices of covariance structures that best fit the data for modeling residues in these traits and also assess the sensitivity of goats to heat. Five matrices were found with convergence in the three characteristics. The heterogeneous composite Symmetric fitted well for modeling the residual associated with TR, while the heterogeneous Autoregressive fitted better for RR and HR, according to the AIC, AICc and BIC criteria. In analysis with mixed models, the time of collection, physiological state and age of the goat were evaluated as fixed effects after modeling with the best residue structure. The residual modeling interfered differently in the p value associated with the studied fixed effects. The time of collection and interactions did not influence the TR variation ($P>0.761$), which fluctuated within the standard range for goats in the tropics, but the physiological stage did ($P<0.05$). Rectal Temperature and Heart and Respiratory Rates tend to present covariance structures that can be modeled using specific residual covariance matrices. being the heterogeneous composite Symmetric suitable for

rectal temperature data, while the heterogeneous Autoregressive for heart and respiratory rates. Goats maintain rectal temperature within the range of variation presented by breeds adapted to a hot environment. This occurs regardless of the physiological condition, but with the occurrence of variation in respiratory and heart rate, not exceeding the normal range for goats. Gestation conditions the goat to raise the RR in the rainy season of the year in the region to maintain the RT in the normal range for goats

Key words: Covariance structure. Physiological parameters. Repeated measurements. Thermal stress.

Introdução

Por muitos anos, os produtores criaram animais priorizando mais, apenas, a maior capacidade produtiva, mas as condições ambientais impõem restrições que podem resultar na redução dos principais indicadores de eficiência produtiva. Diante disso tornou-se necessário estudos sobre a capacidade adaptativa dos animais (Leite et al., 2021), visto que a interação entre um animal e seu ambiente desencadeia respostas fisiológicas e comportamentais para manter a homeostase (Gupta et al., 2018; Hooper et al., 2020), que concorrem com os indicadores de desempenho.

Para produzir em ambiente tropical o animal necessita de conforto térmico, com equilíbrio entre a perda e o ganho de calor. Em região com secas prolongadas, elevada temperatura durante o ano, não limita a criação de caprinos, que são capazes de sobreviver em ambiente adverso. Mas recorrer a mecanismos fisiológicos de adaptação, a performance tende a ser comprometida (Rashamol et al., 2020).

Nos trópicos a temperatura e a umidade relativa do ar influenciam o balanço calórico dos animais ao longo do ano, com a perda de calor por via evaporativa dificultada na época chuvosa, mas favorecida na época seca por não depender de diferencial de temperatura (Souza et al., 2012).

Em relação ao tipo de animal, a fêmea que permanece longo tempo no rebanho, deve se adequar às oscilações do ambiente, mesmo com sensibilidade ao estresse variando no seu ciclo de reprodução (Mousinho et al., 2014). Nesse contexto, o uso de medidas repetidas de parâmetros fisiológicos pode ampliar chances de detectar a interação do animal com variações climáticas.

Entretanto, dados longitudinais apresentam estrutura hierárquica, uma vez que medida repetida no indivíduo pode apresentar dependência entre os resíduos, mas entre os indivíduos são independentes (Santos et al., 2016). A correlação entre medidas consecutivas e variâncias que mudam com o passar do tempo podem interagir, formando estrutura de covariância complexa de modo que os métodos padrão de análise de variância, baseado em quadrados mínimos, tendem apresentar resultados com viés, por não ter atendidas pressuposições básicas, limitando inferências se a estrutura de covariância não for modelada (Sarmiento et al., 2016).

A abordagem em várias áreas de conhecimento tem sido o uso de matriz de covariância residual, para identificar estrutura que explique bem a variabilidade nos dados e correlação entre medidas consecutivas tomadas no mesmo animal em diferentes momentos ao longo do tempo. Como opção disponível na literatura, há cerca de 40 matrizes com diferentes estruturas de covariância residuais (Santos et al., 2016), que são escolhidas por diferentes critérios, como Critério de Informação de Akaike (AIC e AICc) e de Schwarz (BIC).

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a sensibilidade de cabras ao calor com base na variação da Temperatura retal (TR), Frequências cardíaca (FC) e respiratória (FR) e avaliar nessas características a influência da modelagem de resíduos sobre a significância de época de coleta, estado fisiológico e idade da cabra, incluídos como efeito fixo em um modelo misto.

Material e Métodos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Piauí (UFPI) e desenvolvido com base nas normas estabelecidas pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal desta Instituição de Ensino Superior (Protocolo nº 045/2017). As informações utilizadas no estudo foram de parâmetros fisiológicos de cabras da raça Anglonubiana que fazem parte do banco de dados do rebanho Experimental do Departamento de Zootecnia da UFPI, que está localizado na cidade de Teresina, Piauí (5°5'20" de latitude sul e 42°48'07" de longitude oeste).

O clima no local da pesquisa é o tropical seco com duas épocas distintas: a chuvosa (que ocorre no verão e outono) e a seca (que ocorre no inverno e primavera). A média da precipitação pluviométrica anual de referência é 1.300 mm, mas irregularmente distribuída e concentrada no período de janeiro a maio. A temperatura média anual é de 27°C, mais elevada no segundo semestre do ano.

No manejo reprodutivo as fêmeas foram divididas em dois lotes que entraram em reprodução em semestres diferentes, sendo que os acasalamentos em um coincidiram com a lactação no outro lote, garantindo assim animais contemporâneos para se avaliar nos estágios não gestante, em gestação e em lactação, na época seca e na chuvosa do ano.

As informações de Temperatura retal (TR), Frequência cardíaca (FC) e Frequência respiratória (FR) que compõem o banco de dados, foram coletadas com o seguinte critério: mensuração a tarde (14 às 17 horas), com animais contidos no interior do Aprisco em datas ao longo da Estação de monta de cada semestre durante três anos. A primeira coleta ocorreu no início da estação, a segunda no terço final da gestação e a terceira até a segunda semana após o parto.

A TR foi aferida com o auxílio de termômetro digital, que inserido na ampola retal do animal permaneceu até a emissão do sinal sonoro indicando a estabilização da temperatura; na mensuração da FC foi utilizado estetoscópio manual posicionado na região torácica esquerda, na altura do arco aórtico, durante um minuto e expressa em batimentos por minuto (bat./min.); a mensuração da FR foi realizada com a contagem direta dos movimentos do flanco do animal, durante um minuto e o resultado expresso em movimentos por minuto (mov.min-1).

Na edição dos arquivos para análise estatística, foram incluídas informações mensuradas em cinco semestres de três anos consecutivos, compondo uma estrutura de dados com medidas repetidas no tempo, em animal com diferentes idades e diferentes estágios fisiológicos. O arquivo foi formatado com a seguinte organização: animal, pai, datas de nascimento, do parto e de coleta dos dados, e valores da TR, FC e FR. Com essas datas definiu-se para cada animal os efeitos fixos de Época de coleta - EC, Estágio fisiológico - EF e Classe de idade- CI das cabras no momento da coleta.

Para avaliação de efeito do período do ano que os dados foram coletados, considerou-se três épocas da seguinte forma: EC1 - coletas de janeiro a maio que é a época chuvosa e quente, EC2 - em junho e julho que é época seca com noite amena e EC3 - de agosto a dezembro que é a época seca e quente na região, respectivamente com n iguais a 202, 94 e 304 medidas.

Para avaliação do efeito da condição fisiológica dentro de época de coleta, as cabras foram divididas em três estágios fisiológicos: EF1 - Não gestante (cabra sem confirmação de prenhez nem lactante), EF2 - Gestante (cabras nos dois terços final da gestação) e EF3 - Em lactação (cabras com cria ao pé), com n iguais a, respectivamente,

218, 175 e 204 medidas. Para análise de efeito de idade os animais foram agrupados em quatro classes: CI1 - de um a menos de dois anos, CI2 - de dois a menos de três anos, CI3 - três até cinco anos e CI4 - mais de cinco anos, respectivamente com n iguais a 131, 105, 204 e 170 medidas.

O início das coletas ocorreu numa estação de monta que foi instalada na época seca do ano. Nessa estação durante 6 dias alternados no mês de setembro foram mensurados os parâmetros fisiológicos em todas as matrizes do lote que entrou em reprodução (EF1 - não gestantes). Repetiu-se a coleta 90 dias depois, no final da época seca, nas cabras com gestação confirmada (EF2). Repetiu-se as mesmas coletas após a primeira semana de lactação (EF3), totalizando nesse lote 42 animais nos quais mensurou-se a TR, FR e FC nos três estágios fisiológicos.

Nos dois anos seguintes esse processo de coleta de dados foi repetido com essas e outras cabras que participaram das estações de monta instaladas nas épocas chuvosa e seca desses anos, em quantidade equivalente de animais nos dois lotes que entraram em reprodução um em cada semestre, disponibilizando dados dos três estágios fisiológicos em cada data de coleta realizada.

Para abordar o efeito da modelagem da estrutura de covariância de cada característica sobre a eficiência do teste F, recorreu-se a modelagem de resíduos com sete matrizes de covariância, dentre 40 disponíveis ao usuário na rotina MIXED do SAS® University Edition (SAS, 2020): a Simétrica Composta, Autorregressiva, Componente de Variância, Simétrica Composta Heterogênea, Autorregressiva Heterogênea, Toeplitz e Não Estruturada.

Para comparar o ajuste proporcionado pelas matrizes de diferentes estruturas, utilizou-se os Critérios de Informação de Akaike (AIC), Akaike corrigido (AICc) e o Bayesiano de Schwarz (BIC), definidos respectivamente, como:

$$AIC = -2 \log L + 2p;$$

$$AICc = -2 \log L(\theta) + 2(p) + 2p(p+1)/(n-p-1);$$

$$BIC = -2 \log_e L + p \log(N-r(X));$$

sendo: p é o número de parâmetros estimados; N é o número de observações; $r(X)$ corresponde ao posto da matriz de incidência dos efeitos fixos do modelo; logeL é o logaritmo da função de máxima verossimilhança restrita.

Menores valores de AIC, AICc e BIC, indicam o modelo mais apropriado entre os testados. Com o procedimento PROC MIXED do SAS, que implementa efeitos aleatórios e fixos no modelo estatístico para modelar a estrutura de covariância dos resíduos e assim computar estimativas eficientes de efeitos fixos, analisou-se com modelo misto a variância das três características com as cinco matrizes de covariâncias que convergiram.

O modelo linear misto, em notação matricial, pode ser representado: $Y = Xb + Zu + e$; onde b é o vetor dos parâmetros associados aos efeitos fixos, u aos efeitos aleatórios, e e vetor de erros aleatórios, sendo u e e não correlacionados, com esperanças nulas e matrizes de covariâncias X e Z , respectivamente.

O modelo linear misto empregado foi:

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + A_j + EC_k + EF_l + CI_m + (EC*EF) + (EF*CI) + \varepsilon_{ijklm},$$

sendo: Y_{ijklm} = medida na filha do pai i , ano j , época coleta k , estágio fisiológico l , classe idade m ; P_i é o efeito aleatório do pai i ; A_j é o efeito aleatório da medida no ano j ; EC_k é o efeito fixo da medida na época de coleta k ; EF_l é o efeito fixo da medida na cabra do estágio fisiológico l ; CI_m é o efeito fixo da medida em cabra da classe de idade m ; $(EC*EF)$ e $(EF*CI)$, são os efeitos das Interações; ε_{ijklm} é o Erro aleatório associado a cada medida, o qual foi modelado sob diferentes estruturas de variância e covariância.

A influência da modelagem da estrutura de covariâncias residual de cada característica sobre a identificação de significância dos efeitos fixos incluídos no modelo (p valor do teste F), foi avaliada com uso de duas matrizes que apresentaram os melhores ajustes aos dados e pela matriz que apresentou ajuste mais pobre dentre as cinco que convergiram. Para a análise da resposta das cabras aos três efeitos fixos incluídos no modelo, utilizou-se para a TR a modelagem da estrutura de covariância proporcionada pela matriz Simétrica composta heterogênea e para as frequências cardíaca e respiratória a Autorregressiva heterogênea que se ajustou à estrutura dos dados de cada característica.

Nas comparações de médias considerou-se significância com $p < 0,05$ usando a diferença mínima significativa de Fischer (opção DIFF disponível na função LSMEANS do SAS).

Resultados e Discussão

A Temperatura Retal (TR) e as Frequências Cardíaca (FC) e Respiratória (FR) aferidas como dados longitudinais em cabras da raça Anglonubiana apresentaram estrutura de covariância residual que necessitou ser modelada. A modelagem, por sua vez interferiu no nível de significância indicado pelo teste estatístico (p valor) que foi utilizado para qualificar a influência que os fatores época de coleta, condição fisiológica e idade da cabra, quando incluídos no modelo misto como efeitos fixos, exerceram sobre o comportamento dessas características em estudo da resposta de caprinos ao calor.

Ocorreu influência da modelagem da estrutura de covariâncias residual de cada característica sobre a identificação de significância dos efeitos fixos incluídos no modelo (p valor do teste F), quando foram avaliadas utilizando-se as matrizes Simétrica composta heterogênea e Autorregressiva heterogênea, que apresentaram o melhor ajuste aos dados, enquanto a matriz Componente de variância, apresentou ajuste mais pobre, dentre as que convergiram.

A respeito desse contraste, pode ser que a complexidade da estrutura de covariância residual tendo como causa a interação da correlação entre medidas consecutivas e variâncias que mudam com o passar do tempo, em características dessa natureza, pode comprometer a qualidade dos resultados se submetidos ao uso de métodos de análise de variância padrão, por não terem atendidas algumas pressuposições básicas.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados relacionados com a escolha da melhor estrutura da matriz de covariâncias para representar a variabilidade nos dados e as correlações entre as medidas consecutivas nas características avaliadas, levando em consideração a qualidade das medidas de ajuste, AIC, AICc e BIC. Percebe-se que das matrizes de covariâncias testadas, em cinco a convergência ocorreu simultaneamente para a TR, FR e FC, que é indício de similaridade na complexidade da estrutura de dados dessas características, decorrentes da contribuição direta do animal e do ambiente, que levam a medidas próximas no tempo serem mais correlacionadas, embora as variâncias tendam a mudar com o tempo.

Os critérios AIC, AICc e BIC não divergiram na identificação das matrizes que convergiram em cada característica avaliada (TR, FR e FC), facilitando assim identificar estruturas de covariâncias que podem ser mais parcimoniosas para representar bem a variabilidade presente nos resíduos, que é uma condição necessária para melhorar a qualidade das inferências a serem feitas nos parâmetros incluídos no modelo proposto.

No que concerne a esse resultado, convém considerar que há equivalência dos testes AIC e AICc. Já o BIC pode não ter apresentado tendência de penalizar as matrizes com mais parâmetros, por se mostrarem parcimoniosas, favorecidas principalmente se os dados longitudinais apresentarem estrutura regular.

Nessa argumentação convém também considerar o fato de estar sendo avaliado matrizes com propriedades que contrastam a homogeneidade com a heterogeneidade de variâncias dos resíduos. As propriedades dessas matrizes dão suporte para se considerar que a heterogeneidade de variância residual, bem como padrões de correlação entre medidas próximas foram bem evidenciadas nessas características, que, por sua vez, podem se combinar numa estrutura de covariância complexa.

Em relação à classificação da qualidade dos diferentes modelos avaliados (Tabela 1), a estrutura de covariância com matriz Simétrica Composta Heterogênea (SCH) proporcionou o melhor ajuste uma vez que gerou os menores valores AIC, AICc e BIC para a característica TR, seguido do modelo Autorregressiva Heterogênea (ARH). Por outro lado, para as características FR e FC o modelo Autorregressiva Heterogênea (ARH) apresentou os menores valores AIC, AICc e BIC, desta forma, mostrou-se mais eficiente, seguido do modelo Simétrica Composta Heterogênea (SCH).

A constatação das matrizes Simétrica Composta Heterogênea e Autorregressiva Heterogênea com o melhor ajuste para a TR, FR e FC das cabras, não concorda com a simulação de dados feita por Santos et al. (2016), que avaliando a estrutura de covariância para características de carcaça e tamanho corporal com medidas repetidas em ovinos de diferentes grupos genéticos, apontaram a Simétrica composta como a que melhor representa a variação residual.

Constatou-se que a matriz Toeplitz não convergiu para a FR e FC (Tabela 1), evidenciando que são características muito correlacionadas quando os animais são submetidos a estresse por calor (Kaushik et al., 2020). Com base nas propriedades dessa matriz, o que sugere ocorrência de variação na correlação entre essas características, à medida que as distâncias entre tempos crescem. Ou seja, a FR e a FC oscilam em resposta a elevação da TR, essa por sua vez, tenderá a diminuir como resposta termorregulatória dos movimentos respiratórios. Portanto, são inter-relacionadas com variação no mesmo sentido, ocorrendo simultaneamente no processo de termólise, mas provavelmente com funções diferenciadas.

A TR do animal ao longo de um dia de calor está relacionada com a variação da temperatura ambiente e da Umidade Relativa do ar, mas ao mesmo tempo também com

a reação do animal mediante elevação da FC e FR, que está associada, respectivamente, a termólise por dilatação periférica e por evapotranspiração (N. L. Ribeiro et al., 2016; Rashamol et al., 2020).

O fato de a matriz Não-estruturada não convergir não implica em inadequação, pois envolve estimar um número de parâmetros maior, por isso, maior é a dificuldade de convergência, principalmente quando a estrutura dos dados é real, coletada a campo, e modelos estatísticos mais complexos com vários efeitos fixos e aleatórios.

A inclusão no modelo dos efeitos de época de coleta, idade dos animais e o estágio fisiológico, que é uma particularidade das fêmeas, torna a análise realizada nessa pesquisa mais parametrizada que a análise do estudo que usou simulação de dados. Essa parametrização contribui para a discordância dos resultados comparados, bem como o fato do estudo com a simulação ter incluído apenas três matrizes de covariâncias para a modelagem residual.

A TR, FC e FR são as características fenotípicas mais utilizadas em estudos de termorregulação nos animais domésticos (Giannetto et al., 2017; Vasconcellos et al., 2022), geralmente como medidas pontuais, que é uma estrutura de dados mais limitada, em relação ao uso de medida repetida. Assim, com base na constatação de variâncias heterogêneas, pode-se considerar que, para avaliar de forma mais eficiente a tolerância de animais ao calor é necessário recorrer a ajustes para aproveitar as vantagens da estrutura de dados longitudinais, pois esse tem sido o procedimento padrão em características diversas que se repetem ao longo do tempo, independente da área de conhecimento.

Considerando-se que a manutenção da homeostase corporal é uma exigência para produzir sob temperatura ambiente elevada (Souza et al., 2012; Leite et al., 2018), com a utilização de dados longitudinais da TR, FC e FR, as propriedades das matrizes aqui estudadas podem ser úteis para explorar particularidades das covariâncias ambiental inerentes ao processo de termólise, que ocorre por condução ou por evapotranspiração.

Detalhando-se esses resultados, constatou-se que o valor do Teste F mostrou-se sensível à mudança da matriz usada para a modelagem do resíduo. Diferenças no nível de significância dos efeitos fixos na TR, FC e FR, indicadas pelo p valor do teste F, principalmente das interações, são observadas na Tabela 2 com as matrizes Simétrica Composta Heterogênea e a Autorregressiva Heterogênea, que foram as de melhor ajuste e apresentam propriedades que preconizam variância residual heterogênea e também com

a matriz Componente de variância (CV), que apresentou qualidade de ajuste mais pobre dentre as que convergiram, possivelmente por preconizar variâncias homogêneas nos resíduos e independência.

Assim, independentemente de maior ou menor robustez do uso de matriz de covariâncias residuais, não é suficiente apenas considerar as variâncias da TR, FC e FR como desiguais à medida que a distância entre tempos aumenta, mas sim interpretá-la na estrutura adequada, por terem causas genética e ambiental (Kaushik et al., 2020). Independentemente da raça, o ambiente de criação e suas variáveis climáticas desencadeiam alterações fisiológicas que precisam ser entendidas como atuam para manter homeotermia (Souza et al., 2012).

A variação da TR pode desencadear simultaneamente alteração nas frequências cardíaca e respiratória, como mecanismos de termólise. Assim, a convergência com as mesmas matrizes de covariância pode ser vista como indício de heterogeneidade de variância residual com padrão similar nessas características.

Na Tabela 2 constata-se discordância com base no p-valor calculado com as diferentes modelagens assumidas para o resíduo para qualificar como significativo ou como não significativo a influência de determinado fator incluído como fixo no modelo misto. Ao se trocar a matriz de covariância provocou alteração na detecção de significância com o teste F, de tal modo que o efeito do fator avaliado mudou de significativo para não significativo, ou vice-versa. Isso ocorreu de modo diferenciado para cada característica, devido a variação da complexidade da estrutura de covariâncias dos dados.

Com a utilização das matrizes SCH e ARH os efeitos da Idade e da interação EF x CI não foram significativos na TR ($P > 0,05$), mas foram significativos com uso da matriz Componentes de variância ($P < 0,05$), o que sugere erro tipo I. Na análise da FC com uso da ARH, constatou-se que os efeitos da interação EF x CI não foram significativos ($P > 0,05$), enquanto com as matrizes SCH e CV foram significativos ($P < 0,05$). Já ao se analisar a FR com uso da SCH constatou-se que o efeito da idade foi não significativo ($P > 0,05$), enquanto com as matrizes ARH e CV foram significativos ($P < 0,05$).

Independente da matriz, constatou-se qualificando como não significativo ($P > 0,05$) o efeito da EC e da interação EC x EF sobre a TR e também para o efeito da interação EF x CI sobre a FR, ou constatou-se $P < 0,05$, que qualificou como significativo o efeito do EF sobre a TR, também os efeitos da EC, EF e CI sobre a FC e efeitos da EC, EF e da Interação EC x EF sobre a FR.

Assim, a estrutura de covariância presente se reveste de importância e a modelagem de resíduos não pode ser relegada a um segundo plano, ou seja, não se deve apenas recorrer ao uso de qualquer matriz, visto que inferência errada pode causar prejuízo, pois, independente da raça, as variáveis climáticas podem desencadear alterações fisiológicas com potencial para impactar na produção (Souza et al., 2012; M. N. Ribeiro et al., 2018).

A influência direta ou isolada de efeitos de ano, época de coleta, idade dos animais sobre a variação dos parâmetros fisiológicos nos ruminantes em ambiente tropical tem sido estudada (N. L. Ribeiro et al., 2016; Miranda et al., 2019). Já o estágio fisiológico, que é uma particularidade das fêmeas e associado a alteração de imunidade (Oliveira et al., 2019), pouco foi estudada com esse fim, como fizeram Façanha et al. (2012) e Mousinho et al. (2014).

Assim, neste estudo ficou bem evidente a necessidade da modelagem dos resíduos para contornar limitações em decorrência de heterogeneidade de variâncias e de correlações entre medidas no mesmo animal nas três características estudadas. Considerando-se essa perspectiva, a avaliação da sensibilidade das cabras ao calor foi realizada com base nos resultados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente, com as médias da TR, FR e FC estimadas após a adequada modelagem do resíduo.

A média da TR das cabras foi 39,10°C e a amplitude de variação de 38,40 a 39,14°C não extrapolou a faixa de variação de 38,50°C a 40,0°C, de caprinos de diversas raças no Brasil, constatada utilizando valores pontuais mensurados em locais com a temperatura ambiente média superior a 30°C e mais elevada na época seca do ano (Leite et al., 2012; M. N. Ribeiro et al., 2018).

Como resultados importantes apresentados na Tabela 3 destacam-se três: não constatação de efeito significativo da Época de coleta sobre amplitude de variação da TR, que pode ser justificável por ter sido aferida na parte da tarde com a temperatura ambiente acima de 30°C. A constatação do efeito do Estágio fisiológico, que associa o peri-parto a sensibilidade ao estresse (Oliveira et al., 2019), mas também associa maior atividade metabólica para manter a gestação e lactação com elevação da TR; a constatação do efeito da idade com os animais até 2 anos diferindo dos demais, possivelmente pela presença de marrãs nessa classe.

Outra vertente a se considerar é abordar esses três resultados como uma reação das cabras demonstrando capacidade de redução da TR quando submetidas ao calor, a ser

visto como um indicativo de adaptação fisiológica. Porém, condicionada a ajustes comportamentais e fisiológicos, às condições ambientais do local de criação (Sousa et al., 2015), pois a TR foi mantida na faixa de 38,5 a 40,5°C, que tem sido padrão para caprinos em condições de elevada temperatura ambiente, de acordo com valores de estudos relatados por Façanha et al. (2012), Leite et al. (2012) e Alves et al. (2021).

A capacidade dos animais responderem ao calor com alteração principalmente da FR e FC, pode ter sido o fator moderador responsável pela manutenção da TR sem diferir ao longo do ano ($p > 0,05$), concordando com afirmações de Indu et al. (2015). A alta temperatura do ambiente na época seca do ano influenciou diretamente na variação da TR dos animais. Já na variação da TR na época chuvosa ocorreu também a influência da umidade relativa do ar, que se apresentou mais elevada, o que dificulta a perda de calor (Souza et al., 2012; Miranda et al., 2019).

Essa argumentação é baseada na constatação de significância da época de coleta dos dados sobre a FR, que se apresentou inferior nos meses de junho e julho, quando a temperatura ambiente foi mais amena em relação às épocas chuvosa e seca na região. Entretanto, os valores mais elevados nessas duas épocas não é garantia de estresse por calor, pois a intensidade do efeito adverso da TA alta no animal depende da eficiência de mecanismos termorregulatórios para manter a homeotermia (Indu et al., 2015).

A média da FR das cabras utilizando-se dados coletados como medidas repetidas foi 42,5 mov.min-1. A amplitude de variação foi de 36,1 a 57,6 mov.min-1. não extrapolou a faixa de variação de 20 a 61 mov.min-1., apresentada em levantamento feito por M. N. Ribeiro et al. (2018) e Miranda et al. (2019) com caprinos de diversas raças no Brasil, utilizando valores pontuais mensurados em locais com temperatura ambiente média superior a 30°C.

Para a análise da variação da FR destaca-se que os efeitos de época de coleta e de estágio fisiológico da cabra foram significativos ($p < 0,05$), mas com dependência entre os dois (Tabela 4) indicada pela ocorrência de interação significativa ($p < 0,007$). O efeito direto da classe de idade e da interação foram não significativos para a variação na FR ($p > 0,05$).

O efeito significativo da Época de coleta sobre a variação da FR da cabra também pode ser em razão da coleta de dados à tarde, com a temperatura ambiente acima de 30°C. Já a significância do efeito do Estágio fisiológico pode ser atribuída à necessidade de

controle de elevação da TR, em razão da maior atividade metabólica na gestação e lactação (Vasconcellos et al., 2022).

A FR se destaca como uma das principais características em estudo de termorregulação com ruminantes, por indicar a perda de calor por evapotranspiração (Indu et al., 2015) de forma eficiente na faixa de amplitude da variação térmica nos trópicos. A significância da interação da Época de coleta com o Estágio fisiológico sobre a FR ($p < 0,001$) é uma informação importante para o manejo de fêmeas nesse ambiente, uma vez que são expostas a oscilações climáticas quando manejadas a campo, sem receberem atenção diferenciada na fase de maior sensibilidade a estresse (Mousinho et al., 2014).

Porém, convém considerar que, se durante o periparto a variação nos parâmetros for associada a estresse e a aumento da taxa metabólica basal, isso ocorre num momento que a cabra se encontra com fragilidade fisiológica e cuidados relacionados ao conforto térmico são fundamentais para o desempenho produtivo (Oliveira et al., 2019).

Mesmo considerando-se a FR um importante biomarcador de adaptação fisiológica ao estresse por calor (Indu et al., 2015), a elevação da FR obrigatoriamente não significa que o animal esteja sob estresse por calor, pois pode estar sendo um recurso que utilizam para perder calor corporal, que é dificultada por umidade do ar elevada na época chuvosa.

Em relação a influência da idade dos animais na FR, o efeito direto foi significativo ($p < 0,029$), mas sem interação com o estágio fisiológico ($p > 0,05$). A constatação de menor valor para os animais com idade até 2 anos e diferindo dos demais, possivelmente tem influência da participação de mães nessa classe. Mas, independentemente da condição fisiológica, a cabra de 3 a 5 anos tendeu a apresentar maior valor de FR.

As características mais importantes para o estudo da adaptação dos animais ao calor, geralmente são disponibilizadas ao criador na forma de índices combinando temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e outros fatores (Façanha et al., 2013; Habeeb et al., 2018). Porém, o estresse térmico a que as fêmeas têm sido submetidas não tem recebido atenção no sentido de constar em índices de seleção ou escala de classificação do grau de estresse que leve em consideração efeitos do estágio fisiológico.

Em relação a FC, a média das cabras utilizando-se dados coletados como medidas repetidas foi $87,0 \pm 4,3$ bat./min. A amplitude de variação de 76,0 a 106,0 bat./min. não extrapolou a faixa de variação de 69 a 121 bat./min., apresentada em levantamento feito

por M. N. Ribeiro et al. (2018) com caprinos de diversas raças no Brasil, utilizando valores pontuais mensurados em locais com temperatura ambiente média superior a 30°C. Entretanto, é uma característica na qual na literatura se constata muita discrepância nos valores, ainda prevalecendo justificativas atribuída a diferença nas condições ambientais onde foram obtidas (Kaushik et al., 2020; Cardoso et al., 2021).

Como resultados na Tabela 5, destaca-se a constatação de significância do efeito direto dos três fatores incluídos como fixos no modelo sobre a FC, porém não foi detectado significância das interações analisadas.

A significância da Época de coletas sobre a FC, com maior valor mensurado na época chuvosa do ano ($P < 0,001$), pode estar indicando que a termólise por dilatação periférica para manter a Temperatura corporal foi mais difícil que na época seca. Nesse caso, a temperatura do ar próxima à do corpo do animal desfavoreceu a termólise. Com isso, a perda de calor mais eficaz foi por mecanismo evaporativo, por não depender muito do diferencial de temperatura entre o animal e o ambiente (Miranda et al., 2019).

Conclusão

A modelagem de resíduo com a utilização de matriz de covariância mostra-se efetiva para a correção de implicações da heterogeneidade de variância residual e resíduos correlacionados, em análises de dados com medida repetida. A estrutura Simétrica composta heterogênea é adequada modelar a variância e covariância para a Temperatura retal, enquanto a Autorregressiva heterogênea é recomendada para modelar as variâncias e covariâncias para as características Frequências cardíaca e respiratória.

As cabras da raça Anglonubiana mantêm a temperatura retal dentro da amplitude de variação apresentada por animais de raças que apresentam adaptação fisiológica a ambiente com temperatura alta, independente da condição de reprodução, com variação na frequência respiratória e cardíaca não excedendo a faixa normal para caprinos.

A gestação condiciona a cabra a recorrer a elevação da frequência respiratória na época chuvosa do ano na região para manter a temperatura retal na faixa de amplitude normal para caprinos nos trópicos.

Agradecimentos

Ao Professor Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, pelo zelo com que tratou a formação do banco de dados do Rebanho de caprinos da UFPI durante 28 anos.

Referências

- Alves, M. S., Dantas, R. A. A., Cruz, R. O., Pereira, V. C., Souza, M. A., Fº., Silva, I. N. G., Gaudêncio, S., Neto, Tavares, K. C. S., Martins, L. T., & de Araújo, A. A. (2021). Physiological impact of the environment on the welfare of transgenic goats raised in a tropical climate. *International Journal of Biometeorology*, 65(12), 2147-2155. doi:10.1007/s00484-021-02177-y
- Cardoso, E. D. A., Furtado, D. A., Ribeiro, N. L., Saraiva, E. P., Barbosa do Nascimento, J. W., de Medeiros, A. N., Sousa, F. A., & Pereira, P. H. B. (2021). Intake salinity water by creole goats in a controlled environment: Ingestive behavior and physiological variables. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3), 1-7. doi:10.1007/s11250-021-02754-8
- Façanha, D. A. E., Chaves, D. F., Morais, J. H. G., Vasconcelos, Â. M. D., Costa, W. P., & Guilhermino, M. M. (2013). Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. *Revista brasileira de saúde e produção animal*, 14(1), 91-103.
- Façanha, D. A., de Vasconcelos, A. M., Lima, F. R., Eloy, A. M. X., Oliveira, A. L., Guilhermino, M. M., & Landim, A. V. (2012). Características termorreguladoras e desempenho de cabras leiteiras no terço inicial da lactação em clima tropical. *Revista Portuguesa de Ciência Veterinária*, 107, 151-156.
- Giannetto, C., Arfuso, F., Fazio, F., Giudice, E., Panzera, M., & Piccione, G. (2017). Rhythmic function of body temperature, breathing and heart rates in newborn goats and sheep during the first hours of life. *Journal of Veterinary Behavior*, 18, 29-36. doi: 10.1016/j.jveb.2016.12.002
- Gupta, D., Ashutosh, M., Kashyap, G., Punetha, M., Patel, B., Ashutosh, L., Para, I., Tejaswi, V., Ahirwar, M., & Jalmeira, N. (2018). Physiological response to transportation stress at different flocking densities in hot humid and winter seasons in goats and assessment of pretreatment of vitamin C, electrolyte and jaggery. *Indian Journal of Animal Research*, 53(3), 299-306. doi: 10.18805/ijar.B-3497
- Habeeb, A. A., Gad, A. E., & Atta, M. A. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and

reproduction of farm animals. *Int. J. Biotechnol. Recent Adv*, 1(1), 35-50. doi: 10.18689/ijbr-1000107

Hooper, H. B., Silva, P. dos S., Oliveira, S. A. Meringhe, G. K. F., Lacasse, P., & Negrão, J. A. (2020). Effect of heat stress in late gestation on subsequent lactation performance and mammary cell gene expression of Saanen goats. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1982-1992. doi: 10.3168/jds.2019-16734

Indu, S., Sejian, V., Kumar, D., Pareek, A., & Naqvi, S. M. K. (2015). Ideal proportion of roughage and concentrate for Malpura ewes to adapt and reproduce in a semi-arid tropical environment. *Tropical animal health and production*, 47(8), 1487-1495. doi: 10.1007/s11250-015-0889-1

Kaushik, R., Goel, A., & Rout, P. K. (2020). Establishing the genetic variation in physiological response in response to heat stress in semi-arid region in Jamunapari goats. *Biological Rhythm Research*, 51(1), 1-14. doi: 10.1080/09291016.2018.1499218

Leite, J. H. G. M., Façanha, D. A. E., Bermejo, J. V. D., Guilhermino, M. M., & Bermejo, L. A. (2021). Adaptive assessment of small ruminants in arid and semi-arid regions. *Small Ruminant Research*, 203, 106497. doi: 10.1016/j.smallrumres.2021.106497

Leite, J. H. G. M., Façanha, D. A. E., Costa, W. P., Chaves, D. F., Guilhermino, M. M., Silva, W. S. T., & Bermejo, L. A. (2018). Thermoregulatory responses related to coat traits of Brazilian native ewes: an adaptive approach. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 353-359. doi: 10.1080/09712119.2017.1302877

Leite, J. R. D. S., Furtado, D. A., Leal, A. F., Souza, B. B., & Silva, A. S. D. (2012). Influência de fatores bioclimáticos nos índices produtivos e fisiológicos de caprinos nativos confinados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 443-448. doi: 10.1590/S1415-43662012000400015

Miranda, J. R., Furtado, D. A., Lopes, J. P., Neto, Nascimento, J. W. B., & Malheiros, J. R. F.º. (2019). Variáveis fisiológicas, produção e qualidade do leite de cabras parca alpina no período seco do semiárido. *Energia na Agricultura*, 34(01), 48-57. doi: 10.17224/EnergAgric.2019v34n01p48-57

Mousinho, L. R. B., Campelo, J. E. G., Sousa Júnior, S. C. D., Azevêdo, D. M. M. R., Leal, T. M., & Moura, R. M. D. A. D. S. (2014). Respostas fisiológicas de cabras

Anglonubianas a condições ambientais com temperatura elevada. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15(1), 160-171.

Oliveira, D. P., Dias, D. C. R., Silva, M. O., Donner, A. C., Ribeiro, J. D., F^o., Fonseca, L. A. D., Alves, S. R., & Ermita, P. A. N. (2019). Avaliação do período periparto por parâmetros clínicos e hematológicos em cabras leiteiras. *Ciência Animal Brasileira*, 20, 1-12. doi: 10.1590/1809-6891v20e-37548

Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., & Bhatta, R. (2020). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62-71. doi:10.26667/2318-1265jabb.v6n3p62-71

Ribeiro, M. N., Ribeiro, N. L., Bozzi, R., & Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress—a review. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1036-1041. doi: 10.1080/09712119.2018.1456439

Ribeiro, N. L., Costa, R. G., Pimenta, E. C., F^o., Ribeiro, M. N., Croveti, A., Saraiva, E. P., & Bozzi, R. (2016). Adaptive profile of Garfagnina goat breed assessed through physiological, haematological, biochemical and hormonal parameters. *Small Ruminant Research*, 144, 236-241. doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.10.001

Santos, N. P. D. S., Guimarães, F. F., Sarmiento, J. L. R., Sousa Júnior, A. D., Rego, A. D. A., Neto, Sena, L. S., & Santos, G. V. D. (2016). Covariance structure for carcass and body size traits with repeated measures in sheep from different genetic groups. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(4), 652-665. doi: 10.1590/S1519-99402016000400009

Sarmiento, J. L. R., Torres, R. A., Sousa, W. H., Lôbo, R. N. B., Albuquerque, L. G., Lopes, P. S., Santos, N. P. S., & Bignard, A. B. (2016). Random regression models for the estimation of genetic and environmental covariance functions for growth traits in Santa Ines sheep. *Genetics and Molecular Research*, 15(2), 1/15025749-13. doi:10.4238/gmr.15025749

Sousa, B. B., Benicio, A. W. A., & Benicio, T. M. A. (2015). Caprinos e ovinos adaptados aos trópicos. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 3(2), 42-50. doi: 10.14269/2318-1265/jabb.v3n2p42-50

Souza, P. T. D., Salles, M. G. F., & Araújo, A. A. D. (2012). Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural*, 42(10), 1888-1895. doi: 10.1590/S0103-84782012005000072

Vasconcellos, M. L., Silva, P. S., Merighe, G. K. F., Oliveira, S. A., & Negrão, J. A. (2022). Cumulative effect of different acute stressors on physiological and hormonal responses and milk yield in lactating Saanen goats. *Semina: Ciência Agrárias*, 43(5), 1891-1906. doi: 10.5433/1679-0359.2021v43n5p1891

Tabela 1. Valores para os critérios de Informação de Akaike (AIC), Informação de Akaike Corrigido (AICc) e Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) da estrutura da matriz de covariância, para modelagem de resíduo da Temperatura Retal, Frequência Respiratória e Frequência Cardíaca em cabras Anglonubiana.

Estrutura de Covariância	Temperatura retal			Frequência Respiratória			Frequência Cardíaca		
	AIC	AICc	BIC	AIC	AICc	BIC	AIC	AICc	BIC
Simétrica Composta Heterogênea	415,3	416,9	435,1	4361,4	4363,1	4381,3	4550,2	4551,9	4570,1
Autorregressiva Heterogênea	416,6	418,3	436,5	4359,8	4361,3	4378,7	4547,9	4549,6	4567,7
Autorregressiva Simétrica Composta	502,4	502,4	506,1	4380,8	4380,8	4383,6	4609,8	4609,8	4613,6
Componente de Variância	519,3	519,4	523,1	4381,9	4381,9	4383,8	4617,2	4617,3	4621,0
Toeplitz	520,6	526,6	529,4	4411,2	4411,3	4413,1	4619,0	4619,1	4621,8
	493,3	494,8	512,2	-	-	-	-	-	-

Critério de Informação de Akaike (AIC); Critério de Informação de Akaike Corrigido (AICc), Informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

Tabela 2. Estimativas do P valor do teste F dos efeitos fixos incluídos no modelo misto para análise da Temperatura Retal, Frequência Respiratória e Frequência Cardíaca como dados longitudinais cabras Anglonubiana.

Estrutura de Covariância comparadas	P valor do teste F para os efeitos fixos do modelo				
	EC	Estágio fisiológico	Idade	Ec*Ef	Ef*CI
Temperatura Retal					
Simétrica Composta Heterogênea (SCH)	0,822	0,0040	0,1134	0,2468	0,1501
Autorregressiva Heterogênea (ARH)	0,8001	0,0043	0,0583	0,3011	0,3567
Componente de Variância	0,9834	0,0396	0,0022	0,5008	0,0002
Frequência Cardíaca					
Autorregressiva Heterogênea (ARH)	<,0001	<,0001	0,0012	0,1987	0,0949

Simétrica Composta Heterogênea (SCH)	<,0001	<,0001	0,0074	0,1687	0,0385
Componente de Variância	<,0001	<,0001	0,0002	0,3256	0,0202
Frequência Respiratória					
Autorregressiva Heterogênea (ARH)	<,0001	0,001	0,0293	0,0001	0,2763
Simétrica Composta Heterogênea (SCH)	<0,0001	0,0015	0,0534	0,0002	0,1408
Componente de Variância	<,0001	0,001	0,0187	0,0001	0,7963

Época da Coleta (EC); Estágio Fisiológico (EF); Classe de Idade (CI).

Significância declarada pelo teste F de Fischer.

Tabela 3. Médias estimadas para Temperatura Retal de cabras Anglunibiana, em função da época da coleta, estágio fisiológico e da idade da cabra resultante da análise de dados longitudinais com ajuste residual a partir da estrutura Simétrica Composta Heterogênea

Fonte de Variação	Níveis dos fatores	Média (°C)	Pr> F
Época de coleta (EC)	Janeiro a maio	39,11 ^a	0,822
	Junho e julho	39,09 ^a	
	Agosto a dezembro	39,12 ^a	
Estágio fisiológico (EF)	Não gestante ou lactante	39,07 ^b	0,004
	Gestação	39,20 ^a	
	Em lactação	39,06 ^b	
Classe de idade (CI)	Maior ou igual a 1 e menor que 2 anos	39,05 ^b	0,012
	Maior que 2 e menor ou igual a 3 anos	39,10 ^{ab}	
	Maior que 3 e menor ou igual a 5 anos	39,20 ^a	
	Maior que 5 anos	39,09 ^{ab}	

^{a-b} Médias seguidas de letras distintas na coluna, por fonte de variação, são significativamente diferente pelo teste de Fischer ($p < 0,05$).

Tabela 4. Médias estimadas para Frequência Respiratória de cabras Anglunibiana, em função da interação, época e estágio fisiológico, e da idade da cabra resultante da análise de dados longitudinais com ajuste residual a partir da estrutura Autorregressiva Heterogênea

Fonte de Variação	Níveis dos fatores	Média (mov.min ⁻¹) 1)	Pr> F
Janeiro a maio	Não gestante ou lactante	47,65 ^b	0,007
	Gestação	60,47 ^a	
	Em lactação	42,24 ^{bc}	
Junho e Julho	Não gestante ou lactante	36,00 ^c	
	Gestação	40,73 ^{bc}	
	Em lactação	40,26 ^{bc}	
Agosto a Dezembro	Não gestante ou lactante	44,29 ^{bc}	
	Gestação	42,41 ^{bc}	
	Em lactação	42,11 ^{bc}	
Classe de Idade da cabra	Maior ou igual a 1 e menor que 2 anos	41,76 ^b	0,029
	Maior que 2 e menor ou igual a 3 anos	44,95 ^{ab}	
	Maior que 3 e menor ou igual a 5 anos	46,23 ^a	
	Maior que 5 anos	43,37 ^{ab}	

^{a- c} Médias seguidas de letras distintas na coluna, por fonte de variação, são significativamente diferente pelo teste de Fischer ($p < 0,05$).

Tabela 5. Médias estimadas para Frequência cardíaca de cabras Anglonubiana, em função da interação, época e estágio fisiológico e da idade da cabra resultante da análise de dados longitudinais com ajuste residual a partir da estrutura Autorregressiva Heterogênea

Fonte de Variação	Níveis dos fatores	Média (bat./min.)	Pr> F
Época de coleta (EC)	Janeiro a maio	96,70 ^a	0,0001
	Junho e julho	81,00 ^b	
	Agosto a dezembro	83,50 ^b	
Estágio fisiológico (EF)	Não gestante ou lactante	83,50 ^b	0,0001
	Gestação	94,60 ^a	
	Em lactação	83,10 ^b	
	Maior ou igual a 1 e menor que 2 anos	84,60 ^b	
Classe de idade (CI)	Maior que 2 e menor ou igual a 3 anos	90,00 ^a	0,0012
	Maior que 3 e menor ou igual a 5 anos	89,00 ^a	
	Maior que 5 anos	84,50 ^b	

^{a-b} Médias seguidas de letras distintas na coluna, por fonte de variação, são significativamente diferente pelo teste de Fischer ($p < 0,05$).