

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CONFORTO E VARIABILIDADE TÉRMICA ESCROTO-TESTICULAR DE
OVINOS REPRODUTORES: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL**

GABRIEL THALES BARBOZA MARINHO

RECIFE

2024

GABRIEL THALES BARBOZA MARINHO

**CONFORTO E VARIABILIDADE TÉRMICA ESCROTO-TESTICULAR DE OVINOS
REPRODUTORES: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito obrigatório ao título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Héilton Pandorfi

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

M338c Marinho, Gabriel Thales Barboza
 Conforto e variabilidade térmica escroto-testicular de ovinos
 reprodutores: impactos na qualidade seminal / Gabriel Thales Barboza
 Marinho. – 2016.
 112 f.: il.

 Orientador: Héilton Pandorfi.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
 Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
 Recife, BR-PE, 2024.
 Inclui bibliografias.

 1. Ovino - Criação 2. Sêmen 3. Termografia 4. Fotografia
 intravermelho 5. Stress 6. Distúrbio fisiológico 7. Controle térmico
 I. Pandorfi, Héilton, orient. II. Título

CDD 631

CONFORTO E VARIABILIDADE TÉRMICA ESCROTO-TESTICULAR DE OVINOS
REPRODUTORES: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL

GABRIEL THALES BARBOZA MARINHO

Trabalho de dissertação apresentado a Universidade Federal Rural de Pernambuco
como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: ___ / ___ / ___.

Prof. Dr. Héilton Pandorfi (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida (Examinador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. André Mariano Batista (Examinador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE

2024

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a todos que participaram dessa jornada, oferecendo apoio, incentivo e suporte, permitindo que eu apresentasse o melhor de mim.

A minha companheira Raquel Desenzi Pessoa por estar ao meu lado em todos os momentos, sendo meu maior porto seguro.

Aos meus pais Cid Max Marinho e Isabelly Cavalcanti Barboza por acreditarem em mim, me dando todo conforto e apoio possível durante essa caminhada.

Ao professor Dr. Héilton Pandorfi pelos importantes ensinamentos, excelente orientação, grande disponibilidade e confiança.

Ao Dr. Marcos Vinícius pela grande parceria e conhecimento transmitido, sendo de fundamental importância.

A Wesley Amaro da Silva pela parceria em campo e por toda ajuda quanto a estatística.

Ao professor Dr. André Mariano Batista pelos ensinamentos que fugiam da minha área de conhecimento e atuação.

Ao professor Dr. Alex Souza Moraes pelo conhecimento repassado sobre estatística multivariada.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Ambiente (GPESA) por proporcionar um ambiente acolhedor a todos que por ali passam.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco por acolher de forma ímpar os seus alunos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo consentimento da bolsa, sendo de fundamental importância para a manutenção durante o período do mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO GERAL.....	11
1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESES.....	17
3. OBJETIVO GERAL	17
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O DESAFIO NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO ANIMAL	18
4.2 ESTRESSE TÉRMICO E ÍNDICES DE CONFORTO.....	20
4.2.1 TERMORREGULAÇÃO E INDICADORES DO ESTRESSE TÉRMICO	22
4.3 TERMORREGULAÇÃO TESTICULAR E ESPERMATOGÊNESE.....	25
4.3.1 QUALIDADE DO SÊMEN E ESPERMOGRAMA	27
4.4 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO NA PRODUÇÃO ANIMAL	30
4.5 GEOESTATÍSTICA APLICADA À PRODUÇÃO ANIMAL	33
4.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	34
5. REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO I: FATORES ABIÓTICOS NATURAIS E ARTIFICIAIS: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL DE CARNEIROS EM REGIÃO SEMIÁRIDA.....	50
RESUMO	50
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1 Declaração de Ética.....	53
2.2 Caracterização da Área de Estudo e Seleção dos Animais.....	53
2.3 Instalação e Manejo Alimentar	54
2.4 Registro das Variáveis Meteorológicas.....	55
2.5 Índices de Conforto e entalpia específica.....	56
2.6 Coleta e análise do sêmen	56
2.7 Análises estatísticas.....	57
2.7.1 Delineamento experimental.....	57
2.7.2 Análise de componentes principais	57
2.7.3 Análise de regressão.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.1 Dados climatológicos, índices de conforto e entalpia	58

3.2 Parâmetros de qualidade do sêmen	64
3.3 Análise de componentes principais	65
4. CONCLUSÕES.....	69
5. REFERÊNCIAS	69
CAPÍTULO II: PLASTICIDADE FENOTÍPICA E ADAPTAÇÃO DE CARNEIROS DORPER SUBMETIDOS AO RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EVAPORATIVO E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE SEMINAL.....	
RESUMO	
78	
1. INTRODUÇÃO	80
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1 Declaração de Ética.....	81
2.2 Localização e Seleção dos Animais	82
2.3 Instalação e Manejo Alimentar	82
2.4 Registro das Variáveis Meteorológicas.....	83
2.5 Imagens Térmicas	83
2.6 Determinação das variáveis fisiológicas	84
2.7 Coleta e análise do sêmen	85
2.8 Análises estatísticas.....	85
2.8.1 Delineamento experimental.....	85
2.8.2 Geoestatística aplicada a variabilidade térmica escroto-testicular	86
2.8.3 Análise de componentes principais	87
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
3.1 Temperatura do ar	88
3.2 Umidade relativa do ar	89
3.3 Variáveis fisiológicas	91
3.4 Temperatura escrotal	94
3.5 Mapas de krigagem	96
3.6 Parâmetros de qualidade do sêmen	99
3.7 Análise de componentes principais.....	101
4. CONCLUSÕES.....	105
5. REFERÊNCIAS	105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Baía de alojamento dos carneiros com a distribuição do cocho de alimentação e o bebedouro (A); imagem do alojamento dos animais (B); malha de sombreamento aluminizada (80%)	54
Figura 2. Monitoramento dos valores médios horários da temperatura do ar e umidade relativa na Fase 1 (A) e na Fase 2 (B)	61
Figura 3. Monitoramento dos valores médios horários do ITU e do ITGU na Fase 1 (A) e na Fase 2 (B) e da entalpia na Fase 1 (C) e na Fase 2 (D)	62
Figura 4. Monitoramento do acumulado de chuva diário durante o período do estudo	63
Figura 5. Parâmetros seminais antes e depois da climatização com SRAE	64
Figura 6. Componentes principais das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia e características seminais (A); Componentes principais dos animais na Fase 1 e na Fase 2 (B)	67

CAPÍTULO II

Figura 1. Baía de alojamento dos carneiros	82
Figura 2. Representação da imagem termográfica do escroto do animal com demarcação das áreas de interesse (A). Representação das malhas de temperatura utilizadas para modelagem dos mapas de krigagem (B)	86
Figura 3. Boxplot dos valores de temperatura do ar durante a Fase 1 (A); Boxplot dos valores de temperatura do ar durante a Fase 2 (B). Monitoramento dos valores médios diários da temperatura do ar durante o período do estudo (C)	89
Figura 4. Boxplot dos valores de umidade relativa do ar durante a Fase 1 (A); Boxplot dos valores de umidade relativa do ar durante a Fase 2 (B). Monitoramento dos valores médios diários da umidade relativa do ar durante o período do estudo (C)	90
Figura 5. Monitoramento do acumulado de chuva diário durante o período do estudo	91
Figura 6. Indicadores formados a partir da diferença de temperatura do núcleo corporal e testicular	96
Figura 7. Mapas de krigagem das temperaturas superficiais escrotais dos carneiros para as porções de interesse	98
Figura 8. Parâmetros seminais na Fase 1 e na Fase 2	100

Figura 9. Componentes principais das variáveis fisiológicas, temperatura das porções escrotais, variações entre temperatura retal e testicular e características seminais. (A); Componentes principais dos animais na Fase 1 e na Fase 2 (B) 103

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Resumo das estatísticas descritivas dos dados climatológicos na Fase 1 e 2 60
- Tabela 2.** Componentes principais das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia e características seminais 66
- Tabela 3.** Modelos de determinação dos parâmetros de qualidade seminal 68

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Média e desvio padrão dos índices fisiológicos na baia nas Fases 1 e 2 94
- Tabela 2.** Estatística descritiva das temperaturas das regiões de interesse do escroto do animal 95
- Tabela 3.** Parâmetros dos modelos de semivariograma ajustados, grau de dependência espacial, coeficiente de determinação e validação cruzada 97
- Tabela 4.** Componentes principais das variáveis fisiológicas, temperaturas escrotais, variações entre temperatura retal e testicular e características seminais 102
- Tabela 5.** Modelos de determinação da integridade da membrana plasmática 104

CONFORTO E VARIABILIDADE TÉRMICA ESCROTO-TESTICULAR DE OVINOS REPRODUTORES: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL

RESUMO GERAL

As condições climáticas do Nordeste brasileiro, especialmente no semiárido, resultam frequentemente no fenômeno do estresse térmico animal, desencadeando alterações na fisiologia dos ovinos, correlacionando-se com reduções nas taxas de produção e reprodução. Objetivou-se analisar o impacto da climatização artificial na dinâmica de fatores abióticos, índices de conforto, entalpia, indicadores fisiológicos, temperatura escrotal, na diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular e na qualidade do sêmen de carneiros Dorper. Os dados foram obtidos a partir do monitoramento de 20 carneiros da raça Dorper, com 18 ± 2 meses de idade e peso médio de 70 kg, criados no município de Garanhuns, entre abril e junho de 2023. Os animais foram alojados em uma baía por 21 dias nas condições naturais do ambiente e posteriormente permaneceram por 42 dias sob a influência de sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE). O sêmen foi coletado por vagina artificial e analisado (volume – ml; motilidade espermática - %; concentração – 10^9 espermatozoides.ml⁻¹; turbilhonamento; vigor e integridade da membrana plasmática - %) a cada três semanas durante todo o período do estudo. O registro da temperatura do ar (TAR, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e da temperatura de globo negro (TGN, °C) foi realizado diariamente a cada 15 minutos. A caracterização térmica do alojamento foi determinada pelos índices de temperatura e umidade, temperatura de globo negro e umidade e pela entalpia específica (kJ kg⁻¹). A frequência respiratória (mov.min⁻¹), temperatura retal (°C) e imagens termográficas do escroto, da região do globo ocular e da lateral dos animais foram tomadas a cada 21 dias às 9, 13 e 17h. Foram determinados mapas de krigagem para acompanhamento da variabilidade térmica da superfície escrotal dos animais. Para as características do sêmen, indicadores fisiológicos e associações entre temperatura de núcleo corporal e testicular adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por dois tratamentos e 20 repetições, com médias sendo comparadas por teste de Tukey. As variáveis climatológicas, índices de conforto e entalpia, foram submetidos à análise estatística descritiva. Empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) sobre as variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia específica, indicadores fisiológicos, temperaturas escrotais, diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular e características seminais. Nos horários mais secos, o SRAE promoveu um acréscimo de 8% na UR da baía, com redução média de 1,24 °C na TAR. A

geoestatística mostrou menor variabilidade térmica na superfície escrotal durante o período de climatização artificial, acompanhado de menores temperaturas em todas as porções escrotais estudadas, em especial para a porção distal. A integridade da membrana plasmática (IMP) dos espermatozoides respondeu significativamente às mudanças no ambiente, sendo maior em 16% durante o funcionamento do SRAE. A ACP apontou correlação positiva da integridade da membrana plasmática com a umidade relativa e correlação negativa com a temperatura do ar, frequência respiratória, temperatura retal, do globo ocular, do pelame e escrotais, permitindo o estabelecimento de modelos de regressão com R^2 de 0,74 para estimativa da IMP.

Palavras-chave: análise de componentes principais, conforto térmico, ovinocultura, qualidade do sêmen, termografia por infravermelho

THERMAL COMFORT AND SCROTAL-TESTICULAR THERMAL VARIABILITY OF BREEDING SHEEP: IMPACTS ON SEMINAL QUALITY

GENERAL ABSTRACT

The climatic conditions of the Brazilian Northeast, especially in the semiarid region, often result in the phenomenon of animal heat stress, triggering changes in the physiology of sheep, correlating with reductions in production and reproduction rates. The objective was to analyze the impact of artificial climatization on the dynamics of abiotic factors, comfort indices, enthalpy, physiological indicators, scrotal temperature, the difference between body and testicular core temperature and semen quality in Dorper rams. The data was obtained from the monitoring of 20 Dorper sheep, aged 18 ± 2 months and weighing 70 kg on average, raised in the municipality of Garanhuns, between April and June 2023. The animals were housed in a stall for 21 days under natural environmental conditions and then remained for 42 days under the influence of an adiabatic evaporative cooling system (AECS). Semen was collected through an artificial vagina and analyzed (volume - ml; sperm motility - %; concentration - 10^9 sperm.ml⁻¹; turbidity; vigor and plasma membrane integrity - %) every three weeks throughout the study period. Air temperature (TAR, °C), relative humidity (UR, %) and black globe temperature (TGN, °C) were recorded every 15 minutes. The thermal characterization of the housing was determined by the temperature and humidity indice, the black globe temperature and humidity indice and the specific enthalpy (kJ kg⁻¹). Respiratory rate (mov.min⁻¹), rectal temperature (°C) and thermographic images of the scrotum, eyeball region and side of the animals were taken every 21 days at 9am, 1pm and 5pm. Kriging maps were determined to monitor the thermal variability of the animals' scrotal surfaces. For semen characteristics, physiological indicators and associations between core body and testicular temperature, a completely randomized experimental design was adopted, consisting of two treatments and 20 repetitions, with means being compared using the Tukey test. The climatological variables, comfort indices and enthalpy were subjected to descriptive statistical analysis. Principal Component Analysis (PCA) was used on meteorological variables, comfort indices, specific enthalpy, physiological indicators, scrotal temperatures, associations between core body and testicular temperature and seminal characteristics. At the driest times, the SRAE caused an 8% increase in stall RH, with an average reduction of 1.24 °C in TAR. Geostatistics showed less thermal variability on the scrotal surface during the artificial acclimatization period, accompanied by lower temperatures in all the scrotal portions studied, especially the distal

portion. The plasma membrane integrity (PMI) of the sperm responded significantly to changes in the environment, being higher by 16% during the operation of the SRAE. The PCA showed a positive correlation between plasma membrane integrity and relative humidity and a negative correlation with air temperature, respiratory rate, rectal temperature, eyeball temperature, skin temperature and scrotum temperature, allowing regression models to be established with an R^2 of 0.74 for estimating IMP.

Keywords: principal component analysis, thermal comfort, sheep farming, semen quality, infrared thermography

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), o estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de ovinos do Brasil. Com cerca de 3,52 milhões de animais, o rebanho ovino é a segunda maior produção animal no estado e, deste total, cerca de 3,43 milhões estão localizados nas mesorregiões do São Francisco, Sertão e Agreste, com 46,14, 36,91 e 16,95%, respectivamente (IBGE, 2022).

O aumento da temperatura média do ar, aliado à nova composição química da atmosfera, desencadeou uma série de transformações, como secas severas e frequentes ondas de calor e frio com implicações para a segurança alimentar da população (LACERDA et al., 2022). No Brasil, a região semiárida do Nordeste está projetada para experimentar o maior aumento de temperatura, com média de 1,5 a 2 vezes a taxa de aquecimento global, onde até o final do século, o número de dias por ano em que a temperatura na região pode exceder 35°C pode ser de mais de 150 dias (IPCC, 2021). Esta situação pode levar os animais dessa região ao estresse térmico, um dos notáveis limitantes à produção animal nos trópicos.

O estresse térmico é o resultado de uma combinação de elementos meteorológicos, incluindo a velocidade do vento, a alta temperatura ambiente, a umidade relativa do ar e a alta radiação solar, que afetam negativamente o bem-estar animal e a produtividade (THORNTON et al., 2022). Um animal é considerado estressado quando precisa alterar sua fisiologia e comportamento para se adaptar às condições adversas do ambiente e de manejo (MARAI et al., 2007) e segundo El-Tarabany et al. (2017), o estresse térmico já é um dos fatores que tornam a produção e a reprodução animal um desafio em muitas partes do mundo. Nesse sentido, o resfriamento evaporativo emerge como uma solução simples e econômica, reduzindo a temperatura do ar por meio da transferência de energia decorrente da interação entre as moléculas de ar e água (GODYŃ et al., 2020; FOROUSHANI; AMON, 2022), onde o calor sensível transferido do ar para a água satisfaz a demanda energética necessária para a evaporação, com a migração da energia térmica reduzindo a temperatura do ar (SIMMONS; LOTT, 1996).

O estresse térmico pode ser observado por meio de variáveis fisiológicas, se destacando a temperatura retal, a temperatura da região ocular, a frequência respiratória e a taxa de sudorese, assim como por índices de conforto térmico, como a carga térmica radiante, o índice de temperatura e umidade, o índice de temperatura de globo e umidade e a entalpia específica.

Dentre as possíveis interferências provocadas pelo estresse térmico na reprodução de ovinos, a espermatogênese é um processo dependente da temperatura do ar, sendo que o

aumento acima da faixa normal da temperatura escrotal pode resultar na morte de células germinativas vulneráveis ao calor, bem como interromper funções de células somáticas (ALDAHAN; STANTON, 2021), por isso, a termorregulação testicular é importante para manter a temperatura testicular dentro de uma faixa ideal para espermatogênese (DURAIRAJANAYAGAM; AGARWAL; ONG., 2015). A espermatogênese normal depende da manutenção da temperatura testicular entre 2,0 e 6,0°C abaixo da temperatura corporal interna (39°C) além disso, existe um gradiente de temperatura entre a superfície escrotal proximal e distal (JÚNIOR et al., 2020).

Dessa forma, a termografia por infravermelho (TIV) se apresenta como uma técnica remota e não invasiva que mede a temperatura da superfície, emitindo ou detectando calor radiante na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético de um corpo (TEKIN et al., 2021). A TIV se destaca ainda como uma técnica que vem sendo bastante aplicada nas mais variadas situações da medicina veterinária, em que o acompanhamento de um gradiente térmico possa servir como indicador de estresse térmico animal, bem como os possíveis efeitos deletérios na espermatogênese de ovinos (KAHWAGE et al., 2017; CANNAS et al., 2018; BYRNE et al., 2019).

No acesso à variabilidade térmica da superfície dos animais, se fará a utilização da geoestatística, técnica que tem se mostrado eficaz em estudos envolvendo o animal e seu ambiente de produção. Peixoto et al. (2019) monitoraram o ambiente térmico dos sistemas de “*compost barn*” e a temperatura da cama usando técnicas de geoestatística, correlacionando as respostas com as variáveis fisiológicas e comportamentais dos animais. Silva et al. (2021) desenvolveram a distribuição espacial de mapas de índice de temperatura e umidade (ITU) por krigagem, avaliando sua relação com a temperatura da superfície do ouvido de coelhos brancos. Ferraz et al. (2019), analisaram a magnitude e a variabilidade espacial da temperatura de excrementos de frangos de corte, correlacionando este parâmetro com a distribuição espacial da temperatura da superfície da pele, por meio técnicas geoestatísticas.

Para analisar as variáveis de forma conjunta, identificando qual delas exercem influência sobre um determinado fenômeno que se deseja estudar, é utilizado o método estatístico de análise multivariada (MANLY; ALBERTO, 2016), com a análise de componentes principais (ACP) se destacando entre os métodos tradicionais de análise de dados. A ACP é um procedimento estatístico que usa uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas em um conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas chamadas de componentes principais (KHERIF;

LATYPOVA, 2020), determinando as variáveis de maior influência na formação de cada componente.

Neste contexto, objetivou-se com este estudo acompanhar a influência de mudanças no ambiente, trazidas por sistema de resfriamento adiabático evaporativo, nas características fisiológicas e qualidade seminal de carneiros, através de monitoramento climatológico, termografia infravermelha, geoestatística e análise multivariada das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia, índices fisiológicos, temperaturas das porções escrotais e características do sêmen.

2. HIPÓTESES

1) O uso do resfriamento adiabático evaporativo pode beneficiar significativamente o conforto térmico dos carneiros Dorper no semiárido nordestino, otimizando as condições internas e externas, promovendo uma melhoria na qualidade seminal desses animais.

2) A análise exploratória dos dados permitirá identificar a preponderância dos fatores endógenos e exógenos na caracterização da qualidade de sêmen de carneiros.

3. OBJETIVO GERAL

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar a relação da qualidade do sêmen de ovinos submetidos à climatização no semiárido, com a variabilidade espacial da temperatura escroto-testicular, índices fisiológicos e variáveis do ambiente através de imagens termográficas e monitoramento meteorológico.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Nesse sentido, os objetivos específicos são:

- estabelecer banco de dados de imagens térmicas para determinação da variação da temperatura escroto-testicular (porção dorsal, medial e ventral) e da lateral (dorso, ventre e globo ocular) de ovinos;
- caracterizar a variação dos elementos meteorológicos no alojamento de ovinos reprodutores sob condições climáticas naturais do ambiente e sob influência de climatização artificial;
- monitorar o efeito do ambiente de alojamento de ovinos reprodutores nas respostas fisiológicas associadas a termorregulação;

- analisar as componentes principais das variáveis que têm maior influência na qualidade do sêmen de ovinos sob efeito da climatização;
- desenvolver modelo matemático capaz de inferir a qualidade de sêmen de ovinos a partir da variação da temperatura escroto-testicular, variáveis ambientais e fisiológicas dos animais.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O DESAFIO NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO ANIMAL

Os principais desafios a serem enfrentados no mundo da produção agropecuária até o final de 2050 envolvem questões climáticas e socioeconômicas (FAO, 2009). O sistema climático do planeta vem sofrendo alterações devido ao aumento na temperatura média e a nova composição química atmosférica, essas mudanças afetam o ciclo hidrológico, causando a alteração dos padrões de chuva de uma região, desencadeando enchentes, secas severas e ondas de frio e calor que afetam a segurança alimentar, saúde e segurança hídrica (LACERDA et al., 2016). As projeções, especialmente nas partes mais vulneráveis dos países em desenvolvimento, é que essas alterações climáticas resultem em uma maior dificuldade no alcance da segurança alimentar e renda da população (FAO, 2015).

Particularmente nas zonas rurais do Brasil, a criação de caprinos e ovinos possui longa tradição, onde essas atividades são responsáveis pelo sustento econômico e nutricional de muitas famílias, com destaque para as de baixa renda (SORIO, 2017). Na região Nordeste, o exercício da pecuária é de grande relevância, onde a criação de pequenos ruminantes se constitui como a atividade básica da população rural, sendo vista como uma fonte sustentável de estabilidade demográfica e rentabilidade, tornando-a extremamente importante em regiões áridas e semiáridas (SILVA et al., 2016; COSTA et. al., 2009).

No que diz respeito a Pernambuco, a produção de ovinos no estado saltou da marca de 5º maior produtor nacional em 2006, para a 3ª posição em 2015, chegando a 2ª posição em 2020, atrás apenas da Bahia, que conta com 4,25 milhões de cabeças (IBGE, 2021). Com quase 3,4 milhões de cabeças, o rebanho ovino se trata da segunda maior produção animal dentro do estado pernambucano, ficando atrás apenas do rebanho galináceo (IBGE, 2021).

Durante quase todo o ano, o semiárido pernambucano sofre com altas temperaturas, apresentando média mínima e máxima anual de 24 e 29°C, respectivamente (NIMER, 1979),

onde nas horas mais quentes a máxima diária pode atingir a faixa entre 35 e 38°C, assim como a radiação solar intensa, onde a energia solar acumulada anual alcança 2,2 MW h m⁻² e a média diária de irradiação solar é maior que 5,0 kW h m⁻²dia⁻¹ (MARTINS et al., 2012), podendo levar os animais dessa região ao estresse térmico, um dos notáveis limitantes à produção animal nos trópicos (GUERRINI, 1981), interferindo no consumo de alimentos, ganho de peso, produção de leite e também taxas reprodutivas (THORNTON et al., 2022), em que numerosos experimentos realizados em salas climatizadas ou com aquecimento escrotal localizado, relatam efeitos adversos do estresse térmico na espermatogênese e na qualidade do sêmen animal (SETCHEL, 1998; ARMAN et. al., 2006). No entanto, poucos estudos avaliaram os efeitos da temperatura na qualidade do sêmen em condições normais de campo (VAN WETTERE et al., 2021).

Souza et al. (2005) relata que a eficiência produtiva é maior quando os animais estão em condições de conforto térmico e não precisam acionar os mecanismos termorreguladores, pois, embora os animais possam se adaptar a um certo grau de estresse térmico, os mecanismos de resposta utilizados para tal adequação acabam por se tornar prejudiciais ao desempenho (PRAGNA et al., 2017; VAN WETTERE, 2021). Não se tem dúvidas de que o estresse térmico induzido por mudanças climáticas já se estabeleceu como um dos fatores cruciais responsáveis por decaimentos na produtividade pecuária (RASHAMOL et al., 2020), segundo análises de Rahimi et al. (2021), o gado já está submetido a tal estado de estresse nas condições de clima atual, com uma tendência significativamente crescente quando comparada ao período histórico de 1981-2010.

Entretanto, em muitos casos, como as questões climáticas, não é possível intervir na ameaça para reduzir o risco, sendo assim, a alternativa, segundo Valverde (2017) deve contemplar a minimização das condições de vulnerabilidade dos elementos expostos. Logo, produtores que se adaptarem às condições climáticas poderão observar um acréscimo em seus rendimentos, por outro lado, em situações em que os produtores não se ajustam é esperado um decréscimo (RAHIMI-MOGHADDAM; KAMBOUZIA; DEIHIMFARD, 2018; ABD-ELMABOD et al., 2020).

O número de ovinos e caprinos abatidos entre 2020 e 2021 cresceu 25,13%, embora promissora, a cadeia produtiva interna ainda não gera estes produtos em quantidade e qualidade suficientes para atender demandas internas, tendo em vista o volume de importação anual, que em 2021 foi de 4,13 mil toneladas (MAPA, 2021). Nesse sentido, é necessário a união de

esforços para ampliar a capacidade dos produtores nacionais em atender à demanda interna, preenchendo essa lacuna mercantil existente.

Estudo realizado por Maurya et al. (2016), monitorou os efeitos do estresse térmico (HES), nutricional (NUS) e combinado (COS) nos atributos seminais de carneiros da raça Malpura sob clima semiárido. Comparado ao estresse nutricional, o estresse térmico apresentou maior impacto sobre as características do sêmen, sendo evidenciado a partir do menor volume de sêmen, motilidade espermática e concentração nos grupos HES e COS. Estudos adicionais com dados gerados a partir de mais de 150 rebanhos espanhóis demonstram um declínio significativo nas taxas de prenhez quando as temperaturas diárias foram \geq a 30 °C, por 2 dias antes da inseminação, condição presente durante quase todo o ano no semiárido nordestino (PALACIOS; ABECIA, 2014; SANTOLARIA et al., 2014).

4.2 ESTRESSE TÉRMICO E ÍNDICES DE CONFORTO

Os animais homeotérmicos possuem uma faixa de temperatura ambiente em que o requisito de energia para manutenção da temperatura de núcleo corporal é mínimo e constante, chamada de zona termoneutra (RIBEIRO et al., 2020), nesta faixa a taxa metabólica mínima é mantida e a produção de calor é relativamente constante, objetivando a regulação da homeostase (RENAUDEAU et al., 2012). Uma temperatura corporal que excede a faixa normal indica importantes alterações fisiológicas ou emocionais (hipertermia induzida por estresse), bem antes de manifestações clínicas e/ou comportamentais ocorrerem no sistema fisiológico do animal (GÓMEZ et al. 2018; LEES et al. 2020).

De acordo com Baêta e Souza (2010) a zona de conforto térmico para ovinos está entre 25 e 30°C, com temperatura crítica inferior e superior de -20 e 35°C, já para caprinos esta zona de conforto térmico se encontra entre 20 e 30°C, com temperatura crítica inferior e superior de -20 e 34°C. McDowel (1972) preconizou, como condições ideais para criação de animais domésticos, umidade relativa do ar entre 60 e 70% e ventos com velocidade de 1,3 a 1,9 m s⁻¹.

Segundo Spandan et al. (2022), pequenos ruminantes possuem vários mecanismos adaptativos como modificações de comportamento e alterações fisiológicas/bioquímicas/moleculares para neutralizar os efeitos adversos do calor. Quando as características do ambiente estão fora do limite da zona termoneutra do animal, ocorre a condição conhecida como estresse térmico, em que o animal aciona esses mecanismos para contornar as adversidades do ambiente que está inserido, na tentativa de preservar o equilíbrio térmico corporal (ROTH, 2017).

Em situações de desconforto térmico, os ruminantes optam por reduzir o tempo de dedicação a interações sociais de cunho reprodutivo, conseqüentemente, aumenta seu período de ócio, o que explica a relação inversa entre indicadores de estresse térmico e atividade animal (GIRO et al., 2019; GARCIA et al., 2021).

A fisiologia dos ruminantes é fortemente afetada pelo estresse térmico (MCMANUS et al., 2020), em exemplo, ao acompanharem cordeiros da raça Texel confinados em duas condições climáticas, calor mais alto e mais baixo, com temperatura média de 23,4 °C e 14,9 °C respectivamente, na região Sul do Brasil, Polli et al. (2019) observaram que os cordeiros inseridos nas condições de calor mais alto experimentaram 27,7% do período total de confinamento sob estresse térmico, afetando o comportamento e o desempenho dos mesmos.

A reação animal sob estresse térmico vem sendo utilizada para medir a capacidade geral de um animal para lidar com o calor. Numerosas medidas foram propostas para avaliar essa resposta, como temperatura corporal, frequência respiratória, frequência cardíaca, taxa de sudorese e biomarcadores (CARABAÑO et al., 2019).

Índices que unificam os efeitos dos elementos climáticos e que possuem relação com indicadores fisiológicos e comportamentais são comumente utilizados no julgamento do conforto ou desconforto térmico animal (SILVA et al., 2019; MARINS et al., 2020; BORGES et al., 2021). Bons exemplos de indicadores bastante utilizados são o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR). O ITGU assim como a CTR depende da temperatura de globo negro (TGN), enquanto o ITU utiliza uma componente térmica e outra associada a umidade do ar para sua determinação.

O ITU, desenvolvido por Thom (1959), é amplamente considerado na caracterização do ambiente térmico e seus efeitos sobre os animais de fazenda (LACETERA, 2019), porém, não considera a radiação a que os animais são expostos, limitando a sua utilização. Já a equação do ITGU, proposta por Buffington et al. (1981), admite os efeitos da radiação solar incidente, podendo ser mais adequado para avaliação em ambientes abertos, em razão de que, no ITGU a TGN inclui direta ou indiretamente, os efeitos da umidade relativa do ar, velocidade do ar e a radiação solar incidente (SANTOS; CABRAL, 2021).

Estudos realizados por Mascarenhas et al. (2021) com ovinos da raça Santa Inês, indicam que os animais se encontravam perfeitamente habituados quando foram submetidos às temperaturas de 20 e 25°C, sendo que uma vez submetidos a temperaturas mais elevadas, mecanismos de perda de calor para o ambiente começaram a ser utilizados.

O ITU e ITGU são índices muito utilizados para vacas produtoras de leite, porém, quando se trata de caprinos e ovinos, ainda não existem valores padrões destes índices para grande parte das raças dessas espécies (MARINS et al., 2020). Segundo o Livestock and Poultry Heat Stress Indices - LPHSI, citado por Marai et al. (2007) e Mendes et al. (2021) a classificação do ITU para os ovinos foi de ausência de estresse térmico para ITU < que 82; de 82 a < 84, estresse moderado; de 84 a < 86, estresse severo; e a partir de 86, estresse extremamente severo.

Os níveis de ITGU para ovinos e caprinos podem ser categorizados da seguinte forma: valores < 82: ausência de estresse térmico, >82 e <84: estresse térmico moderado, > 84 e < 86: estresse térmico severo e >86: estresse térmico extremamente severo (LPSHI, 1990; MASCARENHAS et al., 2023). Estudo realizado por Neves et al. (2008), estimou os valores críticos para ovinos brancos, castanhos e pretos no Agreste de Pernambuco, obtendo valores da ordem de 76,3; 75,2 e 75,3 para o ITU, respectivamente; 86,0; 84,0 e 84,2 para o ITGU, baseado na frequência respiratória e 80,0; 79,5 e 78,9 para o ITU; 92,8; 91,4 e 90,5, para o ITGU, respectivamente, baseado na temperatura retal, valores muito próximos aos estabelecidos pela LPSHI e utilizados como referência para estudos posteriores (PANTOJA et al., 2017; VASCONCELOS et al., 2021).

4.2.1 TERMORREGULAÇÃO E INDICADORES DO ESTRESSE TÉRMICO

Em uma situação de estresse térmico dentro de um sistema físico qualquer, como por exemplo, animal e o ambiente em que está inserido, existe uma contínua troca de calor por meios não evaporativos (radiação, condução e convecção) e evaporativos (suor e ofego) para manutenção da homeotermia, denominado termorregulação (SHEARER; BEEDE, 1990; IDRIS et al., 2021).

Segundo Van Wettere et al. (2021), impactos térmicos no desempenho e bem-estar de ovinos são mais profundos quando as temperaturas caem abaixo de 12°C (temperatura crítica inferior) ou se encontram acima de 25 a 31°C (temperatura crítica superior), quando os mecanismos termorreguladores são seriamente desafiados e a capacidade dos ovinos de manter a homeotermia é reduzida. No entanto, bem antes que essas temperaturas sejam atingidas, respostas de curto prazo, como as adaptações fisiológicas que permitem que os ovinos mantenham a homeotermia, impactam negativamente seu crescimento, bem-estar e reprodução (VAN WETTERE et al., 2021).

Quanto aos mecanismos de longo prazo, as respostas se concentram nos aspectos comportamentais e desempenho, ocorrendo alterações na quantidade de alimento consumido e

na eficiência da dissipação de calor, afetando conseqüentemente a produtividade do animal (RASHAMOL et al., 2020). Nos ovinos a dissipação de calor ocorre de forma não evaporativa em função direta com o ambiente por condução, convecção e radiação, todas dependendo da existência de um gradiente térmico entre a temperatura corporal do animal e do ambiente em que ele está inserido (SEJIAN et al., 2018).

Segundo Garcia et al. (2021), em casos em que há uma progressiva redução do gradiente térmico entre a temperatura corpórea e a temperatura do ambiente, os processos não evaporativos tornam-se menos eficientes e faz-se inevitável recorrer à termólise evaporativa para manter o equilíbrio térmico.

O aumento da ingestão de água, redução da ingestão de alimento, mudanças na frequência de micção, defecação, tempo de espera, tempo de repouso e a busca do animal por sombra são as principais mudanças comportamentais em espécies de gado expostas ao estresse térmico (ARAÚJO et al., 2010). Entre esses, o consumo de alimento reduzido e o comportamento de busca por sombra se mostram como as principais respostas comportamentais exibidas pelos animais ao tentarem reduzir a produção metabólica de calor (SEJIAN et al., 2018, TEMPLE; MANTECA, 2020; SEJIAN et al., 2021).

A temperatura retal, frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura corporal entre outros como a taxa de sudação, perfis hormonais e parâmetros hematológicos são os indicadores fisiológicos mais capazes de representar os impactos do estresse térmico sobre o animal (PRAGNA et al., 2017; MENGISTU et al., 2017). Entre esses, a temperatura retal e a frequência respiratória são os critérios mais utilizados e bem estabelecidos na caracterização da tolerância térmica e adaptação dos animais, com a primeira sendo consequência da ineficácia da segunda (SEJIAN et al., 2017a). A temperatura corporal normal e a taxa de respiração em ovinos é de 38,1–39,9°C e 12–30 respirações/min, mas os valores podem variar em diferentes condições, como nível de atividade, dieta, raça e idade (JOY et al., 2020).

A respiração é a ingestão de oxigênio (O₂) e eliminação de dióxido de carbono (CO₂) em condição termoneutra que leva à evaporação e dissipação da umidade do trato respiratório para manter o equilíbrio térmico. O aumento da frequência respiratória causa a polipneia térmica, propiciando a ocorrência de uma respiração rápida e audível chamada ofego, sendo o primeiro mecanismo de dissipação de calor utilizado pelos ovinos quando expostos a situações climáticas inadequadas (FAÇANHA et al., 2020; FERREIRA et al., 2021) na tentativa de otimizar os mecanismos respiratórios de resfriamento evaporativo (LEES et al., 2019; RASHAMOL et al., 2020).

Embora outros fatores como morfologia da pele, glândulas sudoríparas, tipo e condições da pelagem podem influenciar na economia do fluido termorregulador do corpo do animal, levando à diminuição ou aumento dos parâmetros eritrocitários, a frequência respiratória parece ter maior impacto especialmente nos pequenos ruminantes (HABIBU et al., 2018). Em ovelhas da raça Morada Nova que foram continuamente estressadas termicamente, a eficiência da perda de calor por evaporação cutânea começou a diminuir, enquanto a perda de calor por evaporação respiratória aumentou com a elevação da carga térmica ambiente (LEITE et al., 2018).

Dois métodos são utilizados para medir a frequência respiratória: 1) cronometrar um número preestabelecido de movimentos torácicos (e.g. 10–20), convertendo o número obtido para respirações por minuto, ou 2) contar os movimentos torácicos por 15 s, e multiplicar por 4 para chegar em respirações/min (WIJFFELS; SULLIVAN; GAUGHAN, 2021). Entretanto, a frequência respiratória elevada, quando mantida por tempo prolongado, acaba por se tornar um mecanismo improdutivo para a dissipação de calor no corpo do animal (SOUZA et al., 2005).

Diante desta situação, a sudorese é o subsequente mecanismo acionado na busca de impedir o acúmulo excessivo de calor no organismo (TITTO et al., 2016). Entretanto, nos ovinos a evaporação respiratória ofegante é de muito mais importância na dissipação de calor corporal do que a transpiração (MARAI et al., 2007), pois a taxa de sudorese sofre alta influência de muito fatores externos como umidade relativa, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e radiação térmica (BRITO et al., 2020).

A temperatura interna é amplamente utilizada como indicadora de estresse térmico, sendo a obtenção da temperatura retal o método predominante empregado e o indicador convencional da temperatura corporal central em ovinos (GALAN et al., 2018; JOY et al., 2022). Nesse sentido, a temperatura retal tem sido utilizada como um biomarcador de referência de estresse térmico que pode ser previsto em modelos matemáticos de complexidade variável, com base no monitoramento de outras variáveis biofísicas (ALMEIDA et al., 2018). O aumento da temperatura retal indica que os mecanismos termorreguladores não estão sendo eficientes para a dissipação do calor metabólico produzido (MARQUES et al., 2021).

Além da frequência respiratória e da temperatura retal, a temperatura da pele também é identificada como importante biomarcador para quantificar o estresse térmico nos ruminantes, animais dispostos em ambientes com alta carga térmica, aumentam a temperatura da sua pele, buscando manter o estado térmico de seu corpo (RASAHMOL et al., 2020). A elevação da temperatura da pele é atribuída diretamente a vasodilatação da rede capilar e ao aumento do

fluxo da circulação sanguínea próximo a superfície da pele, facilitando a dissipação de calor no animal (KATIYATIYA et al., 2017).

Como demonstrado em diversos estudos, os mecanismos termorregulatórios necessários para reverter efeitos adversos do estresse térmico acabam por ser tornar prejudiciais ao desempenho geral dos ovinos (LI et al., 2018; VAN WETTERE et al., 2021; MARCONE et al., 2021). De acordo com Bernabucci et al. (2010), a resposta à carga de calor altera a pós-absorção do metabolismo energético, lipídico e proteico, prejudica a função hepática, causa estresse oxidativo, compromete a resposta imune e diminui até mesmo o desempenho reprodutivo, pois um leve grau de hipertermia induzida por estresse térmico ambiental pode afetar a fertilidade, tanto em machos quanto em fêmeas (MCMANUS et al., 2020).

4.3 TERMORREGULAÇÃO TESTICULAR E ESPERMATOGÊNESE

Na maioria dos mamíferos domésticos cujos testículos estão localizados no escroto pendular e fora da cavidade abdominal, a espermatogênese normal depende da manutenção da temperatura testicular entre 2,0 e 6,0°C abaixo da temperatura corporal interna (DOS SANTOS et al., 2018) e nos carneiros, a espermatogênese leva cerca de 47 dias (HOCHEREAU-DE REVIERS; MONET-KUNTZ; COUROT et al., 2016). Existe um gradiente de temperatura no escroto e nos testículos, e quanto mais distante essa estrutura estiver da cavidade abdominal, mais eficaz será o sistema termorregulador escrotal (GARCIA et al., 2021). Devido à estreita relação entre essas estruturas ($r=0,95$), a avaliação da temperatura da superfície escrotal pode ser uma ferramenta importante para examinar a termorregulação testicular (COULTER et al., 1988). Além disso, o escroto é um importante órgão termorregulador em ovinos, portanto, a temperatura escrotal tem grande significância na avaliação da capacidade termotolerante de ovinos (SEJIAN et al., 2018).

Visto que testículos expostos a temperaturas elevadas apresentam uma série de alterações que concorrem para a redução na qualidade seminal, os mecanismos de termorregulação testicular se tornam essenciais para o equilíbrio térmico dos testículos e epidídimos, adequando a produção, transporte, maturação e armazenagem dos espermatozoides (SETCHELL, 1998). A termorregulação do testículo acontece principalmente pela existência de três mecanismos: o plexo pampiniforme, constituído por veias testiculares; a túnica dartos junto ao músculo cremaster e as glândulas sudoríparas apócrinas, situadas na bolsa escrotal, que permitem a sudação com subsequente resfriamento testicular (JÚNIOR et al., 2018).

A artéria testicular é circundada pelas veias do plexo pampiniforme, o fluxo sanguíneo desses vasos corre em direções opostas, formando um mecanismo chamado de contracorrente, que possibilita a troca de calor por condução entre os vasos do plexo e a artéria, assim, a temperatura do sangue arterial diminui à medida que se internaliza no parênquima testicular (KASTELIC et al., 1996; RIZZOTO; KASTELIC, 2020). A túnica dartos é uma estrutura de fibras musculares lisas que se localiza abaixo da pele do escroto, tendo como responsabilidade a regulação da temperatura dos testículos propriamente ditos, essa estrutura pode realizar a contração ou o relaxamento de acordo com a temperatura escrotal (SHAHAT; RIZZOTO; KASTELIC, 2020). Assim como a túnica dartos, o músculo estriado cremaster também é responsável pela posição do escroto em relação ao corpo (HANSEN, 2009; MORRELL, 2020) tendo como principal função a alteração do fluxo sanguíneo no testículo ao realizar movimentos de contração e relaxamento, favorecendo ou dificultando a troca de calor entre os testículos e o abdômen do animal (SENGER, 2012).

A pele do escroto é delgada e maleável, possuindo grande quantidade de glândulas sudoríparas e sebáceas, podendo ser coberta por uma camada de pelagem ou lã (FRANDSON et al., 2005). Essas características fazem com que o calor chegue de maneira mais eficaz à camada mais exterior da pele escrotal, em seguida sendo dissipado para o meio externo através dos fenômenos de sudação e radiação, assim, conservando a temperatura testicular abaixo da corporal (KASTELIC; RIZZOTO, 2021).

Estudos experimentais fornecem claras evidências dos efeitos da exposição ao calor na qualidade do sêmen, segundo Serrano et al. (2021), os ovinos sofrem grande influência do ambiente, com a herdabilidade das suas características espermáticas variando de baixa a moderada. Kastelic et al. (2017), observou um aumento na porcentagem de espermatozoides morfológicamente anormais após múltiplas exposições ao calor, incluindo o aquecimento isolado do escroto. Resultados recentes em ultrassonografia Doppler realizadas em carneiros, sugerem que a qualidade seminal pode diminuir durante os meses de primavera e verão se a resistência vascular da artéria testicular aumentar significativamente, resultando em microcirculação testicular insuficiente (HEDIA et al., 2019).

Assim como observado na criptorquidia ou em indução experimental (KASTELIC et al., 2017; PARRISH et al., 2017), à medida que a temperatura testicular aumenta, além das propriedades físicas do sêmen serem prejudicadas, a espermatogênese também é comprometida, manifestando-se através de defeitos espermáticos (DASKIN et al., 1998; GARCIA-OLIVEROS et al., 2020). O tipo de morfologia celular anormal observada no

espermatozoide corresponde ao estágio do processo da espermatogênese em que as células germinativas se encontravam quando a temperatura testicular sofreu um acréscimo (GONÇALVES et al., 2021).

Como o desconforto térmico afeta a homeostase animal, é fundamental identificar quais características do sêmen podem sucumbir às pressões derivadas de fatores climáticos e avaliar a contribuição de cada um desses fatores para a qualidade do sêmen (SOUTO et al., 2022).

4.3.1 QUALIDADE DO SÊMEN E ESPERMOGRAMA

O processo de maturação dos espermatozoides envolve diversas divisões celulares, como a perda de componentes físicos e químicos celulares e uma alta condensação de DNA, o que torna o processo altamente sensível a ameaças externas como a temperatura do ar (KAUSHIK et al., 2019; XAVIER et al., 2019). Rápidas mudanças na expressão gênica testicular ocorrem quando os mecanismos termorregulatórios fracassam e a temperatura dos testículos eleva-se acima da corporal (RIZZOTO et al., 2020a, 2020b), sendo essas mudanças acompanhadas pela deterioração da qualidade seminal (ROSSI et al., 2021; RIZZOTO et al., 2020a).

Os espermatozoides de carneiro duram entre 13 e 15 dias na maturação epididimal, por isso são os primeiros a mostrar danos por hipertermia (ESCOBAR et al., 2019). As células germinativas em estágios de meiose e espermatogênese são mais suscetíveis ao estresse térmico, conseqüentemente, a qualidade do sêmen é reduzida devido às células germinativas que estão passando por esses estágios nos momentos de altas temperaturas (RAHMAN et al., 2018). Porém, Silva et al. (2018) observaram que o estresse térmico agudo também afeta os espermatozoides que já completaram sua formação e estão no epidídimo.

Segundo o Colégio Brasileiro de Reprodução Animal – CBRA (2013), o sêmen de carneiro tem como características preferíveis: aspecto do sêmen leitoso ou cremoso, vigor maior ou igual a três (score de 1 – 5), cor branca ou amarelo-marfim, concentração espermática variando de $1 - 3 \times 10^9$ de espermatozoides/mL, volume do ejaculado relativamente pequeno, variando de 0,5 a 3,0 mL, motilidade espermática retilínea maior ou igual a 80% e turbilhonamento ou movimento em massa maior ou igual a três (score de 1 – 5). No macho ovino, as características seminais normalmente mais afetadas pelo estresse térmico são concentração espermática por mL por ejaculado, vigor espermático, motilidade espermática retilínea e morfologia espermática (MOURA et al., 2019; EL-ZEFTAWY; MAHMOUD; HASSAN, 2019; RESIDIWATI et al., 2020; FREITAS et al., 2020).

A exposição de ruminantes a um ITU elevado afeta a morfologia do esperma e a integridade da membrana plasmática, cinemática e concentração, aumentando a mortalidade espermática e levando à infertilidade (SABÉS-ALSINA et al., 2019; LUCEÑO et al., 2020). Um experimento realizado por Shahat, Thundathil e Kastelic (2021) com 10 carneiros da raça Dorset alocados aleatoriamente em dois grupos iguais: 1) expostos a 28°C temperatura ambiente e 30–34% de umidade relativa por 8 h/d por 4 dias; e 2) submetidos ao aquecimento isolado do escroto, mostrou que os dois modelos de estresse térmico utilizados no estudo alteraram significativamente os parâmetros de qualidade espermática dos carneiros, reduzindo a motilidade total e progressiva, integridade acrossômica e aumentando as anormalidades morfológicas.

O estresse térmico leve e de curto prazo pode afetar significativamente a motilidade espermática 14 a 21 dias após a exposição, como resultado de insultos aos estágios de desenvolvimento da espermátide e do espermátócito, onde ocorre a formação do flagelo (RIZZOTO et al., 2020a). Em um estudo realizado em uma região de clima semiárido, Maurya et al. (2018), carneiros Merino estressados termicamente apresentaram maiores volumes de sêmen, mas mostraram tendências opostas na motilidade e concentração espermática em comparação com carneiros em condições climáticas favoráveis.

Embora as porcentagens aumentadas de espermatozoides anormais e imóveis sejam consistentemente relatadas após a exposição ao calor, os efeitos na concentração de espermatozoides são variáveis e podem ser influenciados pela frequência da coleta de sêmen para realização de exames andrológicos (VAN WETTERE et al., 2021). O exame andrológico pode prever a capacidade de um carneiro no beneficiamento de um certo número de ovelhas durante o seu estágio reprodutivo (TIBARY et al., 2018), tendo como uma de suas etapas o espermograma, procedimento realizado para avaliar as características do ejaculado (CBRA, 2013). Três métodos são descritos para realizar a coleta de sêmen em carneiros: pela colheita intravaginal, através de vagina artificial, ou por eletroejaculação (CBRA, 2013).

Dentre as principais características do ejaculado a serem avaliadas estão o volume, aspecto do ejaculado, turbilhonamento, motilidade, vigor, concentração, morfologia das células espermáticas e integridade da membrana plasmática e acrossomal (CBRA, 2013):

a) Volume

Não há valor máximo ou mínimo para o volume ejaculado e é expresso em mililitros (mL). O volume depende das diferenças entre as espécies, sendo também muito dependente da técnica utilizada para a coleta (CBRA, 2013).

b) Coloração e aspecto

A cor do sêmen varia de acordo com a espécie e pode ser branca, marfim, cinza ou amarelo citrino. Por outro lado, a aparência do sêmen é determinada basicamente pela concentração espermática e é classificada como cremosa, leitosa, opalescente, serosa ou aquosa, indicando o grau de redução da concentração espermática na amostra (CBRA,2013).

c) Turbilhonamento

O turbilhonamento é o movimento ondulatório de uma gota de sêmen puro. O exame deve ser realizado com uma gota de sêmen em lâmina de vidro pré-aquecida a 37°C, utilizando-se microscópio óptico com aumento de 100x. Deve-se utilizar uma escala de zero a cinco, onde zero é nenhum movimento e cinco é o movimento de massa máxima (CBRA,2013).

d) Motilidade progressiva retilínea

A motilidade deve ser expressa em porcentagem e representa o total de espermatozoides móveis na amostra. Utiliza-se uma escala de 0 a 100%, onde 0 é significa nenhuma motilidade e 100% é a motilidade máxima dos espermatozoides (CBRA, 2013). Com o auxílio de um microscópio óptico com aumento de 200 ou 400x, uma gota de sêmen deve ser examinada em uma lâmina e lamínula pré-aquecida a 37°C (CBRA, 2013).

e) Vigor

O vigor é definido como a força do movimento dos espermatozoides, definida pela velocidade de batimento flagelar. Sua avaliação é dada em uma escala de zero a cinco, sendo zero para o ejaculado com ausência de espermatozoides móveis e cinco para espermatozoides com forte motilidade (CBRA, 2013). Com a ajuda de um microscópio óptico, uma gota de sêmen deve ser examinada em uma lâmina e lamínula pré-aquecida a 37°C com aumento de 200 ou 400x (CBRA, 2013).

f) Concentração

O método mais utilizado para contagem de espermatozoides é a câmara de Neubauer, na qual é medido o número de espermatozoides por mililitro de ejaculado (CBRA, 2013). As amostras de sêmen devem ser diluídas 1:400 em solução formol salina tamponada para contagem, onde microscópios ópticos ou de contraste de fase são utilizados com ampliação de 100 ou 200X (CBRA, 2013).

g) Características morfológicas

Para o exame de anormalidades espermáticas, duas técnicas principais podem ser utilizadas, onde a mais simples consiste em lâminas coradas e preparação úmida, onde 200

espermatozoides devem ser contados e cada célula analisada quanto à forma e defeitos estruturais (CBRA, 2013).

h) Principais anormalidades espermáticas

As anormalidades do esperma são classificadas como defeitos menores, maiores e totais. Sua presença é avaliada em porcentagem, permitindo no máximo 10% de defeitos maiores e 20% de defeitos menores totais, porém, em um ejaculado de qualidade 70% do total de espermatozoides devem ser considerados normais, desde que não haja 5% do mesmo defeito (CBRA, 2013).

i) Integridade da membrana plasmática e acrossomal

A análise da membrana plasmática normalmente é realizada pela técnica IP/CFDA, que consta da conjugação de diacetato de 6-carboxifluoresceína (CFDA) com iodeto de propídio (PI) (Harrison e Vickers, 1990), com o auxílio de um microscópio de epifluorescência, permitindo distinguir os espermatozoides com membrana intacta e não intacta.

4.4 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO NA PRODUÇÃO ANIMAL

A utilização de aparelhos espectroscópicos para medir a temperatura de regiões localizadas da superfície da pele é um método rápido, automatizado e eficiente para diagnosticar o estado fisiológico dos animais (SATHIYABARATHI et al., 2018). Este procedimento é preciso na detecção de saúde animal anormal e reduz a carga de trabalho nas propriedades, pois as análises podem ser feitas em minutos e os resultados estão disponíveis imediatamente (KHAKIMOV et al., 2022).

A termografia por infravermelho (TIV) é um método remoto e não invasivo para avaliar a temperatura da superfície corporal por meio de radiação eletromagnética, pois pode obter calor radiante no espectro infravermelho sem perturbação ao comportamento animal (CASTELLS et al., 2019). A TIV realizada por meio de câmera termográfica produz resultados de saída na forma de termogramas, mapas térmicos de imagens com diferentes distribuições de temperatura, que são capturados pela câmera na forma de energia infravermelho irradiada do objeto (ZHANG et al., 2020).

Em vista disso, segundo Pandorfi et al. (2012) a TIV busca correlações entre distribuição da temperatura corporal em condições de estresse e de conforto e possíveis inferências como temperatura retal e de núcleo corpóreo. Modernamente, a medicina veterinária vem utilizando este método para o monitoramento fisiológico de ovinos (PANTOJA et al.,

2017), búfalos (SILVA et al., 2018), vacas leiteiras (GIANESELLA et al., 2018), bovinos de corte (ROMANELLO et al., 2018) e outras espécies.

O funcionamento dessa tecnologia e sua aplicação nos animais baseia-se na detecção de calor irradiado de áreas definidas do corpo do animal, que possuem uma densidade de vasos sanguíneos na superfície, regulando a perda ou ganho de temperatura relacionados ao ambiente pela modificação do fluxo sanguíneo (MELO et al., 2022). Essas alterações fisiológicas nos animais são detectadas pelas câmeras termográficas, possibilitando uma acelerada detecção do estresse térmico, auxiliando os produtores ao fornecer informações que podem auxiliar nas decisões de manejo animal baseadas em evidências (CUTHBERTSON et al., 2020).

Todos os corpos com temperatura superficial acima do zero absoluto são capazes de emitir radiação eletromagnética (ZANINELLI et al., 2018). Comprimentos de onda que variam de 780 nm a 1 mm fazem parte da porção do espectro de radiação eletromagnética definida como radiação infravermelho, sendo essa faixa utilizada para medições de temperatura da superfície dos corpos (MINKINA; DUDZIK, 2009; BLEUL; HÄSSIG; KLUSER, 2021). Na termografia, a radiação infravermelha é assimilada pelo termovisor e transformada em pulsos elétricos que são processados por software e exibidos em um mapa de calor pseudocolorido, representando diferentes temperaturas na faixa do infravermelho (LOWE et al., 2019; MOTA-ROJAS et al., 2020; MOTA-ROJAS et al., 2021).

De acordo com a quantidade de informações capturadas, os termogramas podem ser divididos em não radiométricos e radiométricos (ANTÓN; AMARO-MELLADO, 2021). Um termograma não radiométrico é uma imagem simples da distribuição de temperatura (ZHANG et al., 2016). Um termograma radiométrico contém informações sobre a temperatura da superfície de um objeto e as propriedades da superfície que afetam a capacidade de emitir radiação infravermelha (VOLLMER; MÖLLMANN, 2018).

A emissividade, o ambiente, a distância do corpo que está sendo avaliado e a reflexão são alguns fatores importantes que influenciam a TIV na detecção da radiação térmica emitida por uma superfície e para que a técnica seja eficaz, cumprindo o seu propósito, é necessário que os parâmetros ambientais e técnicos de tomada de imagem sejam levados em consideração e se necessário, corrigidos (WANG et al., 2021; MELO et al., 2022).

A razão entre a intensidade de emissão de um corpo real e a de um corpo negro absoluto com a mesma temperatura é chamada de emissividade e determina a capacidade de um corpo de irradiar calor (KŘÍŽ et al., 2021), sendo uma função de vários parâmetros como o ângulo de

observação, a temperatura do objeto, o comprimento de onda, a cor e textura da superfície e sua contaminação (MARINETTI; CESARATTO, 2012).

A temperatura atmosférica, a umidade relativa assim como a distância entre a câmera e a superfície do objeto a ser medido devem ser ajustadas para corrigir a influência da atmosfera, que acaba por atenuar a radiação térmica da superfície a ser analisada, dependendo principalmente da distância (KŘÍŽ et al., 2021), pois a intensidade dessa radiação segue a lei do inverso do quadrado, em que o quadrado da distância da fonte é inversamente proporcional a intensidade (TRAVAIN; VALSECCHI, 2021).

A densidade de pixels também pode ser alterada pela distância de captura da imagem e, portanto, a temperatura obtida, afetando a interpretação, por esse motivo, é sugerido que a distância de 1 m seja suficiente para uma visão geral (CASAS-ALVARADO et al., 2020). Porém, a distância pode depender de aspectos específicos, como a necessidade de avaliar determinadas áreas que requeiram uma distância menor, como 0,5 m (CAPRARO et al., 2008).

A reflexão é um problema comum nos dispositivos eletrônicos e pode ser compensada se for fornecido um coeficiente de reflexão preciso (WANG et al., 2021). A radiação eletromagnética viaja em linhas retas, portanto, medir a intensidade da radiação térmica em ângulos muito agudos reduzirá a radiação incidente, fazendo com que a superfície pareça mais fria do que realmente está, portanto, a melhor posição para a tomada da imagem térmica é perpendicular à fonte emissora (TRAVAIN; VALSECCHI, 2021).

A TIV vem sendo amplamente utilizada em estudos com ovinos (CASTELLS et al., 2019; SUTHERLAND et al., 2020; PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2021). Alves et al. (2016) mostrou a eficiência da termografia infravermelha na identificação de temperaturas escrotais e testiculares normais e alteradas, indicando que as características do sêmen e as concentrações séricas de testosterona no sangue são alteradas pelo estresse térmico escrotal. A termografia utilizada para medir a temperatura da superfície escrotal e sua relação com as propriedades do sêmen, também provou ser uma técnica promissora para a triagem de touros de alta qualidade (BORAH et al., 2022), em que o gradiente de temperatura entre a superfície escrotal proximal e distal indicou uma melhor relação das características do sêmen (KASTELIC, 2014; SILVA et al., 2018; YADAV et al., 2019).

AHIRWAR et al. (2018) mostraram que quanto maior a ITU, maior a temperatura da superfície testicular de touros bubalinos e, portanto, maior a incidência de espermatozoides anormais, concluindo que a TIV escrotal foi suficiente para identificar variáveis ambientais que afetam a qualidade do sêmen.

O processo de análise de imagens térmicas precisa ser otimizado, um problema fundamental no uso da TIV é a padronização da área que deve ser medida e analisada por software (MACHADO et al., 2021), permitindo a análise automatizada usando algoritmos baseados em visão computacional.

4.5 GEOESTATÍSTICA APLICADA À PRODUÇÃO ANIMAL

O termo geoestatística refere-se ao estudo de fenômenos naturais que podem ser caracterizados pela distribuição espacial de uma ou mais variáveis, denominadas variáveis regionalizadas. O estudo destas variáveis procura resolver, por meio de interpolação, os problemas de estimativa para locais em que a amostragem não foi realizada, inferindo espacialmente através de ajustes de funções matemáticas locais ou globais (DANILOV; PIVOVAROVA; KROTOVA, 2018).

HENGL (2009) descreveu o procedimento de análise geoestatística em 6 passos principais: definição de planos de amostragem e fluxo de trabalho computacional; coleta de dados de campo e análise de laboratório; estimativa de modelo usando os dados de pontos amostrados (calibração); implementação do modelo (modelagem de variogramas); avaliação cruzada do modelo usando dados de validação e produção final; e distribuição dos mapas de saída (krigagem).

Um variograma é caracterizado como uma medida da variância da diferença nos valores de uma variável regionalizada entre pontos separados por uma certa distância, pontos mais próximos, por serem correlacionados, apresentarão menor variância que irá aumentar à medida que os pontos se afastam (HOFFIMANN et al., 2021).

A krigagem utiliza a localização geográfica dos dados para interpolar a partir do semivariograma, expressando o conceito de variação espacial e intervalo de separação espacial das variáveis em unidades métricas conhecidas (ZAKERI; MARIETHOZ, 2021). Este estimador usa funções matemáticas, correlações espaciais e ajuste de modelos teóricos para adicionar pesos maiores mais próximos dos pontos de amostra e pesos menores mais distantes para criar uma nova combinação linear desses dados (GÓMEZ-HERNÁNDEZ; SRIVASTAVA, 2021). Como o variograma é função da distância entre os pontos amostrais, mantendo-se o mesmo tamanho amostral, os pesos variam de acordo com sua distribuição geográfica (JO; PYRCZ, 2022).

O modelo ajustado pode ser validado das seguintes maneiras: erro médio absoluto, calculado pela média da diferença entre os valores estimados e verdadeiros dos dados, quanto

mais próximo o resultado estiver de zero, melhor a análise (SANTOS; SILVA, 2020); o coeficiente de determinação (R^2), que expressa a proporção da variação de uma medida (variável resposta) através da variação de outra (variável explanatória), quanto mais próximo o valor de R^2 estiver de 1 (um), melhor o ajuste (CHICCO; WARRENS; JURMAN, 2021); a soma dos quadrado dos resíduos, representa as distâncias quadráticas entre os valores observados e seus valores ajustados pelo modelo teórico ao semivariograma experimental, quanto menor o seu valor, melhor o ajuste (KORKMAZ, 2020); e o grau de dependência espacial representado pelo índice de dependência espacial (IDE), que mede a influência dos valores dos dados entre si (KARASIAK, 2022) e o coeficiente de correlação de pearson (r), que mede a intensidade e a direção de relações lineares existentes entre as variáveis, através da divisão entre os valores reais sobre os preditos (AFYOUNI; SMITH; NICHOLS, 2019).

A utilização da geoestatística na produção animal tem se mostrado eficaz tanto para análise do comportamento animal quanto para avaliações relacionadas ao ambiente de produção. Silva et al. (2019) avaliaram o padrão de variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere de vacas leiteiras contribuindo para a padronização do diagnóstico de animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica por meio de imagens térmicas. Lopes et al. (2020) avaliaram o ambiente interno de aviários no período de inatividade (vazio sanitário) e na fase de produção, caracterizando a variabilidade térmica espacial e identificando pontos críticos de controle. Batista et al. (2021) utilizaram técnicas de geoestatística e análise de imagens para extrair características de interesse, estabelecendo um modelo de conforto térmico animal, baseado na classificação de imagens térmicas de novilhas 7/8 Holandês-Gir. Silva et al. (2022) determinaram a variabilidade espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras em um sistema “*compost barn*”, avaliando as condições de conforto térmico dos animais confinados por meio de mapas de krigagem.

4.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Dentre as técnicas estatísticas multivariadas, a Análise de Componentes Principais (ACP) tem sido utilizada amplamente para analisar a qualidade do sêmen nos mais diversos animais, como em galos (TESFAY et al., 2020), porcos (MATEO-OTERO et al., 2021), touros (TURRI et al., 2021), carneiros (PALACIN-MARTINEZ et al., 2022) e também nos seres humanos (ZHANG et al., 2022).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada que analisa uma tabela de dados em que as observações são descritas por várias variáveis dependentes

quantitativas correlacionadas. Essa técnica estatística reduz a quantidade de variáveis correlacionadas entre si em um conjunto de variáveis menor e não correlacionadas contendo maior parte das informações do conjunto original (HONGYU et al., 2016).

Seu objetivo é extrair as informações importantes da tabela, representá-la como um conjunto de novas variáveis ortogonais denominadas componentes principais, e exibir o padrão de similaridade das observações e das variáveis como pontos em mapas (ABDI; WILLIANS, 2010).

Os componentes principais são gerados em ordem decrescente de contribuição para a variância, ou seja, o primeiro componente principal (CP1) explica a maior parte da variação presente nos dados originais, e os componentes principais sucessivos respondem por uma proporção decrescente da variância (GILROY; LITVAK, 2019).

5. REFERÊNCIAS

- ABD-ELMABOD, S. K. et al. Climate change impacts on agricultural suitability and yield reduction in a Mediterranean region. **Geoderma**, v. 374, p. 114453, 2020.
- ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.
- AFYOUNI, S.; SMITH, S. M.; NICHOLS, T. E. Effective degrees of freedom of the Pearson's correlation coefficient under autocorrelation. **NeuroImage**, v. 199, p. 609-625, 2019.
- AHIRWAR, M. K. et al. Scrotal infrared digital thermography predicts effects of thermal stress on buffalo (*Bubalus bubalis*) semen. **Journal of thermal biology**, v. 78, p. 51-57, 2018.
- ALMEIDA, J. T. B. de. et al. Modelos matemáticos para predição da temperatura interna de reprodutores ovinos, com base no uso da termografia por infravermelho. In: **Embrapa Pecuária Sudeste-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA SÃO CARLOS, 10.
- ALVES, M. B. R. et al. Recovery of normal testicular temperature after scrotal heat stress in rams assessed by infrared thermography and its effects on seminal characteristics and testosterone blood serum concentration. **Theriogenology**, v. 86, n. 3, p. 795-805. e2, 2016.
- ANTÓN, D.; AMARO-MELLADO, J. L. Engineering graphics for thermal assessment: 3D thermal data visualisation based on infrared thermography, GIS and 3D point cloud processing software. **Symmetry**, v. 13, n. 2, p. 335, 2021.
- ARAÚJO, G. G. L. de. et al. Water and small ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 326-336, 2010.
- ARMAN, C. et al. Ram sperm motility after intermittent scrotal insulation evaluated by manual and computer-assisted methods. **Asian journal of andrology**, v. 8, n. 4, p. 411-418, 2006.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. **Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa**, 1997.
- BATISTA, P. H. D. et al. Thermal images to predict the thermal comfort index for Girolando heifers in the Brazilian semiarid region. **Livestock Science**, v. 251, p. 104667, 2021.
- BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1167-1183, 2010.
- BLEUL, U.; HÄSSIG, M.; KLUSER, F. Screening of febrile cows using a small handheld infrared thermography device. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere*, v. 49, n. 01, p. 12-20, 2021.
- BORAH, S. et al. Application of infrared thermography for animal health study. **Emergent Life Sciences Research**, v. 8, p. 152-157, 2022.

- BORGES, P. H. de M. et al. Índice de temperatura e umidade para o desenvolvimento da avicultura no Nordeste de Mato Grosso. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 29-38, 2021.
- BRITO, Luiz F. et al. Large-scale phenotyping of livestock welfare in commercial production systems: A new frontier in animal breeding. **Frontiers in genetics**, v. 11, p. 793, 2020.
- BUFFINGTON, C. S. et al. Black globe humidity comfort index for dairy cows. St. Joseph. **Transactions of the ASAE**, v. 24, p. 0711-0714, 1981.
- BYRNE, D. T. et al. Infrared thermography as a tool to detect hoof lesions in sheep. **Translational Animal Science**, v. 3, n. 1, p. 577-588, 2019.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, D.L.; KARLEN, R.F.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E.; Field Scale Variability of soil properties in central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. AM. J.*, vol. 58, September-October, 1994.
- CANNAS, S. et al. Thermography as a non-invasive measure of stress and fear of humans in sheep. **Animals**, v. 8, n. 9, p. 146, 2018.
- CAPRARO, G. A. et al. Testicular cooling associated with testicular torsion and its detection by infrared thermography: an experimental study in sheep. **The Journal of urology**, v. 180, n. 6, p. 2688-2693, 2008.
- CARABAÑO, M. J. et al. Selecting for heat tolerance. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 62-68, 2019.
- CASAS-ALVARADO, A. et al. Advances in infrared thermography: Surgical aspects, vascular changes, and pain monitoring in veterinary medicine. **Journal of Thermal Biology**, v. 92, p. 102664, 2020.
- CASEY, P. J. et al. Validation of an acrosomal stain for equine sperm that differentiates between living and dead sperm. **Journal of andrology**, v. 14, n. 4, p. 289-297, 1993.
- CASTELLS, E. et al. Diagnostic imaging techniques of the respiratory tract of sheep. **Small Ruminant Research**, v. 180, p. 112-126, 2019.
- CHICCO, D.; WARRENS, M. J.; JURMAN, G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. **PeerJ Computer Science**, v. 7, p. e623, 2021.
- COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL – CBRA. Manual para Exame Andrológico e Avaliação de Sêmen Animal. 3. ed. Belo Horizonte, 2013.
- COMMISSION ON GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE; FAO. **Coping with climate change: The roles of genetic resources for food and agriculture**. FAO, 2015.
- COSTA, R. G., QUEIROGA, R. de C. R. E, PEREIRA, R. A. G. Influência do alimento na produção e qualidade do leite de cabra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 307-321, 2009.

- COULTER, G. H.; SENGER, P. L.; BAILEY, D. R. C. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. **Reproduction**, v. 84, n. 2, p. 417-423, 1988.
- CUTHBERTSON, H. et al. Using infrared thermography on farm of origin to predict meat quality and physiological response in cattle (*Bos Taurus*) exposed to transport and marketing. **Meat science**, v. 169, p. 108173, 2020.
- DA SILVA, C. M. et al. Performance and economic viability of feedlot sheep fed different levels of roughage, concentrate, and water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1595-1605, 2016.
- DA SILVA, T. G. F. et al. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. **Journal of thermal biology**, v. 85, p. 102408, 2019.
- DANILOV, A.; PIVOVAROVA, I.; KROTOVA, S. Geostatistical analysis methods for estimation of environmental data homogeneity. **The Scientific World Journal**, v. 2018, 2018.
- DASKIN, A.; YURDAYDIN, N.; OZDEMIR, T. Effects of cryptorchidism on spermatological properties. **Journal of Lalahan Livestock Research Institute (Turkey)**, 1998.
- DOS SANTOS, J. et al. Avaliação ultrassonográfica da degeneração testicular causada por insulação escrotal em carneiros. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, n. 2, 2017.
- DURAIRAJANAYAGAM, D.; AGARWAL, A.; ONG, C. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. **Reproductive biomedicine online**, v. 30, n. 1, p. 14-27, 2015.
- EL-TARABANY, M. S.; EL-TARABANY, A. A.; ATTA, M. A. Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, n. 1, p. 61-68, 2017.
- EL-ZEFTAWY, M.; MAHMOUD, G. B.; HASSAN, M. Impact of thermal stress exposure on seminal quality, antioxidant defence system, TNF- α and TIMP-3 in Ossimi ram. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 55, n. 7, p. 870-881, 2020.
- ESCOBAR, E. et al. Effect of γ -oryzanol on testicular degeneration induced by scrotal insulation in rams. **Theriogenology**, v. 128, p. 167-175, 2019.
- ESMAY, M. L. Principles of animal environment. Westport, Avi Publishing Company Inc, 325p, 1982.
- FAÇANHA, D. A. E. et al. Are locally adapted goats able to recover homeothermy, acid-base and electrolyte equilibrium in a semi-arid region? **Journal of Thermal Biology**, v. 90, p. 102593, 2020.
- FERRAZ, P. F. P. et al. Spatial variability of litter temperature, relative air humidity and skin temperature of chicks in a commercial broiler house. **Agronomy Research** 17(2), 408-417, 2019.

FERREIRA, J. et al. Evaluation of homeothermy, acid-base and electrolytic balance of black goats and ewes in an equatorial semi-arid environment. **Journal of Thermal Biology**, v. 100, p. 103027, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). High Level Expert Forum—How to Feed the World in 2050. 2009.

FRANDSON, R. D.; WILKE, W. L.; FAILS, A. D. **Anatomia e fisiologia dos animais de fazenda**. Guanabara Koogan, 2005.

FREITAS, A. de P. et al. Effect of thermal stress on basic seminal characteristics of Gyr bulls. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 10, p. 1649-1656, 2020.

GALAN, E. et al. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. **PLoS one**, v. 13, n. 11, p. e0206520, 2018.

GARCIA, A. R. et al. Estresse calórico e reprodução em ovinos: fundamentos e perspectivas tecnológicas. **Rev Bras Reprod Anim**, v. 45, n. 4, p. 430-442, 2021.

GARCIA-OLIVEROS, L. N. et al. Heat stress effects on bovine sperm cells: a chronological approach to early findings. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 8, p. 1367-1378, 2020.

GIANESELLA, M. et al. Infrared thermography as a rapid and non-invasive diagnostic tool to detect inflammatory foot diseases in dairy cows. **Polish journal of veterinary sciences**, v. 21, n. 2, 2018.

GILROY, Christine E.; LITVAK, Matthew K. Relationship between seminal plasma composition and spermatozoa swimming speed and motility in wild and captive shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*). **Aquaculture**, v. 505, p. 217-224, 2019.

GIRO, A. et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

GÓMEZ, Y. et al. Evaluation of visible eye white and maximum eye temperature as non-invasive indicators of stress in dairy cows. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 198, p. 1-8, 2018.

GÓMEZ-HERNÁNDEZ, J. J.; SRIVASTAVA, R. M. One step at a time: The origins of sequential simulation and beyond. **Mathematical Geosciences**, v. 53, n. 2, p. 193-209, 2021.

GONÇALVES, A. A. et al. Scrotal thermoregulation and sequential sperm abnormalities in buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) under short-term heat stress. **Journal of Thermal Biology**, v. 96, p. 102842, 2021.

GUERRINI, V. H. Food intake of sheep exposed to hot-humid, hot-dry, and cool-humid environments. **American Journal of Veterinary Research**, v. 42, n. 4, p. 658-661, 1981.

HABIBU, B. et al. Haematological changes and plasma fluid dynamics in livestock during thermal stress, and response to mitigative measures. **Livestock Science**, v. 214, p. 189-201, 2018.

- HANSEN, P. J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1534, p. 3341-3350, 2009.
- HARRISON, R. A.; VICKERS, S. E. Use of fluorescent probes to assess membrane integrity in mammalian spermatozoa. **Journal of Reproduction and Fertility**. v. 88, n. 1, p. 343-52, 1990.
- HEDIA, M. G. et al. Seasonal variation in testicular blood flow dynamics and their relation to systemic and testicular oxidant/antioxidant biomarkers and androgens in rams. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 55, n. 7, p. 861-869, 2020.
- HENGL, T. A practical guide to geostatistical mapping. 2009.
- HOCHEREAU-DE REVIERS, M. T.; MONET-KUNTZ, C.; COUROT, M. Spermatogenesis and Sertoli cell numbers and function in rams and bulls. **J Reprod Fertil Suppl**, v. 34, n. 10, p. 1-114, 1987.
- HOFFMANN, J. et al. Geostatistical learning: Challenges and opportunities. **Frontiers in Applied Mathematics and Statistics**, v. 7, p. 689393, 2021.
- HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. **Veterinary research communications**, v. 37, n. 2, p. 91-99, 2013.
- HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., & DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v.5, n.1, p.83-90, 2016
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em 05/02/2024.
- IDRIS, M. et al. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. **Animals**, v. 11, n. 1, p. 71, 2021.
- IPCC. Climate change 2021: physical science basis. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2021. 1300 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/documentation/>. Acesso em 21/09/2022.
- JO, H.; PYRCZ, M. J. Automatic Semivariogram Modeling by Convolutional Neural Network. **Mathematical Geosciences**, v. 54, n. 1, p. 177-205, 2022.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 816 p, 1998.
- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 21, n. 2, p. 160- 173, 36, 1972.
- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. II: Real data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 22, n. 1, p. 21- 31, 1973.
- JOY, A. et al. Comparative assessment of thermotolerance in dorper and second-cross (poll dorset/merino× border leicester) lambs. **Animals**, v. 10, n. 12, p. 2441, 2020.

- JOY, A. et al. Non-invasive measure of heat stress in sheep using machine learning techniques and infrared thermography. **Small Ruminant Research**, v. 207, p. 106592, 2022.
- JUNIOR, F. A. B. et al. Effect of breed on testicular blood flow dynamics in bulls. **Theriogenology**, v. 118, p. 16-21, 2018.
- JUNIOR, F. A. B. et al. Infrared thermography and Doppler ultrasonography to evaluate the effects of scrotal insulation on testicular blood flow dynamics in bulls. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1267-1278, 2020.
- KAISER, HENRY F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23.3: 187-200, 1958.
- KARASIAK, N. et al. Spatial dependence between training and test sets: another pitfall of classification accuracy assessment in remote sensing. **Machine Learning**, v. 111, n. 7, p. 2715-2740, 2022.
- KASTELIC, J. P. et al. Hyperthermia and not hypoxia may reduce sperm motility and morphology following testicular hyperthermia. **Veterinární medicína**, v. 62, n. 8, p. 437-442, 2017.
- KASTELIC, J. P.; COOK, R. Byrne; COULTER, Glenn H. Contribution of the scrotum and testes to scrotal and testicular thermoregulation in bulls and rams. **Reproduction**, v. 108, n. 1, p. 81-85, 1996.
- KASTELIC, J. P.; RIZZOTO, G. Thermoregulation of the testes. **Bovine reproduction**, p. 40-46, 2021.
- KASTELIC, John P. Understanding and evaluating bovine testes. **Theriogenology**, v. 81, n. 1, p. 18-23, 2014.
- KATIYATIYA, C. L.; MUCHENJE, V. Hair coat characteristics and thermophysiological stress response of Nguni and Boran cows raised under hot environmental conditions. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 12, p. 2183-2194, 2017.
- KAUSHIK, K. et al. Heat induced differential pattern of DNA fragmentation in male germ cells of rats. **Journal of thermal biology**, v. 84, p. 351-356, 2019.
- KAHWAGE, P. R. et al. High systemic and testicular thermolytic efficiency during heat tolerance test reflects better semen quality in rams of tropical breeds. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 10, p. 1819-1829, 2017.
- KELLY, C. F. et al. A guide to environmental research on animals. **Bioclimatic Factors and Their Measurement. National Academy of Sciences. Washington, De**, v. 42, 1971.
- KHAKIMOV, A. R. et al. Development of an Algorithm for Rapid Herd Evaluation and Predicting Milk Yield of Mastitis Cows Based on Infrared Thermography. **Applied Sciences**, v. 12, n. 13, p. 6621, 2022.
- KHERIF, Ferath; LATYPOVA, Adeliya. Principal component analysis. In: **Machine Learning**. Academic Press, p. 209-225, 2020.

- KORKMAZ, M. A study over the general formula of regression sum of squares in multiple linear regression. **Numerical Methods for Partial Differential Equations**, v. 37, n. 1, p. 406-421, 2021.
- KŘÍŽ, P. et al. Application of the Machine Vision Technology and Infrared Thermography to the Detection of Hoof Diseases in Dairy Cows: A Review. **Applied Sciences**, v. 11, n. 22, p. 11045, 2021.
- LACERDA, F. F. et al. Alterações climáticas globais; uma realidade em Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 11, p. 121-154, 2014.
- LACERDA, F. F. et al. Conceito de sistemas agrovoltáticos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 42, p. e189543-e189543, 2022.
- LACETERA, N. Impact of climate change on animal health and welfare. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 26-31, 2019.
- LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- LEES, A. M. et al. A panting score index for sheep. **International journal of biometeorology**, v. 63, n. 7, p. 973-978, 2019.
- LEES, A. M. et al. The influence of temperament on body temperature response to handling in Angus cattle. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 172, 2020.
- LEITE, J. H. G. M. et al. Locally adapted Brazilian ewes with different coat colors maintain homeothermy during the year in an equatorial semiarid environment. **International journal of biometeorology**, v. 62, n. 9, p. 1635-1644, 2018.
- LI, F. K. et al. Effect of heat stress on the behavioral and physiological patterns of Small-tail Han sheep housed indoors. **Tropical animal health and production**, v. 50, n. 8, p. 1893-1901, 2018.
- LOPES, I. et al. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 409-414, 2020.
- LOWE, G. et al. Infrared thermography—A non-invasive method of measuring respiration rate in calves. **Animals**, v. 9, n. 8, p. 535, 2019.
- LPHSI. Livestock and Poultry Heat Stress Indices. Agriculture Engineering Technology Guide. Clemson University, Clemson, SC. USA, 1990.
- LUCENO, N. L. et al. Exposing dairy bulls to high temperature-humidity index during spermatogenesis compromises subsequent embryo development in vitro. **Theriogenology**, v. 141, p. 16-25, 2020.
- MACHADO, N. A. F. et al. Using infrared thermography to detect subclinical mastitis in dairy cows in compost barn systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102881, 2021.
- MANLY, B. F. J.; ALBERTO, J. A. N. **Multivariate statistical methods: a primer**. Chapman and Hall/CRC, 2016.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.html>. Acesso em 29/09/2022.

MARAI, I. F. M. et al. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small ruminant research**, v. 71, n. 1-3, p. 1-12, 2007.

MARCONE, G. et al. Panting scores as a measure of heat stress evaluation in sheep with access and with no access to shade. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 240, p. 105350, 2021.

MARINETTI, S.; CESARATTO, P. G. Emissivity estimation for accurate quantitative thermography. **NDT & E International**, v. 51, p. 127-134, 2012.

MARINS, T. N. et al. Índices de estresse e conforto térmico associados aos parâmetros fisiológicos e perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e111973672-e111973672, 2020.

MARQUES, J. I. et al. Estimation of Rectal Temperature of Goats Based on Surface Temperature. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 591-598, 2021.

MARTINS, E. C. et al. Cenários mundial e nacional da caprinocultura e da ovinocultura. **Boletim ativos de ovinos e caprinos**, v. 3, n. 2, p. 3-6, 2016.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, v. 48, p. 640-649, 2012.

MASCARENHAS, N. M. H.; FURTADO, D. F.; Souza, B. B.; BEZERRA, C. V.C.; Silva, R. S. Adaptabilidade de ovinos santa inês mantidos em condições de conforto e sob estresse térmico. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. CONTECC 2021.

MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique et al. Thermal gradient of local sheep and goats reared in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 2, p. e3020-e3020, 2023.

MATEO-OTERO, Yentel et al. Metabolite profiling of pig seminal plasma identifies potential biomarkers for sperm resilience to liquid preservation. **Frontiers in cell and developmental biology**, v. 9, p. 669974, 2021.

MAURYA, V. P. et al. Biological ability of Malpura rams to counter heat stress challenges and its consequences on production performance in a semi-arid tropical environment. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 3, p. 479-493, 2018.

MAURYA, V. P. et al. Impact of heat stress, nutritional restriction and combined stresses (heat and nutritional) on growth and reproductive performance of Malpura rams under semi-arid tropical environment. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 100, n. 5, p. 938-946, 2016.

MCDOWELL, R.G. Improvement of livestock production in war climates. San Francisco:W.H. Freeman and company, 1972.

MCMANUS, C. M. et al. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? **Theriogenology**, v. 155, p. 157-167, 2020.

- MCMANUS, C. M. et al. Physiology and genetics of heat stress in cattle. **CABI Reviews**, n. 2020, 2020.
- MELO, G. M. P. DE et al. Assessment of thermal comfort in bezerreiro: use of infrared thermography. **Journal of Agricultural Sciences Research** (2764-0973), v. 2, n. 3, p. 2-9, 11 abr. 2022.
- MENDES, A. M. de P. et al. Avaliação do conforto térmico em ovinos durante feira agropecuária no Sertão pernambucano. **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 3, p. 171-179, 2021.
- MENGISTU, U. L. et al. Conditions to evaluate differences among individual sheep and goats in resilience to high heat load index. **Small Ruminant Research**, v. 147, p. 89-95, 2017.
- MINKINA, W.; DUDZIK, Sebastian. **Infrared thermography: errors and uncertainties**. John Wiley & Sons, 2009.
- MORRELL, J. M. Heat stress and bull fertility. **Theriogenology**, v. 153, p. 62-67, 2020.
- MOTA-ROJAS, D. et al. Pathophysiology of fever and application of infrared thermography (IRT) in the detection of sick domestic animals: Recent advances. **Animals**, v. 11, n. 8, p. 2316, 2021.
- MOTA-ROJAS, D. et al. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: Neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 9, n. 1, p. 0-0, 2020.
- MOURA, A. B. B. et al. Differences in the thermal sensitivity and seminal quality of distinct ovine genotypes raised in tropical conditions. **Theriogenology**, v. 123, p. 123-131, 2019.
- NEVES, M. L. M. W. Índices de conforto térmico para ovinos Santa Inês de diferentes cores de pelame em condições de pastejo. 2008. 77 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- NICOLÁS-LÓPEZ, Porfirio et al. Ferulic acid supplementation for 40 days in hair ewe lambs experiencing seasonal heat stress: short-term effects on physiological responses, growth, metabolism, and hematological profile. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-10, 2022.
- NIMER, Edmon. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- PALACIN-MARTINEZ, Cristina et al. Frequency of Semen Collection Affects Ram Sperm Cryoresistance. **Animals**, v. 12, n. 12, p. 1492, 2022.
- PALACIOS, C.; ABECIA, J. A. Meteorological variables affect fertility rate after intrauterine artificial insemination in sheep in a seasonal-dependent manner: a 7-year study. **international Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 5, p. 585-592, 2015.
- PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 558-568, 2012.

- PANTOJA, J. de C. et al. Avaliação do conforto térmico para ovinos em exposição durante feira agropecuária de Santarém. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 316-329, 2018.
- PANTOJA, M. H. A. de et al. Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. **Journal of Thermal Biology**, v. 69, p. 302-310, 2017.
- PARRISH, J. J. et al. Scrotal insulation and sperm production in the boar. **Molecular reproduction and development**, v. 84, n. 9, p. 969-978, 2017.
- PEIXOTO, M. S. M. et al. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 7, p. 1120-1129, 2021.
- POLLI, V. A. et al. Thermal comfort and performance of feedlot lambs finished in two climatic conditions. **Small Ruminant Research**, v. 174, p. 163-169, 2019.
- POLLI, V. A. et al. Carcass traits and meat quality of lambs slaughtered during different seasonal conditions. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 6, p. 1-10, 2022.
- PRAGNA, P. et al. Summer season induced rhythmic alterations in metabolic activities to adapt to heat stress in three indigenous (Osmanabadi, Malabari and Salem Black) goat breeds. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 4, p. 551-565, 2018.
- PULIDO-RODRÍGUEZ, L. F. et al. Effect of solar radiation on thermoregulatory responses of Santa Inês sheep and their crosses with wool and hair Dorper sheep. **Small Ruminant Research**, v. 202, p. 106470, 2021.
- RAHIMI, J. et al. Heat stress will detrimentally impact future livestock production in East Africa. **Nature Food**, v. 2, n. 2, p. 88-96, 2021.
- RAHIMI-MOGHADDAM, S.; KAMBOUZIA, J.; DEIHIMFARD, R. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 253, p. 1-14, 2018.
- RAHMAN, M. B. et al. Heat stress responses in spermatozoa: Mechanisms and consequences for cattle fertility. **Theriogenology**, v. 113, p. 102-112, 2018.
- RASHAMOL, V. P. et al. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 3, p. 62-71, 2020.
- RENAUDEAU, D. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.
- RESIDIWATI, G. et al. Practical methods to assess the effects of heat stress on the quality of frozen-thawed Belgian Blue semen in field conditions. **Animal Reproduction Science**, v. 221, p. 106572, 2020.
- RIBEIRO, B. P. V. B. et al. Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. **Journal of Thermal Biology**, v. 93, p. 102678, 2020.
- RIZZOTO, G. et al. Acute mild heat stress alters gene expression in testes and reduces sperm quality in mice. **Theriogenology**, v. 158, p. 375-381, 2020a.

- RIZZOTO, G. et al. Testicular hyperthermia reduces testosterone concentrations and alters gene expression in testes of Nelore bulls. **Theriogenology**, v. 152, p. 64-68, 2020b.
- RIZZOTO, G.; KASTELIC, J. P. A new paradigm regarding testicular thermoregulation in ruminants? **Theriogenology**, v. 147, p. 166-175, 2020.
- RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, v.55, p.455-459, 2011.
- ROMANELLO, N. et al. Thermoregulatory responses and reproductive traits in composite beef bulls raised in a tropical climate. **International journal of biometeorology**, v. 62, n. 9, p. 1575-1586, 2018.
- ROSSI E. S. et al. A influência do estresse térmico na resistência do sêmen ovino (*Ovis Aries*) refrigerado a 4°C. Jornada de Pós-graduação JOIA, Unesp - 2021.
- ROTH, Z. Effect of heat stress on reproduction in dairy cows: insights into the cellular and molecular responses of the oocyte. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 5, p. 151-170, 2017.
- SABÉS-ALSINA, M. et al. Relationships between climate and sperm quality in dairy bull semen: A retrospective analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 6, p. 5623-5633, 2019.
- SANTOLARIA, P. et al. Climate factors affecting fertility after cervical insemination during the first months of the breeding season in Rasa Aragonesa ewes. **International journal of biometeorology**, v. 58, n. 7, p. 1651-1655, 2014.
- SANTOS, D. S.; SILVA, R. M. da. Aplicação de redes neurais mlp na predição da evapotranspiração de referência. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25293-25305, 2020.
- SERRANO, Jorge Orlay et al. Effect of short-term radiation stress on physiological and hematological parameters in Pelibuey sheep in Cuba. **Small Ruminant Research**, v. 210, p. 106679, 2022.
- SANTOS, G. C. de L.; CABRAL, Ana Maria Duarte. Índices bioclimáticos, modelagem matemática e índices estatísticos para avaliação de modelos utilizados na estimativa do conforto térmico animal. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e20910313328-e20910313328, 2021.
- SATHIYABARATHI, M. et al. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in *Bos indicus* (Deoni) cows. **Infrared Physics & Technology**, v. 88, p. 239-244, 2018.
- SEJIAN, V. et al. Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, v. 12, n. s2, p. s431-s444, 2018.
- SEJIAN, V. et al. Adapting sheep production to climate change. In: **Sheep production adapting to climate change**. Springer, Singapore, 2017a. p. 1-29.
- SEJIAN, V. et al. Heat stress and goat welfare: Adaptation and production considerations. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 1021, 2021.

SENGER, P. L.; TO, PATHWAYS. Pathways to pregnancy and parturition 3rd edition. **Redmond, OR: Current Conceptions, Inc**, 2012.

SERRANO, M. et al. Genome-wide association studies for sperm traits in Assaf sheep breed. **Animal**, v. 15, n. 2, p. 100065, 2021.

SETCHELL, B. P. The parkes lecture heat and the testis. **Reproduction**, v. 114, n. 2, p. 179-194, 1998.

SHAHAT, A. M.; RIZZOTO, G.; KASTELIC, J. P. Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. **Theriogenology**, v. 158, p. 84-96, 2020.

SHAHAT, A. M.; THUNDATHIL, J. C.; KASTELIC, J. P. Scrotal subcutaneous temperature is increased by scrotal insulation or whole-body heating, but not by scrotal neck insulation; however, all three heat-stress models decrease sperm quality in bulls and rams. **Journal of Thermal Biology**, v. 100, p. 103064, 2021.

SHEARER, J. K. et al. Thermoregulation and physiological responses of dairy cattle in hot weather. **Agri-practice**, v. 11, n. 4, p. 5-17, 1990.

SILVA, L. K. X. et al. Testicular thermoregulation, scrotal surface temperature patterns and semen quality of water buffalo bulls reared in a tropical climate. **Andrologia**, v. 50, n. 2, p. e12836, 2018.

SILVA, M. V. et al. Spatial modeling via geostatistics and infrared thermography of the skin temperature of dairy cows in a compost barn system in the Brazilian semiarid region. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, p. 100078, 2022.

SILVA, M. A. J. G. et al. Effect of the Spatial Distribution of the Temperature and Humidity Index in a New Zealand White Rabbit House on Respiratory Frequency and Ear Surface Temperature. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1657, 2021.

SILVA, R. Â. B. et al. Spatial dependence of udder surface temperature variation in dairy cows with healthy status and mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 2019.

SORIO, A. Diagnóstico da Oferta e Demanda de Ovinos e Caprinos para processamento de carne, pele e leite na região central do Tocantins. **Secretaria do desenvolvimento da agricultura e pecuária-Estado do Tocantins**, p. 240, 2017.

SOUTO, P. L. G. et al. Seasonal semen quality of a local and commercial taurine cattle breeds, raised in a subtropical climate: Relationship between external morphology of the animals and climate. **Animal Reproduction Science**, v. 240, p. 106974, 2022.

SOUZA, E. D. de. et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 177-184, 2005.

- SPANDAN, P. V. et al. Heat stress induced changes in the major carcass traits and quantitative expression patterns of selective meat quality determining genes in Kanni Aadu Goats. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100053, 2022.
- SUTHERLAND, M. A. et al. Evaluation of infrared thermography as a non-invasive method of measuring the autonomic nervous response in sheep. **PLoS One**, v. 15, n. 5, p. e0233558, 2020.
- TEMPLE, D.; MANTECA, X. Animal welfare in extensive production systems is still an area of concern. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 545902, 2020.
- TESFAY, Hailai Hagos et al. Comparative studies of semen quality traits and sperm kinematic parameters in relation to fertility rate between 2 genetic groups of breed lines. **Poultry science**, v. 99, n. 11, p. 6139-6146, 2020.
- TEKIN, K. et al. Use of Infrared Thermography during Ejaculation Process and Its Link with Semen Quality and Freezability in Dogs. **Animals**, v. 11, n. 11, p. 3023, 2021.
- THOM, E. C. The Discomfort Index Weatherwise 12: 57-61. 1959.
- THORNTON, P. et al. Impacts of heat stress on global cattle production during the 21st century: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 3, p. e192-e201, 2022.
- TIBARY, A.; BOUKHLIQ, R.; EL ALLALI, K. Ram and buck breeding soundness examination. **Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires**, v. 6, n. 2, p. 241-255, 2018.
- TITTO, C. G. et al. Thermoregulatory response in hair sheep and shorn wool sheep. **Small Ruminant Research**, v. 144, p. 341-345, 2016.
- TRAVAIN, T.; VALSECCHI, P. Infrared thermography in the study of animals' emotional responses: A critical review. **Animals**, v. 11, n. 9, p. 2510, 2021.
- TURRI, Federica et al. A Combined Flow Cytometric Semen Analysis and miRNA Profiling as a Tool to Discriminate Between High-and Low-Fertility Bulls. **Frontiers in veterinary science**, v. 8, 2021.
- VALVERDE, M. C. A INTERDEPENDÊNCIA ENTRE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA E SOCIOECONÔMICA NA REGIÃO DO ABC PAULISTA1. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, p. 39-60, 2017.
- VAN WETTERE, W. H. E. J. et al. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2021.
- VASCONCELOS, O. C. de M. et al. Avaliação do microclima da área de pasto de ovinos em Sistema Semi-Confinado do Instituto Federal do Amapá–parte 2. **Brazilian Journal of Development**, 2021.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, F.; Alvarez, V.; Schaefer, C. E. G. R. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.

- VOLLMER, M.; MÖLLMANN, Klaus-Peter. Infrared cameras as accessories to smartphones: facts you need to know. **Physics Education**, v. 53, n. 6, p. 065019, 2018.
- WANG, Fu-Kang et al. Non-invasive cattle body temperature measurement using infrared thermography and auxiliary sensors. **Sensors**, v. 21, n. 7, p. 2425, 2021.
- WARD JR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.
- WIJFFELS, G.; SULLIVAN, M.; GAUGHAN, J. Methods to quantify heat stress in ruminants: Current status and future prospects. **Methods**, v. 186, p. 3-13, 2021.
- XAVIER, M. J. et al. Paternal impacts on development: identification of genomic regions vulnerable to oxidative DNA damage in human spermatozoa. **Human Reproduction**, v. 34, n. 10, p. 1876-1890, 2019.
- YADAV, S. K. et al. Scrotal infrared thermography and testicular biometry: Indicator of semen quality in murrah buffalo bulls. **Animal reproduction science**, v. 209, p. 106145, 2019.
- ZAKERI, F.; MARIETHOZ, G. A review of geostatistical simulation models applied to satellite remote sensing: Methods and applications. **Remote Sensing of Environment**, v. 259, p. 112381, 2021.
- ZANINELLI, M. et al. First evaluation of infrared thermography as a tool for the monitoring of udder health status in farms of dairy cows. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 862, 2018.
- ZHANG, C. et al. Application of Infrared Thermography in Livestock Monitoring. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 2, p. 389-399, 2020.
- ZHANG, K. et al. An instantaneous approach for determining the infrared emissivity of swine surface and the influencing factors. **Journal of Thermal Biology**, v. 57, p. 78-83, 2016.
- ZHANG, Xinzong et al. Effects of varicocele and microsurgical varicocelectomy on the metabolites in semen. **Scientific reports**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2022

CAPÍTULO I: FATORES ABIÓTICOS NATURAIS E ARTIFICIAIS: IMPACTOS NA QUALIDADE SEMINAL DE CARNEIROS EM REGIÃO SEMIÁRIDA

RESUMO

As condições climáticas do Nordeste brasileiro acarretam o fenômeno do estresse térmico, implicando na redução de peso e nas taxas produtivas e reprodutivas de ovinos. Objetivou-se analisar impacto da climatização artificial na dinâmica de fatores abióticos, índices de conforto, entalpia e na qualidade seminal de carneiros Dorper. O estudo foi conduzido com 20 carneiros de 18 ± 2 meses de idade e peso médio de 70 kg, criados em região semiárida do Brasil, entre os meses de abril e junho de 2023. Os animais foram dispostos em uma baia aberta por 22 dias e 43 dias sob a influência de sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE). A temperatura do ar (TAR, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e a temperatura de globo negro (TGN, °C) foram monitoradas diariamente a cada 15 min e as coletas e análises do sêmen foram realizadas a cada três semanas, totalizando 4 coletas. A caracterização térmica da baia foi determinada pelos índices de temperatura e umidade, temperatura de globo negro e umidade e pela entalpia específica (kJ kg^{-1}). Para as características do sêmen, adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por dois tratamentos e 20 repetições, com médias sendo comparadas por teste de Tukey. As variáveis climatológicas, índices de conforto e entalpia, foram submetidos à análise estatística descritiva. Empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) sobre as variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia específica e características seminais. Nos horários mais secos, o SRAE promoveu um acréscimo de 8% na UR da baia, com redução média de 1,24 °C na TAR, mantendo os valores de ITU abaixo de níveis críticos. A variância total acumulada na componente principal 2 foi de 69,90%. A ACP mostrou que apenas a integridade da membrana plasmática (IMP) dos espermatozoides respondeu significativamente às mudanças no ambiente trazidas de forma natural e potencializadas pelo SRAE, sendo maior em 16% durante o funcionamento do SRAE, período associado ao aumento da UR e diminuição na TAR, permitindo o estabelecimento de modelo de regressão com R^2 superior a 0,72 para estimativa da IMP.

Palavras-chave: estresse térmico; climatização; componentes principais; conforto térmico; qualidade seminal

CHAPTER I: NATURAL AND ARTIFICIAL ABIOTIC FACTORS: IMPACTS ON THE SEMINAL QUALITY OF RAMS IN A SEMIARID REGION

ABSTRACT

The climatic conditions of northeastern Brazil can lead to heat stress, which can reduce the weight, production and reproductive rates of sheep. The objective was to analyze the dynamics of abiotic factors, comfort indices and enthalpy in the seminal quality of Dorper sheep exposed to natural climatic conditions and subjected to adiabatic evaporative cooling. The study was conducted with 20 rams aged 18±2 months and weighing 70 kg on average, raised in a semi-arid region of Brazil, between April and June 2023. The animals were kept in an open stall for 22 days and 43 days under the influence of an adiabatic evaporative cooling system (AECS). Air temperature (TAR, °C), relative humidity (RH, %) and black globe temperature (BGT, °C) were monitored daily every 15 minutes and semen was collected and analyzed every three weeks, for a total of four collections. The thermal characterization of the stall was determined by the temperature and humidity indices, the black globe temperature and humidity and the specific enthalpy (kJ kg⁻¹). For the semen characteristics, a completely randomized experimental design was adopted, consisting of two treatments and 20 replicates, with means being compared using the Tukey test. The climatological variables, comfort indices and enthalpy were subjected to descriptive statistical analysis. Principal Component Analysis (PCA) was used on the meteorological variables, comfort indices, specific enthalpy and seminal characteristics. At the driest times, the SRAE promoted an 8% increase in the stall's RH, with an average reduction of 1.24 °C in TAR, keeping the UTI values below critical levels. The total variance accumulated in principal component 2 was 69.90%. The PCA showed that only the integrity of the sperm plasma membrane (IMP) responded significantly to the changes in the environment brought about naturally and enhanced by the SRAE, being higher by 16% during the operation of the SRAE, a period associated with an increase in RH and a decrease in TAR, allowing the establishment of a regression model with R² greater than 0.72 for estimating IMP

Keywords: climatization; heat stress; principal components; seminal quality; thermal comfort

1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil, caracterizada por um domínio geográfico árido e semiárido, destaca-se pela sua predominância na criação de caprinos e ovinos, constituindo-se como atividade fundamental que proporciona estabilidade demográfica e rentabilidade para a população local (SILVA et al., 2016; SORIO, 2017), com o estado de Pernambuco possuindo o segundo maior rebanho de ovinos do nordeste (IBGE, 2022). Porém, apesar do rebanho ovino apresentar crescimento, a produtividade é baixa (SANTOS et al., 2023).

Durante quase todo o ano, o semiárido pernambucano sofre com altas temperaturas, apresentando média mínima e máxima anual de 24 e 29 °C, respectivamente (INMET, 2020). Nas horas mais quentes a máxima diária pode atingir a faixa de 35 a 38 °C, podendo levar os animais dessa região ao estresse térmico, um dos notáveis limitantes à produção animal nos trópicos (RASHAMOL et al., 2020).

O estresse térmico é o resultado de uma combinação de elementos meteorológicos, incluindo a velocidade do vento, temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a alta radiação solar, que afetam negativamente o conforto térmico e a produtividade (THORNTON et al., 2022). Esse fenômeno ocorre quando as características do ambiente estão fora do limite da zona termoneutra do animal, que de acordo com Baêta e Souza (2010), para ovinos, está entre 25 e 30 °C, levando-o a acionar mecanismos para contornar as adversidades do ambiente, interferindo no consumo de alimentos, ganho de peso e taxas reprodutivas (THORNTON et al., 2022).

Para unificar os efeitos dos elementos meteorológicos, indicadores fisiológicos e comportamentais são comumente utilizados no julgamento do conforto ou estresse térmico animal (SILVA et al., 2019; MARINS et al., 2020; BORGES et al., 2021). Bons exemplos de indicadores utilizados na caracterização térmica de ambientes de criação animal são o índice de temperatura e umidade (ITU), proposto por Thom (1959) e adaptado por Silva et al. (2020), o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981) e a entalpia específica, proposta por Rodrigues et al. (2011).

Experimentos indicam efeitos adversos das variáveis meteorológicas na espermatogênese e na qualidade do sêmen animal (SHAHAT; THUNDATHIL; KASTELIC, 2021; FREITAS et al., 2021; CAPELA et al., 2022; LYRIO et al., 2023; SHAKEEL et al., 2023), onde em carneiros, Hedia et al. (2019) observaram que a qualidade seminal pode diminuir durante os meses de primavera e verão, tendo sua reprodução fortemente influenciada

pelo ambiente, com a herdabilidade de suas características espermáticas variando de baixa a moderada (SERRANO et al., 2021).

Rahimi et al. (2021) e Marinho et al. (2023) indicam que as condições climáticas globais atuais são propícias à ocorrência do estresse térmico, apresentando uma tendência significativamente crescente quando comparada aos cenários futuros das mudanças climáticas. Em uma tentativa de contornar esse cenário, pequenos ruminantes possuem vários mecanismos adaptativos como modificações de comportamento e alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares (SPANDAN et al., 2022).

Para evitar que os animais precisem ativar seus mecanismos de adaptação ao ambiente, é preciso utilizar técnicas para adequar o mesmo às condições dos animais. Neste quesito, o resfriamento evaporativo surge como uma solução simples e econômica, trazendo a redução da temperatura de bulbo seco do ar por meio da adição de umidade (FOROUSHANI; AMON, 2022). Esse processo envolve a troca de energia resultante da interação entre as moléculas de ar e de água (GODYŃ et al., 2020), onde o calor sensível transferido do ar para a água atende exclusivamente à demanda energética necessária para a evaporação, com a migração da energia térmica desempenhando um papel significativo na diminuição da temperatura do ar (SIMMONS; LOTT, 1996).

Neste contexto, objetivou-se com este estudo analisar a influência do ambiente nos parâmetros de qualidade seminal de carneiros alojados em baia sujeita às condições climáticas naturais do ambiente (Fase 1) e à climatização artificial (Fase 2), por meio de monitoramento climatológico e análise multivariada das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia e características do sêmen.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Declaração de Ética

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco - CEUA/UFRPE, sob o protocolo de número 6990060223.

2.2 Caracterização da Área de Estudo e Seleção dos Animais

O experimento ocorreu de abril a junho de 2023 (65 dias) em uma unidade de produção comercial de ovinos localizada no município de Garanhuns, mesorregião Agreste, microrregião de Garanhuns, estado de Pernambuco (08°49'12''S; 36°29'11''O e altitude de 866 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima nesta região é do tipo As, tropical com verão

seco (ALVARES et al., 2013) com temperatura média de 20 °C e 891,4 mm de precipitação anual média (INMET, 2020), distribuídas principalmente entre abril e julho. Para o mês de abril, maio e junho, a normal climatológica da temperatura máxima é de 26, 24 e 23 °C, respectivamente (INMET, 2020). Foram selecionados 20 carneiros da raça Dorper com idade de 18 ± 2 meses e peso médio de 70 ± 3 kg.

2.3 Instalação e Manejo Alimentar

Os 20 animais foram alocados em uma baia de produção aberta de 2,60 x 10,20 m (Figura 1) que contava com uma malha de sombreamento aluminizada (80%), equipada com bebedouro e comedouro, com a maior parte em solo aparente e piso de concreto apenas na área de localização do bebedouro. A alimentação foi disponibilizada duas vezes ao dia diretamente no cocho, a base de volumoso (*Panicum*) e concentrado (farelo de milho e soja, 18-20% de proteína bruta), sendo as vitaminas e minerais fornecidos por meio de premix, mistura homogênea de microingredientes.

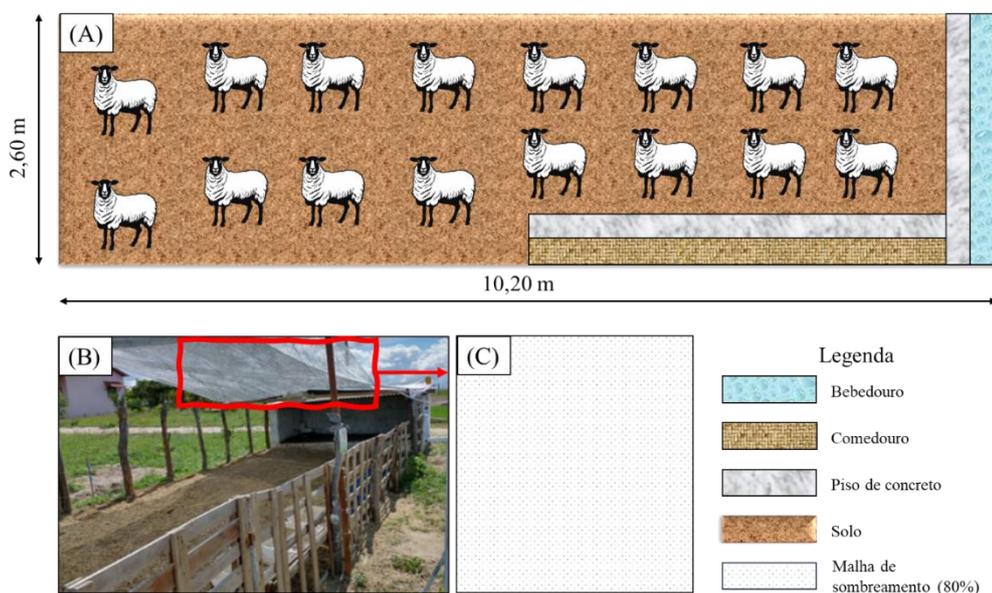


Figura 1. Baia de alojamento dos carneiros com a distribuição do cocho de alimentação e o bebedouro (A); imagem do alojamento dos animais (B); malha de sombreamento aluminizada (80%).

Os animais foram submetidos a duas condições distintas, 22 dias em baia com condições climáticas naturais do ambiente (Fase 1) e 43 dias de climatização artificial (Fase 2), que se deu por meio de sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), onde foram acionados

dois climatizadores evaporativos. A formação da névoa ocorreu pelo efeito centrífugo de um disco central com vazão média de 7 L h^{-1} . Motores independentes com rotação da hélice de 1.750 rpm e do disco central de 3.450 rpm, com velocidade média do fluxo de $2,5 \text{ m s}^{-1}$. A ventilação forçada foi realizada por meio de ventiladores axiais com vazão de $1200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a 1.780 rpm e diâmetro da hélice de 11'', fornecendo um fluxo de ar a uma velocidade média de $3,4 \text{ m s}^{-1}$. O sistema foi acionado diariamente nos horários das 8 às 17 h.

Na Fase 1, foram realizadas duas coletas e análises do sêmen dos carneiros, espaçadas em 21 dias, após a segunda coleta, o SRAE foi acionado, dando início a Fase 2, onde novas coletas e análises do sêmen foram realizadas após 21 e 42 dias de funcionamento do sistema. As variáveis meteorológicas e a determinação dos índices de conforto térmico foram acompanhadas diariamente durante as duas fases.

2.4 Registro das Variáveis Meteorológicas

No interior das baias de produção, dentro de abrigo meteorológico, foi instalado um datalogger a uma altura de 1,50 m do piso. Para efeito de comparação da efetividade do SRAE, um datalogger de mesmo modelo também foi instalado, no ambiente externo a baia, fora do alcance do sistema de resfriamento, em um abrigo meteorológico a 1,50 m do piso. Os dados foram registrados em tempo real a cada 15 minutos, no decorrer de todo o período de estudo. Pelo fato de o monitoramento ocorrer em dois momentos distintos e consecutivos, o datalogger exterior a baia, também serviu para caracterizar possíveis mudanças naturais de temperatura e umidade no local do experimento, possibilitando verificar a verdadeira eficiência do SRAE no local e período do estudo.

Os dataloggers utilizados foram do modelo HOBO 4 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA) para o registro da temperatura do bulbo seco (TAR, °C), da umidade relativa do ar (UR, %) e da temperatura de globo negro (TGN, °C). O intervalo de medição do datalogger para TAR é de -20 a 70 °C ($\pm 0,35 \text{ °C}$) e, para UR entre 5 e 95% ($\pm 2,5\%$). A TGN foi medida com auxílio de uma esfera oca de polietileno, pintada de preto fosco, com 15 cm de diâmetro, na qual foi inserido um sensor térmico (termistor), registrando a TGN, e imediatamente armazenando no datalogger.

2.5 Índices de Conforto e entalpia específica

Para caracterização térmica do ambiente no decorrer do período do estudo, foram calculados o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e a entalpia específica h (kJ kg^{-1}) por meio das seguintes equações:

- a) Índice de temperatura e umidade (ITU), proposta por Thom (1959) (Eq. 1):

$$ITU = TAR + 0,36.TPO + 41,5 \quad (1)$$

em que TAR - temperatura do ambiente ($^{\circ}\text{C}$); TPO - temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

- b) Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), proposta por Buffington et al. (1981) (Eq. 2):

$$ITGU = TGN + 0,36.TPO - 330,08 \quad (2)$$

em que: TGN - temperatura de globo negro (K); TPO - temperatura de ponto de orvalho (K).

- c) Entalpia específica h ($\text{kJ kg ar seco}^{-1}$), proposta por Rodrigues et al. (2011) (Eq. 3):

$$h = 1,006.TAR + \frac{UR}{P_{atm}} \cdot 10^{\frac{7,5.TAR}{237,3+TAR}} \cdot (71,28 + 0,052.TAR) \quad (3)$$

em que: TAR - temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$); UR - umidade relativa (%); P_{atm} - pressão atmosférica (mmHg).

2.6 Coleta e análise do sêmen

A coleta do sêmen foi realizada por meio de vagina artificial com auxílio de uma fêmea. Imediatamente após o procedimento, o volume foi determinado em tubo de vidro graduado e o sêmen levado para análise laboratorial. As amostras de sêmen foram avaliadas quanto à motilidade total (0-100%) e vigor (0-5) utilizando um microscópio óptico, ampliação de 100X (VAN DE HOEK; RICKARD; DE GRAAF, 2022; BATISSACO et al., 2020). Para isso, uma gota de sêmen (diluição de 1:400 em solução tris) foi colocada em uma lâmina e coberta com uma lamínula aquecida. Para o turbilhonamento (0-5) uma gota de sêmen puro foi colocada em uma lâmina e coberta com uma lamínula aquecida, sendo observada em microscópio óptico, ampliação de 40X (VAN DE HOEK; RICKARD; DE GRAAF, 2022). A concentração espermática ($\times 10^9/\text{ml}$) foi calculada usando uma câmara de Neubauer (diluição de 1:400 em água destilada) (ALMADALY et al., 2016) e o volume do ejaculado foi medido em mililitros. A análise da integridade da membrana plasmática foi realizada pelo método de eosina-nigrosina, onde esfregaço foi montado a partir de uma gota de sêmen (diluição de 1:400 em

água destilada) e 10 µl de eosina-nigrosina (CARVAJAL-SERNA et al., 2022). Os esfregaços foram observados em microscópio óptico (400X), onde realizou-se a contagem de 200 células por amostra, classificando-as em membrana íntegra e não íntegra (CARVAJAL-SERNA et al., 2022).

2.7 Análises estatísticas

2.7.1 Delineamento experimental

Os dados de características do sêmen foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e 20 repetições, caracterizadas pelo número de animais disponíveis por tratamento. De acordo com o modelo de efeitos descrito na Equação (4):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

em que: y_{ij} - é o valor observado para a variável resposta obtido para o i -ésimo tratamento em sua j -ésima repetição; μ - é a média das médias de cada tratamento; τ_i - é o efeito do tratamento i no valor observado y_{ij} ; ϵ_{ij} - e o erro experimental associado ao valor observado y_{ij} .

As variáveis meteorológicas, índices de conforto e entalpia foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão (DP), coeficientes de variação (CV, %), assimetria e curtose. O valor percentual do CV foi categorizado como baixo (CV < 12%), médio (CV = 12-24%), ou alto (CV > 24%) de acordo com o critério de Warrick e Nielsen, 1980.

2.7.2 Análise de componentes principais

Realizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) com o propósito de avaliar a correlação entre as variáveis de qualidade seminal e as variáveis meteorológicas, índices de conforto e entalpia, buscando verificar a correlação entre as variáveis e a influência dos fatores de climatização. A aplicação do critério de Kaiser foi adotada, considerando valores superiores a 1, os quais resultam em componentes contendo uma quantidade significativa de informação dos dados originais, enquanto os componentes com valor inferior a 1 foram desconsiderados (Kaiser, 1958). A ACP compreendeu três fases distintas: geração, seleção e interpretação dos componentes analisados. Após a determinação do número ótimo de componentes principais, procedeu-se à análise da contribuição de cada variável nos componentes mais relevantes, culminando na elaboração da Matriz de Componentes Principais (MCP).

2.7.3 Análise de regressão

Foram determinados modelos de regressão linear múltipla fundamentado nos resultados provenientes da ACP. Tais modelos foram baseados nas variáveis de maior correlação com as Componentes Principais (CPs), admitindo a maior representatividade do conjunto de dados. O modelo de regressão se baseou na Equação (5) a seguir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \varepsilon \quad (5)$$

em que: Y - variável resposta (parâmetros de qualidade do sêmen); x1, x2, x3 e x4 - variáveis preditoras (variáveis meteorológicas, índices de conforto e entalpia); ε - erro experimental. O termo linear é usado, pois a equação (5) é uma função linear de parâmetros desconhecidos β_0 , β_1 , β_2 , β_3 e β_4 , denominados coeficientes da regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dados climatológicos, índices de conforto e entalpia

Os valores de média e mediana foram semelhantes entre si para todas as variáveis, menos para umidade relativa do ar (Tabela 1), sendo um bom indicativo de que os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021; SILVA et al., 2021; MARINHO et al., 2023). O CV indicou uma elevada homogeneidade dos dados, sendo considerado baixo (<12%) para todas as variáveis monitoradas, com exceção da umidade relativa (UR), que apresentou coeficientes de variação considerados como médio (WARRICK; NIELSEN, 1980). Essa variabilidade pode ser justificada pois a UR média na região rapidamente diminuía das 8h às 15h, para valores abaixo de 55% no intervalo horário mais seco (das 11h às 15h), condição abaixo da umidade crítica inferior (UCI) de 60% para a criação de ovinos (LEES et al., 2019), subindo novamente as 16h (Figura 2A). Observa-se a diminuição dos valores de CV na Fase 2 (Tabela 1), principalmente na baía, indicando que o SRAE amenizou a queda dos valores de UR nos horários mais secos (Figura 2B), onde foi observado um incremento médio de 7,12% na umidade relativa da baía em relação ao ambiente externo.

Os valores de DP foram maiores na Fase 1 para todas as variáveis, indicando menor variabilidade dos dados durante a Fase 2 (Tabela 1). Os valores de curtose foram negativos para todas as variáveis, indicando uma curva de distribuição menos acentuada que a normal (BONO et al., 2019), independente da fase ou ambiente. Na Fase 1, todas as variáveis, exceto a UR, exibiram uma assimetria negativa próxima a zero, sugerindo uma concentração ligeiramente acima da média dos dados (HATEM et al., 2022). Na Fase 2, a tendência mudou (Tabela 1),

com apenas a UR demonstrando valores de assimetria positiva, indicando uma concentração acima da média para essa variável e abaixo da média para as demais.

A fim de identificar quais regiões do estado de Pernambuco seriam mais adequadas para diferentes raças puras de ovinos, McManus et al. (2014) estudaram os limites críticos para variáveis de controle ambiental, determinados para avaliação da distribuição dos rebanhos ovinos no Brasil e indicaram temperatura crítica superior (TCS) de 28,4 °C para ovinos da raça Dorper. Marinho et al. (2023) que realizaram um zoneamento bioclimático no Estado de Pernambuco, buscando caracterizar quais as principais zonas climáticas adequadas para a produção de diferentes raças de ovinos, com base em estatísticas não paramétricas e mapas de krigagem do índice de temperatura e umidade (ITU), corroboram com as zonas apontadas por McManus et al. (2014).

Na Figura 2A, pode-se observar que durante a Fase 1, nos horários mais quentes, a temperatura do ar média ultrapassava o valor da TCS (McManus et al., 2014), com um valor médio para o período de 27,74 e 27,64 °C no ambiente externo e na baía (Tabela 1), respectivamente. Durante a Fase 2, a temperatura do ar não ultrapassou o valor de TCS (Figura 2B), com a baía apresentando temperatura média de 25,24 °C (Tabela 1), inferior em 1,24 °C quando comparado ao ambiente externo. Almeida et al. (2014), avaliando diferentes tempos de exposição de vacas da raça Girolando à climatização no curral de espera sobre os índices de conforto, variáveis fisiológicas e produção de leite na estação de inverno no semiárido pernambucano, e observaram redução na temperatura de 1,4 a 2,7 °C e aumento na umidade relativa de 7 a 13% com a utilização do SRAE, onde a evaporação foi afetada pela configuração climática da estação de inverno, determinada pelas baixas temperaturas e alta umidade relativa do ar.

Tabela 1. Resumo das estatísticas descritivas dos dados climatológicos na Fase 1 e 2.

	Fase 1							
	Média	Mediana	DP	CV	C	A	Mín	Máx
TGN (AE)	29,14	29,29	3,00	10,30	-0,49	-0,09	21,91	36,69
TGN (BAIA)	28,27	28,53	2,78	9,83	-0,36	-0,19	21,75	34,92
TAR (AE)	27,74	27,91	2,70	9,73	-0,55	-0,05	21,66	34,68
TAR (BAIA)	27,64	27,87	2,63	9,52	-0,38	-0,14	21,68	34,03
UR (AE)	59,11	57,42	13,16	22,26	-0,53	0,42	30,86	93,73
UR (BAIA)	60,08	58,13	13,06	21,74	-0,23	0,51	31,83	98,09
ITU (AE)	76,15	76,21	2,49	3,27	-0,52	-0,01	70,50	82,54
ITU (BAIA)	75,99	76,19	2,48	3,27	-0,34	-0,04	70,25	82,30
ITGU (AE)	77,46	77,45	2,78	3,60	-0,45	-0,04	70,66	84,69
ITGU (BAIA)	76,53	76,65	2,65	3,46	-0,32	-0,08	70,07	83,52
ENT (AE)	61,65	61,68	3,07	4,97	0,23	-0,11	50,85	70,55
ENT (BAIA)	61,95	61,82	3,41	5,51	-0,10	0,07	51,33	72,77

	Fase 2							
	Média	Mediana	DP	CV	C	A	Mín	Máx
TGN (AE)	27,21	27,20	2,73	10,02	-0,52	0,13	20,80	36,75
TGN (BAIA)	25,99	25,74	2,67	10,27	-0,23	0,37	19,88	38,66
TAR (AE)	26,48	26,51	2,45	9,25	-0,55	0,12	20,74	35,01
TAR (BAIA)	25,24	25,15	2,38	9,44	-0,01	0,24	19,69	36,05
UR (AE)	68,61	68,32	11,58	16,87	-0,92	-0,01	37,50	92,27
UR (BAIA)	73,45	73,93	9,95	13,55	-0,81	-0,15	45,17	96,13
ITU (AE)	75,18	75,27	2,39	3,18	-0,46	0,03	68,90	83,37
ITU (BAIA)	73,73	73,68	2,31	3,13	-0,10	0,15	67,58	84,17
ITGU (AE)	75,82	75,89	2,66	3,51	-0,42	0,07	68,87	85,02
ITGU (BAIA)	74,38	74,18	2,60	3,50	-0,33	0,32	67,65	86,67
ENT (AE)	63,27	63,06	3,12	4,93	0,41	0,25	53,60	74,06
ENT (BAIA)	61,98	61,96	3,95	6,38	0,47	0,17	50,00	78,68

TGN (AE) – Temperatura de globo negro no ambiente externo; TGN (BAIA) – Temperatura de globo negro na baía; TAR (AE) – Temperatura do ar no ambiente externo; TAR (BAIA) – Temperatura do ar na baía; UR (AE) – Umidade relativa no ambiente externo; UR (BAIA) – Umidade relativa na baía; ITU (AE) – ITU no ambiente externo; ITU (BAIA) – ITU na baía; ITGU (AE) – ITGU no ambiente externo; ITGU (BAIA) – ITGU na baía; ENT (AE) – Entalpia no ambiente externo; ENT (BAIA) – Entalpia na baía

A TGN foi maior no ambiente externo nas duas fases (Tabela 1), expondo o bom funcionamento da malha de sombreamento presente na baía, bloqueando parte da energia radiante atuante. Na Fase 2 os valores foram ainda menores devido a menor temperatura do ar e maior umidade relativa durante este período. Corroborando com os achados deste estudo, Silva et al. (2019), utilizando dados meteorológicos do nordeste brasileiro com o propósito de desenvolver equações para prever a TGN, encontraram uma correlação positiva significativa ($p < 0,0001$) da TGN com a radiação solar e a temperatura do ar, uma correlação negativa significativa desta variável com a umidade relativa ($p < 0,0001$), não observando efeitos significativos da velocidade do vento sobre a TGN.

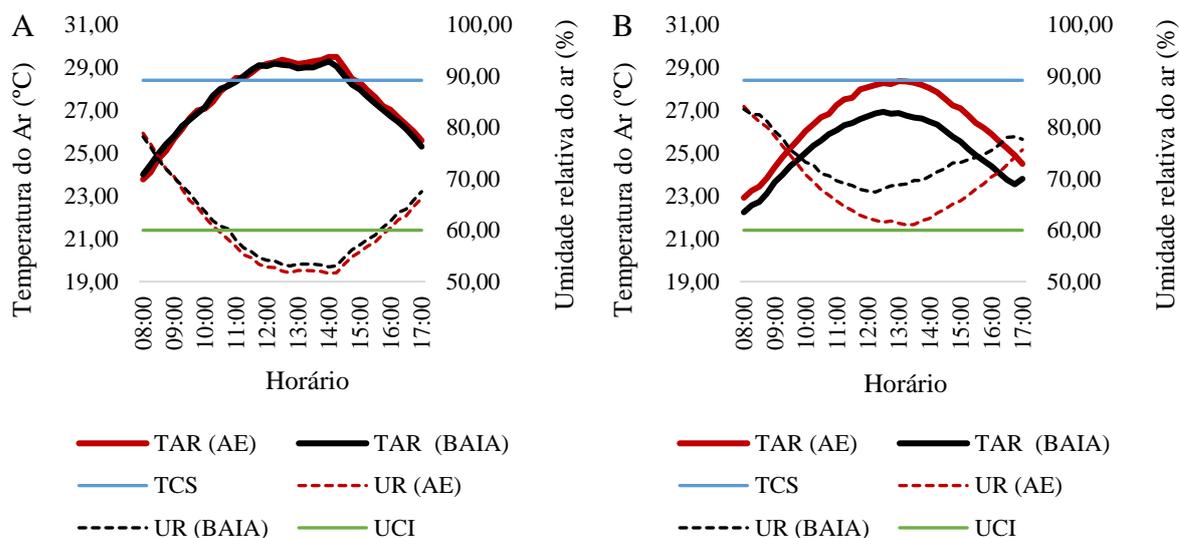


Figura 2. Monitoramento dos valores médios horários da temperatura do ar e umidade relativa na Fase 1 (A) e na Fase 2 (B).

TAR (AE) – Temperatura do ar no ambiente externo; TAR (BAIA) – Temperatura do ar na baia; UR (AE) – Umidade relativa no ambiente externo; UR (BAIA) – Umidade relativa na baia; TCS – Temperatura Crítica Superior; UCI – Umidade Crítica Inferior

Neves et al. (2008), estimando o valor limite de ITU baseado na frequência respiratória de ovinos brancos no Agreste Pernambucano, chegaram a um valor de 76,3. Ao longo da Fase 1, foi observado que a baia apresentou situação desfavorável, ultrapassando este valor limite no intervalo das 10h30 às 14h15. Durante a Fase 2, houve redução do ITU na baia de acomodação dos animais, quando comparado ao ambiente externo, apresentando condições ideais durante todo o dia. Das 11h45 às 14h15 o ITU no ambiente externo ultrapassou o valor crítico de 76,3 (Figura 3B). De acordo com a Tabela 1, o SRAE promoveu redução média de 1,92% no ITU durante as horas de seu funcionamento. Bleizgys et al. (2023) analisando o funcionamento do SRAE dentro de um estábulo para bovinos em clima quente de deserto com temperatura do ar e umidade relativa média de 21,51 °C e 70,74%, respectivamente, observou diferença de 1,6% entre o ITU no estábulo e o ar de fora.

No decorrer de todo o experimento, os valores de ITGU foram menores que 82 (Tabela 1), caracterizando ausência de estresse térmico para ovinos (LPSHI, 1990; NEVES et al., 2008; MASCARENHAS et al., 2023). Os maiores valores observados na baia foram durante a Fase 1, com médias de 77,46 e 76,53, no ambiente externo e na baia, respectivamente (Tabela 1). Durante a Fase 2, o ITGU médio horário na baia se manteve abaixo de 76,30 (Figura 3B), com

o SRAE proporcionando redução de 1,89% no ITGU em comparação ao ambiente externo, que por sua vez apresentou valores próximos a 78 nos períodos mais críticos. Abreu et al. (2016), avaliando a variação espacial do ITGU em instalações abertas (3,20 x 4,00 m) com e sem SRAE, onde a temperatura e a umidade relativa média no local durante o período do experimento era de 26,55 °C e 60,65%, respectivamente, observaram uma amplitude média do índice acompanhado de apenas 2,1.

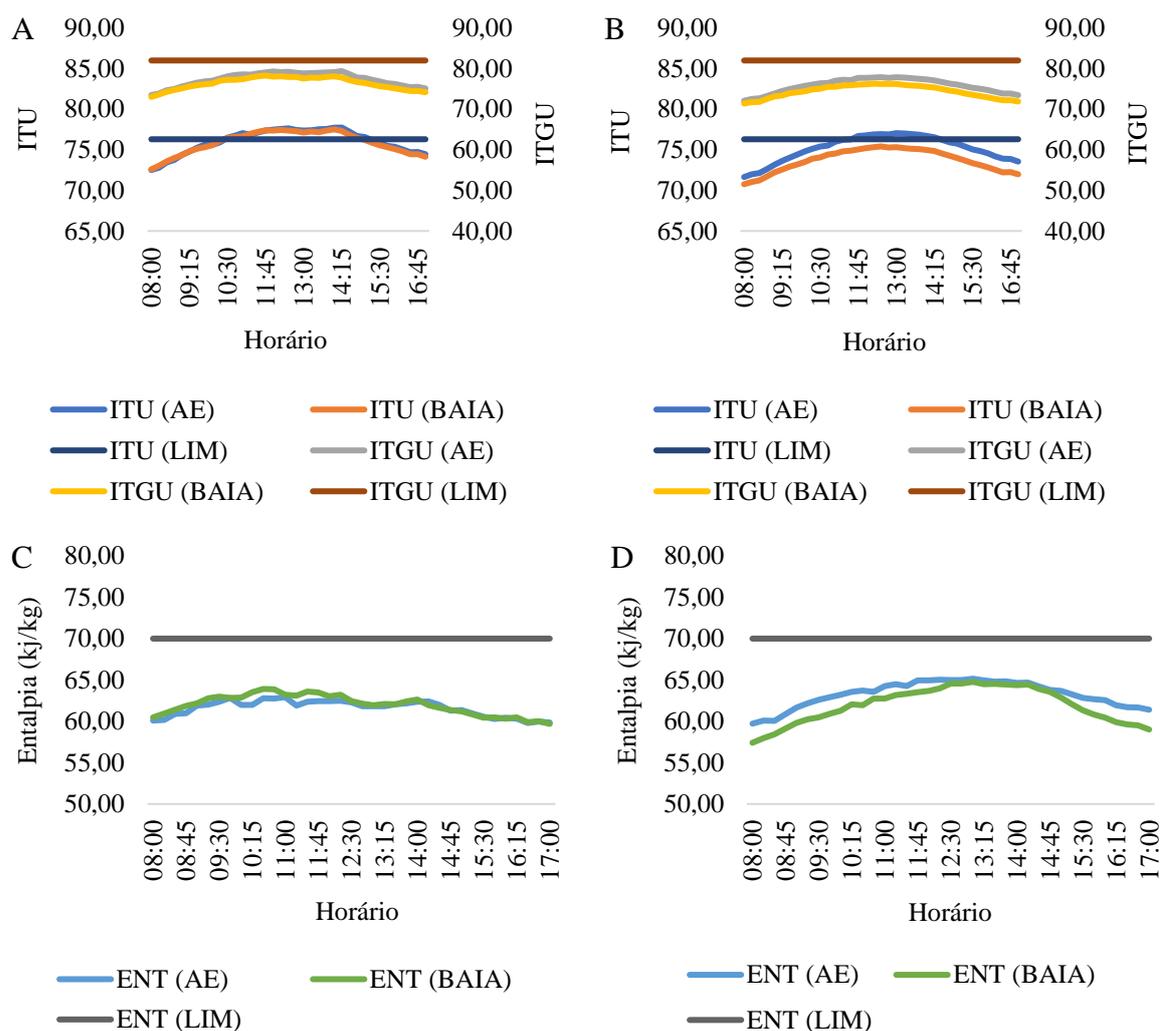


Figura 3. Monitoramento dos valores médios horários do ITU e do ITGU na Fase 1 (A) e na Fase 2 (B) e da entalpia na Fase 1 (C) e na Fase 2 (D).

ITU (AE) – ITU no ambiente externo; ITU (BAIA) – ITU na baia; ITGU (AE) – ITGU no ambiente externo; ITGU (BAIA) – ITGU na baia; ENT (AE) – Entalpia no ambiente externo; ENT (BAIA) – Entalpia na baia; ITU (LIM) – Valor limite de ITU para carneiros; ITGU (LIM) – Valor limite de ITGU para carneiros; ENT (LIM) – Valor limite de entalpia para carneiros

Todas as condições de estudo permaneceram abaixo do valor considerado crítico para entalpia de 70 kJ kg^{-1} de ar seco (BRITO et al., 2012). O sistema de climatização promoveu redução de 2,04% na entalpia entre o ambiente externo e a baía (Tabela 1), entretanto, foi observado que nas horas de maior variação de temperatura e umidade entre um ambiente e outro, a diferença na entalpia foi mínima (Figura 3D). Isso ocorreu devido à influência dominante da umidade do ar no cálculo desse parâmetro físico, que possibilita medir a energia presente na parcela de ar, mantendo a entalpia constante (KAPILAN; ISLOOR; KARINKA, 2023). Sua influência pode estar relacionada à dificuldade do organismo em liberar energia para o entorno através da evaporação, contudo, em situações de temperaturas moderadas, o impacto exclusivo da umidade do ar não configura um estado de estresse térmico (CASTRO; SILVA, 2021).

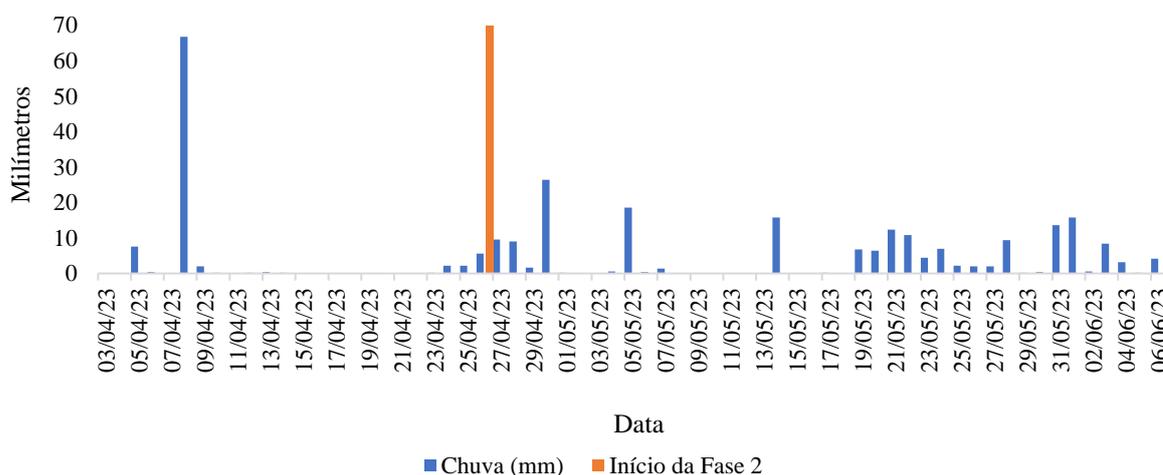


Figura 4. Monitoramento do acumulado de chuva diário durante o período do estudo. Fonte: (INMET, 2024).

Acompanhando as variáveis da Tabela 1 no ambiente externo à baía, nota-se que na Fase 2 houve uma diminuição natural nas variáveis TGN, TAR, ITU, ITGU e ENT, assim como um aumento na UR. Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento dos dias chuvosos após a ativação do SRAE (Figura 4), resultando em uma elevação da umidade relativa média e uma diminuição da temperatura do ar de forma intrínseca, exercendo influência negativa sob a eficiência do SRAE (KASHIF; SULTAN; KHAN, 2017; RAZA et al., 2020).

3.2 Parâmetros de qualidade do sêmen

O volume seminal médio na Fase 1 foi de 0,95 ml, já no período de funcionamento do SRAE o volume observado foi de 0,89 ($p > 0,05$), já a concentração espermática variou de 4,60 para $5,03 \times 10^9$ spmtz.ml⁻¹ ($p > 0,05$) durante os períodos estudados (Figura 5). Os valores de volume seminal foram próximos aos valores esperados para a espécie ovina (1 ml), já as concentrações observadas foram maiores que o intervalo de $1-3 \times 10^9$ spmtz.ml⁻¹ considerado como parâmetro (CBRA, 2013).

O CBRA (2013) define como parâmetro o valor de 75% para a motilidade espermática de ovinos. Durante a Fase 1, essa característica se encontrava em 68%, aumentando para cerca de 76% ($p > 0,05$) durante a Fase 2 (Figura 5), atingindo o parâmetro esperado para a espécie. Normalmente, nos ruminantes, as características seminais mais afetadas pelo estresse térmico são a motilidade, concentração e morfologia espermática (SABÉS-ALSINA et al., 2019; MORRELL et al., 2020; SHAHAT; RIZZOTO; KASTELIC, 2020).

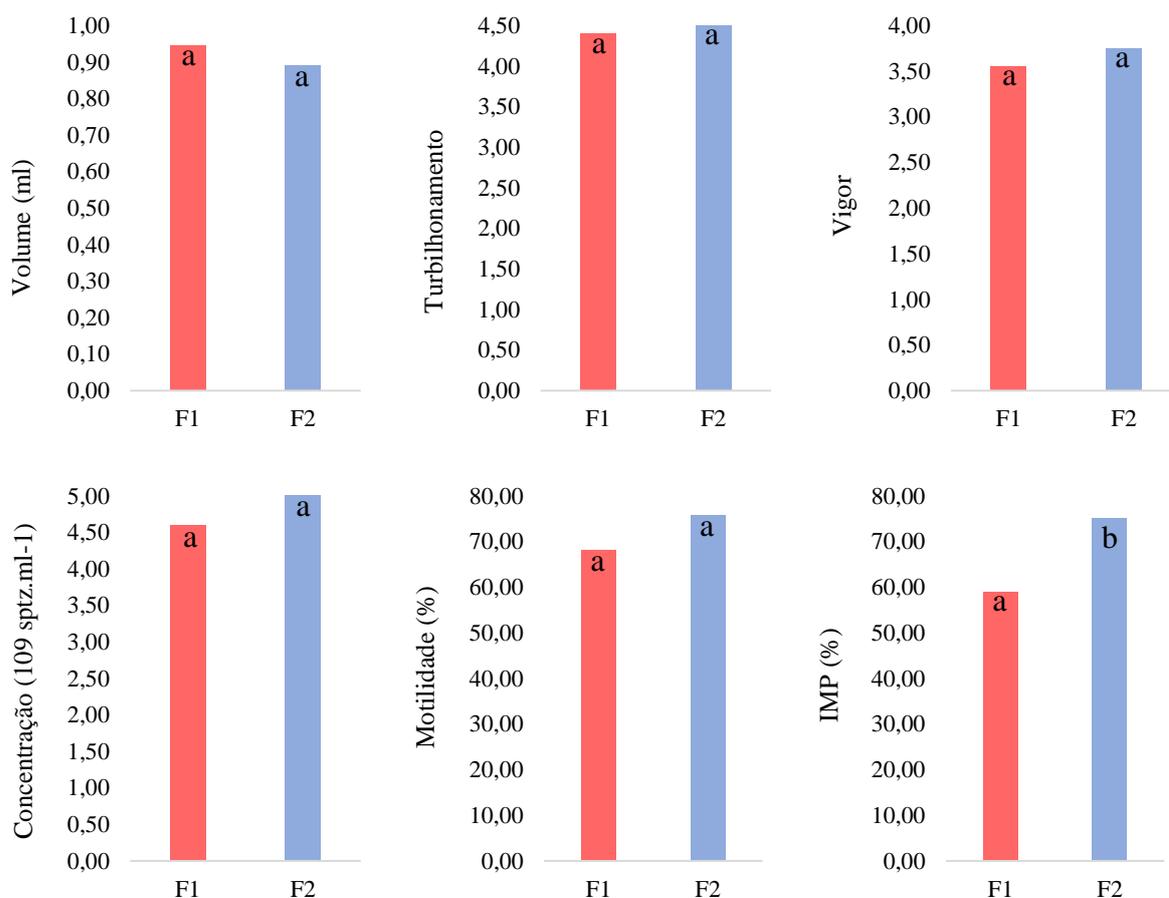


Figura 5. Parâmetros seminais antes e depois da climatização com SRAE.

F1 – Condições climáticas naturais; F2 – Climatização artificial; sptz – Espermatozóides; IMP – Integridade da membrana plasmática. Médias com diferentes sobrescritos diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

O turbilhonamento variou apenas 2,22% ($p > 0,05$) entre as fases, com médias maiores que 4 durante todo o período do estudo (Figura 5). O vigor médio observado foi de 3,55 para 3,75 ($p > 0,05$) entre as fases (Figura 5), se mantendo um pouco maior do que o parâmetro estabelecido como normal (3) pelo CBRA (2013) para o sêmen de carneiros.

Neste estudo, apenas a integridade da membrana plasmática (IMP) apresentou variação significativa ($p \leq 0,05$), onde na Fase 1 apenas 59% dos espermatozoides possuíam membrana plasmática intacta, com esse número passando para 75% após o período de climatização com o SRAE (Figura 5), um aumento substancial na quantidade de espermatozoides íntegros.

É comum a existência de experimentos envolvendo a exposição do animal ao estresse térmico, seja trazendo um aquecimento isolado escrotal ou do corpo como um todo, no entanto, poucos estudos examinaram os efeitos da temperatura do ar na qualidade do sêmen em condições normais de campo (VAN WETTERE et al., 2021) e não se tem registro de estudos buscando a melhora do ambiente térmico em busca da qualidade seminal em ovinos.

3.3 Análise de componentes principais

As principais componentes geradas por meio da análise multivariada para as variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro), índices de conforto (ITU e ITGU), entalpia e características seminais (volume, turbilhonamento, motilidade, vigor, concentração e integridade da membrana plasmática) dos carneiros durante o período do estudo estão representados na Tabela 2. As PC1 e PC2, apresentaram autovalor superior a 1, conforme o critério estabelecido por Kaiser (1958), sendo os autovalores da ordem de 6,51 e 1,87, respectivamente. As componentes 1 e 2 apresentam uma proporção explicativa do conjunto de variáveis acumulada em 69,90%.

Leite et al. (2022) em pesquisa com o objetivo de investigar a variação nos traços de qualidade do sêmen em relação ao estresse oxidativo na espécie bovina, obtiveram resultados de 73,4% e 74,8% da explicação da variância total das variáveis estudadas. Já Sun et al. (2022) analisando o efeito da temperatura ambiental na qualidade do sêmen e nos metabólitos do plasma seminal de búfalos, observaram uma variância explicada de 61,2 e 62,7%.

Tabela 2. Componentes principais das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia e características seminais.

Variável	*PC1	PC2
TAR	0,388	-0,062
UR	-0,389	-0,009
TGN	0,369	0,011
ITU	0,386	-0,076
ITGU	0,386	-0,076
ENT	0,384	-0,064
VOL	0,032	0,093
TUR	0,005	-0,404
MOT	-0,063	-0,590
VIG	-0,034	-0,608
CON	-0,067	0,231
IMP	-0,326	-0,193
Autovalor	6,51	1,87
Proporção	54,30	15,60

TAR – Temperatura do ar; UR – Umidade relativa; TGN – Temperatura de globo negro; ITU – Índice de temperatura e umidade; ITGU – Índice de temperatura de globo e umidade; ENT – Entalpia; MOT – Motilidade; TUR – Turbilhonamento; CON – Concentração; VIG – Vigor; VOL – Volume; IMP - Integridade da membrana plasmática

Analisando a Figura 6, observa-se que a relação inversa entre a temperatura do ar e umidade relativa foi mais bem explicada pela Componente principal 1 (PC1), corroborando os resultados de Silva et al. (2023a) e Silva et al. (2023b), que observaram o mesmo fenômeno ao estudar a associação entre fatores abióticos, fisiológicos e comportamentais de suínos. A temperatura do ar (TAR), temperatura de globo negro (TGN), índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e entalpia são variáveis que apresentaram correlação positiva entre si (Tabela 2), resultados que corroboram os achados de Silva et al. (2020), Silveira et al. (2021) e Silva et al. (2023c), que ao estudar o conforto térmico de bovinos e caprinos no semiárido brasileiro, observaram o mesmo. Foi possível verificar a existência de três grandes grupos (Figura 6A), com as variáveis TAR, TGN, ITU e ITGU, juntamente a entalpia, formando um dos clusters. Ao observar a Figura 6B, percebe-se que os animais na Fase 1 e na Fase 2 se agruparam em extremos diferentes ao longo do eixo PC1, por esse agrupamento, é possível perceber que os animais na Fase 1 associaram-se diretamente com o grupo formado pela temperatura do ar (Figura 6A), enquanto na Fase 2, essa associação foi observada com a umidade relativa do ar.

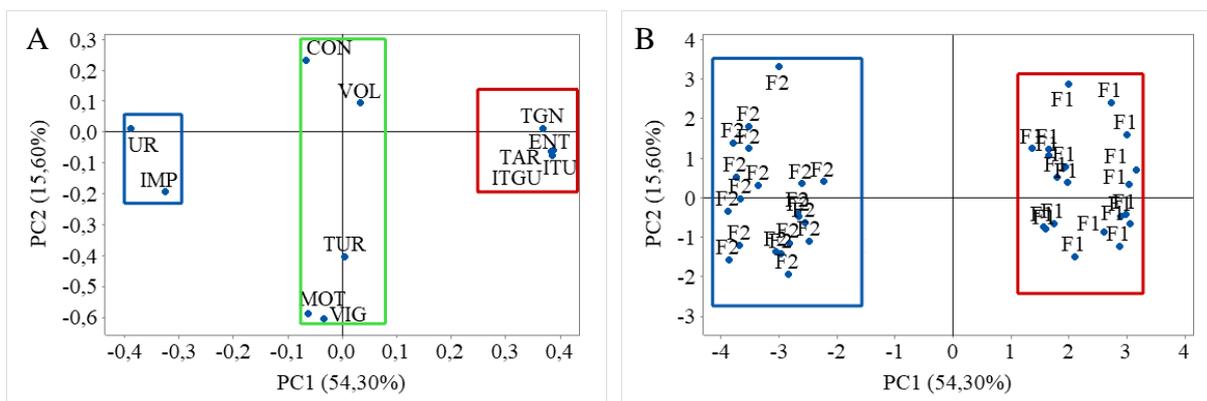


Figura 6. Componentes principais das variáveis meteorológicas, índices de conforto, entalpia e características seminais (A); Componentes principais dos animais na Fase 1 e na Fase 2 (B). F1 - Animais na Fase 1; F2 - Animais na Fase 2.

As características seminais de concentração, volume, turbilhonamento, vigor e motilidade não se encaixam em nenhum dos dois grupos formados pela TAR e UR, com posições no gráfico próximas ao eixo y, sugerindo que esses parâmetros não sofreram influência significativa do tratamento realizado. Infelizmente, na literatura há uma falta de estudos investigando o efeito do uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na melhoria da qualidade seminal de animais, com os estudos neste tema sendo focado na realização de insultos térmicos, sejam ambientais ou localizados. Maurya et al. (2016), avaliando o efeito do estresse térmico em carneiros Malpura acondicionados em câmara climática a 42 °C e 55% de umidade relativa durante 6 horas por 45 dias, observaram diminuição significativa ($p \leq 0,05$) no volume, no turbilhonamento e na concentração espermática. Seifi-Jamadi et al. (2020), testando o efeito das estações em touros Belgian Blue, não observaram efeito sobre o volume do sêmen ($p > 0,05$) quando a temperatura ambiental passou de 35 °C para 8 °C, porém, foi observado um aumento na concentração espermática ($p \leq 0,05$). Freitas et al. (2021) observaram um efeito negativo da combinação de altas temperaturas e umidades no vigor de espermatozoides de bovinos GIR. Segundo Rizzoto et al., (2020a), o estresse térmico leve e de curta duração pode afetar significativamente a motilidade dos espermatozoides 14 a 21 dias após a exposição, com impacto negativo aos estágios de desenvolvimento da espermátide e do espermátócito, onde ocorre a formação do flagelo.

Houve uma correlação negativa entre a integridade da membrana plasmática (IMP) e o grupo formado pela temperatura do ar, de globo negro, índices de conforto e entalpia, corroborando os estudos de Residiwati et al. (2021) e Gloria et al. (2021), que observaram que

a IMP dos espermatozoides de bovinos Belgian Blue foi significativamente reduzida em situação de estresse térmico. A membrana plasmática não apenas delinea a célula, sendo responsável pela integridade da mesma, mas também é importante para a atividade mitocondrial (SABÉS-ALSINA et al., 2019) e interações celulares, como a ligação dos espermatozoides ao epitélio do oviduto ou a penetração do ócito pela célula espermática, sendo diretamente relacionada com a qualidade do sêmen (AKBARINEJAD et al., 2020; GONZALEZ-CASTRO et al., 2022). A variação significativa na IMP dos espermatozoides ao longo das fases pode ser explicada pela incapacidade termolítica adequada dos animais ou pela eliminação ineficiente das células danificadas por apoptose (DURAIRAJANAYAGAM; AGARWAL; ONG, 2015; HAMILTON et al., 2016). Pela Figura 6B, observa-se que os animais na Fase 2 se relacionaram diretamente com as variáveis IMP e umidade relativa (UR), que apresentaram correlação positiva entre si, mostrando que a maior porcentagem de animais com a membrana plasmática intacta se deu durante esse período, caracterizado pelo aumento da UR e diminuição da temperatura do ar.

De acordo com a análise de componentes principais (Figura 6) foi possível determinar as principais variáveis preditoras, assim possibilitando o desenvolvimento de modelos (Tabela 3) de regressão múltipla para caracterizar os parâmetros de qualidade seminal. As variáveis ITU e ITGU não foram levadas em conta na modelagem por explicarem a mesma variância nos dados que a TAR. Devido a multicolinearidade, condição que ocorre quando algumas variáveis preditoras no modelo estão altamente correlacionadas a outras variáveis preditoras, aumentando a variância dos coeficientes de regressão e tornando-os instáveis, não foi possível obter equações que envolvessem ao mesmo tempo TAR, TGN e entalpia, pois os mesmos fornecem informações redundantes. Então, baseado na facilidade de obtenção das possíveis variáveis preditoras, os modelos a seguir foram determinados para cada parâmetro de qualidade seminal.

Tabela 3. Modelos de determinação dos parâmetros de qualidade seminal.

Equação	R ²	Valor-p
IMP = -351 + 9,38 TAR + 2,738 UR - 0,564 TGN	0,729	0,000
VOL = 2,7 + 0,025 TAR - 0,0190 UR - 0,0501 TGN	0,025	0,820
TUR = -6,9 + 0,597 TAR + 0,024 UR - 0,254 TGN	0,147	0,122
MOT = -664 + 21,24 TAR + 3,60 UR - 2,85 TGN	0,253	0,014
VIG = -36,2 + 0,790 TAR + 0,2290 UR + 0,1494 TGN	0,169	0,079
CON = 28,9 - 0,37 TAR - 0,132 UR - 0,229 TGN	0,041	0,672

IMP - Integridade da membrana plasmática; TAR – Temperatura do ar; UR – Umidade relativa; ENT – Entalpia; MOT – Motilidade; TUR – Turbilhonamento; CON – Concentração; VIG – Vigor; VOL – Volume

Pode-se verificar na Tabela 3 que apenas o modelo para a integridade da membrana plasmática, característica de qualidade seminal que mostrou grande correlação com variáveis monitoradas durante o período de estudo, apresentaram coeficiente de determinação considerados como forte ao mesmo tempo que apresentaram um valor- $p \leq 0,05$, representando uma associação estatisticamente significativa entre a variável resposta e os termos preditores.

4. CONCLUSÕES

A climatização artificial através de sistema de resfriamento adiabático evaporativo foi efetiva em manter a temperatura do ar e a umidade relativa da baía dentro dos valores da zona termoneutra dos carneiros Dorper, sendo eficiente também em evitar que o ITU atingisse valores críticos nos horários de maior temperatura do ar.

A análise exploratória dos dados mostrou que a integridade da membrana plasmática dos espermatozoides de carneiros Dorper, submetidos a climatização artificial, se mostrou sensível ao tratamento realizado. Por meio da análise de componentes principais, foi possível identificar as variáveis de maior importância para a caracterização dos parâmetros de qualidade seminal, o que possibilitou a formação de modelos de regressão para determinar a variável resposta, com o modelo gerado para integridade da membrana plasmática sendo satisfatório estatisticamente.

Diante dos achados, é seguro afirmar que a ação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo potencializou as mudanças naturais ocorridas nas variáveis climáticas durante o período do estudo, onde um aumento na umidade relativa e uma diminuição da temperatura do ar, dentro da zona de conforto do animal, foram associados a benefícios positivos relacionados a integridade da membrana plasmática dos espermatozoides dos carneiros.

5. REFERÊNCIAS

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.

- ABREU, Paulo G. de et al. Geostatistics applied to swine facilities equipped with evaporative cooling system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1014-1019, 2016.
- AKBARINEJAD, Vahid et al. The relationship of mitochondrial membrane potential, reactive oxygen species, adenosine triphosphate content, sperm plasma membrane integrity, and kinematic properties in warmblood stallions. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 94, p. 103267, 2020.
- ALMADALY, E. A. et al. Relationship between total protein concentration of seminal plasma and sperm characteristics of highly fertile, fertile and subfertile Barki ram semen collected by electroejaculation. **Small Ruminant Research**, v. 144, p. 90-99, 2016.
- ALMEIDA NETO, Luiz A. de et al. Climatização na pré-ordenha de vacas Girolando no inverno do semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1072-1078, 2014.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, Maria de Fátima Araújo et al. Evaluation of Body Surface Temperature in Pigs Using Geostatistics. **AgriEngineering**, v. 5, n. 2, p. 1090-1103, 2023.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010.
- BARNABÉ, Janice et al. Performance of growing pigs subjected to lighting programs in climate-controlled environments. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 616-621, 2020.
- BATISSACO, Leonardo et al. Cholesterol-loaded cyclodextrin is efficient in preserving sperm quality of cryopreserved ram semen with low freezability. **Reproductive Biology**, v. 20, n. 1, p. 14-24, 2020.
- BLEIZGYS, Rolandas et al. Adiabatic Cooling System Working Process Investigation. **Processes**, v. 11, n. 3, p. 767, 2023.
- BORGES, P. H. de M. et al. Índice de temperatura e umidade para o desenvolvimento da avicultura no Nordeste de Mato Grosso. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 29-38, 2021.

- BRITO, Ismênia França de. *Ambiência e bem-estar de ovelhas criadas em sistema agrossilvipastoril no semiárido cearense*. 2012.
- BUFFINGTON, C. S. et al. Black globe humidity comfort index for dairy cows. St. Joseph. **Transactions of the ASAE**, v. 24, p. 0711-0714, 1981.
- CAPELA, Luís et al. Impact of Heat Stress on Bovine Sperm Quality and Competence. **Animals**, v. 12, n. 8, p. 975, 2022.
- CARVAJAL-SERNA, M. et al. Testicular ultrasound analysis as a predictive tool of ram sperm quality. **Biology**, v. 11, n. 2, p. 261, 2022.
- CASTRO JÚNIOR, Sérgio Luis de; SILVA, Iran José Oliveira da. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 149-161, 2021.
- COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL – CBRA. *Manual para Exame Andrológico e Avaliação de Sêmen Animal*. 3. ed. Belo Horizonte, 2013.
- DURAIRAJANAYAGAM, Damayanthi; AGARWAL, Ashok; ONG, Chloe. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. **Reproductive biomedicine online**, v. 30, n. 1, p. 14-27, 2015.
- FOROUSHANI, Sepehr; AMON, Thomas. A graphical method for assessing the effectiveness of evaporative cooling in naturally ventilated dairy barns. **Biosystems Engineering**, v. 218, p. 23-30, 2022.
- FREITAS, Anielly de Paula et al. Effect of thermal stress on basic seminal characteristics of Gyr bulls. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 10, p. 1649-1656, 2020.
- GARCIA-OLIVEROS, Laura Nataly et al. Heat stress effects on bovine sperm cells: a chronological approach to early findings. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 1367-1378, 2020.
- GLORIA, Alessia et al. Environmental temperature and relative humidity differently affect the sperm characteristics in Brown Swiss and Belgian Blue bulls. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, n. 12, p. 2189-2199, 2021.
- GODYŃ, Dorota et al. Use of different cooling methods in pig facilities to alleviate the effects of heat stress—a review. **Animals**, v. 10, n. 9, p. 1459, 2020.

GOMES, Nicoly Farias et al. Behavior of pigs subjected to climate control system in the Semi-arid Region of Pernambuco, Brazil. **Dyna**, v. 88, n. 218, p. 34-38, 2021.

GONZALEZ-CASTRO, Raul A. et al. Cryopreservation of equine spermatozoa reduces plasma membrane integrity and phospholipase C zeta 1 content as associated with oocyte activation. **Andrology**, 2023.

HAMILTON, Thais Rose dos Santos et al. Evaluation of lasting effects of heat stress on sperm profile and oxidative status of ram semen and epididymal sperm. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2016, 2016.

HEDIA, M. G. et al. Seasonal variation in testicular blood flow dynamics and their relation to systemic and testicular oxidant/antioxidant biomarkers and androgens in rams. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 55, n. 7, p. 861-869, 2020.

HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., & DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v.5, n.1, p.83-90, 2016

IAFFALDANO, Nicolaia et al. Cryopreservation of turkey semen by the pellet method: Effects of variables such as the extender, cryoprotectant concentration, cooling time and warming temperature on sperm quality determined through principal components analysis. **Theriogenology**, v. 76, n. 5, p. 794-801, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em 05/03/2024.

INMET. Mapa de Estações. 2024. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil. 2024. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 25 jan. 2024.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 816 p, 1998.

JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 21, n. 2, p. 160- 173, 36, 1972.

- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. II: Real data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 22, n. 1, p. 21- 31, 1973.
- KAISER, HENRY F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23.3: 187-200, 1958.
- KAPILAN, N.; ISLOOR, Arun M.; KARINKA, Shashikantha. A comprehensive review on evaporative cooling systems. **Results in Engineering**, p. 101059, 2023.
- KASHIF, Muhammad; SULTAN, Muhammad; KHAN, Zahid Mahmood. Alternative Air-Conditioning Options for Developing Countries. **European Journal of Engineering and Technology Research**, v. 2, n. 1, p. 76-79, 2017.
- LEES, A. M. et al. A panting score index for sheep. **International journal of biometeorology**, v. 63, n. 7, p. 973-978, 2019.
- LEITE, Roberta Ferreira et al. Sperm function and oxidative status: Effect on fertility in *Bos taurus* and *Bos indicus* bulls when semen is used for fixed-time artificial insemination. **Animal Reproduction Science**, v. 237, p. 106922, 2022.
- LYRIO, Leonardo L. et al. Effects of heat stress on sperm quality of French Bulldogs. **Theriogenology**, v. 199, p. 131-137, 2023.
- MARINHO, Gabriel Thales Barboza et al. Bioclimatic Zoning for Sheep Farming through Geostatistical Modeling in the State of Pernambuco, Brazil. **Animals**, v. 13, n. 6, p. 1124, 2023.
- MARINS, T. N. et al. Índices de estresse e conforto térmico associados aos parâmetros fisiológicos e perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e111973672-e111973672, 2020.
- MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique et al. Thermal gradient of local sheep and goats reared in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 2, p. e3020-e3020, 2023.
- MATEO-OTERO, Yentel et al. Metabolite profiling of pig seminal plasma identifies potential biomarkers for sperm resilience to liquid preservation. **Frontiers in cell and developmental biology**, v. 9, p. 669974, 2021.
- MAURYA, V. P. et al. Biological ability of Malpura rams to counter heat stress challenges and its consequences on production performance in a semi-arid tropical environment. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 3, p. 479-493, 2018.

- MAURYA, V. P. et al. Impact of heat stress, nutritional restriction and combined stresses (heat and nutritional) on growth and reproductive performance of Malpura rams under semi-arid tropical environment. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 100, n. 5, p. 938-946, 2016.
- MCMANUS, C. M. et al. Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? **Theriogenology**, v. 155, p. 157-167, 2020.
- MCMANUS, Concepta et al. Geographical distribution of sheep breeds in Brazil and their relationship with climatic and environmental factors as risk classification for conservation. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2014.
- MORRELL, Jane M. Heat stress and bull fertility. **Theriogenology**, v. 153, p. 62-67, 2020.
- NEVES, M. L. M. W. Índices de conforto térmico para ovinos Santa Inês de diferentes cores de pelame em condições de pastejo. 2008. 77 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- PALACIN-MARTINEZ, Cristina et al. Frequency of Semen Collection Affects Ram Sperm Cryoresistance. **Animals**, v. 12, n. 12, p. 1492, 2022.
- PEREIRA, Gabriel Ribas et al. Effect of scrotal insulation on sperm quality and seminal plasma proteome of Brangus bulls. **Theriogenology**, v. 144, p. 194-203, 2020.
- RAHIMI, J. et al. Heat stress will detrimentally impact future livestock production in East Africa. **Nature Food**, v. 2, n. 2, p. 88-96, 2021.
- RASHAMOL, V. P. et al. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 3, p. 62-71, 2020.
- RAZA, Hafiz MU et al. Investigating applicability of evaporative cooling systems for thermal comfort of poultry birds in Pakistan. **Applied Sciences**, v. 10, n. 13, p. 4445, 2020.
- RESIDIWATI, G. et al. Practical methods to assess the effects of heat stress on the quality of frozen-thawed Belgian Blue semen in field conditions. **Animal Reproduction Science**, v. 221, p. 106572, 2020.
- RIZZOTO, G. et al. Acute mild heat stress alters gene expression in testes and reduces sperm quality in mice. **Theriogenology**, v. 158, p. 375-381, 2020.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, v.55, p.455-459, 2011.

SABÉS-ALSINA, M. et al. Relationships between climate and sperm quality in dairy bull semen: A retrospective analysis. *Journal of Dairy Science*, v. 102, n. 6, p. 5623-5633, 2019.

SANTOS, Willyane de Souza et al. Diagnóstico da cadeia produtiva de caprinos e ovinos no Brasil e na região Nordeste. ***Brazilian Journal of Development***, v. 9, n. 7, p. 21283-21303, 2023.

SEIFI-JAMADI, Afshin et al. Influence of seasonal differences on semen quality and subsequent embryo development of Belgian Blue bulls. ***Theriogenology***, v. 158, p. 8-17, 2020.

SERRANO, M. et al. Genome-wide association studies for sperm traits in Assaf sheep breed. ***Animal***, v. 15, n. 2, p. 100065, 2021.

SHAHAT, A. M.; RIZZOTO, G.; KASTELIC, J. P. Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. ***Theriogenology***, v. 158, p. 84-96, 2020.

SHAHAT, A. M.; THUNDATHIL, J. C.; KASTELIC, J. P. Scrotal subcutaneous temperature is increased by scrotal insulation or whole-body heating, but not by scrotal neck insulation; however, all three heat-stress models decrease sperm quality in bulls and rams. ***Journal of Thermal Biology***, v. 100, p. 103064, 2021.

SHAKEEL, Muhammad et al. Heat stress and stallion fertility. ***Journal of Animal Science and Technology***, v. 65, n. 4, p. 683-697, 2023.

SILVA, C. M. et al. Performance and economic viability of feedlot sheep fed different levels of roughage, concentrate, and water. ***Semina: Ciências Agrárias***, v. 37, n. 3, p. 1595-1605, 2016.

SILVA, Marcos Vinícius da et al. Spatial variability and exploratory inference of abiotic factors in barn compost confinement for cattle in the semiarid. ***Journal of Thermal Biology***, v. 94, p. 102782, 2020.

SILVA, Marcos Vinícius da et al. Vaginal temperature modeling in Holstein cows and cluster analysis by the cophenetic correlation coefficient. ***Journal of Thermal Biology***, p. 103580, 2023c.

- SILVA, R. Â. B. da et al. Spatial dependence of udder surface temperature variation in dairy cows with healthy status and mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 2019.
- SILVA, Thieres George Freire da et al. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. **Journal of thermal biology**, v. 85, p. 102408, 2019.
- SILVA, Wesley Amaro da et al. Exploratory inference of the ingestive behavior of pigs in the finishing phase in an air-conditioned environment. **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, n. 4, p. 266, 2023a.
- SILVA, Wesley Amaro da et al. Exploratory inference of the ingestive behavior of pigs in the growth phase in an air-conditioned environment. **Livestock Science**, v. 272, p. 105232, 2023b.
- SILVEIRA, Robson Mateus Freitas et al. Does organic selenium supplement affect the thermoregulatory responses of dairy goats? **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 6, p. 869-881, 2021.
- SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 497-500, 1996.
- SORIO, A. Diagnóstico da Oferta e Demanda de Ovinos e Caprinos para processamento de carne, pele e leite na região central do Tocantins. **Secretaria do desenvolvimento da agricultura e pecurária-Estado do Tocantins**, p. 240, 2017.
- SOUTO, P. L. G. et al. Seasonal semen quality of a local and commercial taurine cattle breeds, raised in a subtropical climate: Relationship between external morphology of the animals and climate. **Animal Reproduction Science**, v. 240, p. 106974, 2022.
- SPANDAN, P. V. et al. Heat stress induced changes in the major carcass traits and quantitative expression patterns of selective meat quality determining genes in Kanni Aadu Goats. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100053, 2022.
- SUN, Le et al. Effect of environmental temperature on semen quality and seminal plasma metabolites of Mediterranean buffalo bulls. **Animal Biotechnology**, v. 33, n. 5, p. 970-980, 2022.
- THOM, E. C. The Discomfort Index Weatherwise 12: 57-61. 1959.

THORNTON, P. et al. Impacts of heat stress on global cattle production during the 21st century: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 3, p. e192-e201, 2022.

TURRI, Federica et al. A Combined Flow Cytometric Semen Analysis and miRNA Profiling as a Tool to Discriminate Between High-and Low-Fertility Bulls. **Frontiers in veterinary science**, v. 8, 2021.

VAN DE HOEK, M.; RICKARD, J. P.; DE GRAAF, S. P. Motility assessment of ram spermatozoa. **Biology**, v. 11, n. 12, p. 1715, 2022.

VAN WETTERE, W. H. E. J. et al. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2021.

ZHANG, Xinzong et al. Effects of varicocele and microsurgical varicocelectomy on the metabolites in semen. **Scientific reports**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2022.

CAPÍTULO II: PLASTICIDADE FENOTÍPICA E ADAPTAÇÃO DE CARNEIROS DORPER SUBMETIDOS AO RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EVAPORATIVO E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE SEMINAL

RESUMO

Objetivou-se analisar o impacto da climatização artificial nos indicadores fisiológicos, na temperatura escrotal, na diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular e na qualidade do sêmen de carneiros Dorper. Os dados foram obtidos a partir do monitoramento de 20 carneiros da raça Dorper, com 18 ± 2 meses de idade e peso médio de 70 kg, criados no município de Garanhuns, entre abril e junho de 2023. Os animais foram alojados em uma baia por 22 dias nas condições naturais do ambiente e posteriormente permaneceram por 43 dias sob a influência de sistema de resfriamento adiabático evaporativo. O sêmen foi coletado e analisado a cada três semanas durante todo o período do estudo. A frequência respiratória (mov. min^{-1}), temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e imagens termográficas do escroto, da região do globo ocular e da lateral dos animais foram tomadas a cada 21 dias às 9, 13 e 17 h. Para as características do sêmen, indicadores fisiológicos e associações entre temperatura de núcleo corporal e testicular adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado composto por dois tratamentos e 20 repetições, com médias sendo comparadas por teste de Tukey. Os dados de temperatura escrotal, umidade relativa e temperatura do ar foram submetidos a análise estatística descritiva. Construiu-se mapas de krigagem para acompanhamento da variabilidade térmica da superfície escrotal dos animais. Análise de Componentes Principais (ACP) foi empregada nos dados. Observou-se menor variabilidade térmica na superfície escrotal durante o período de climatização artificial, acompanhado de menores temperaturas para todas as porções estudadas. A variância total acumulativa na componente principal 2 foi de 60,00%, com a ACP apontando correlação negativa da integridade da membrana plasmática (IMP) dos espermatozoides com os indicadores fisiológicos e temperaturas escrotais, com a IMP apresentando valores 16% superiores durante a climatização artificial, período caracterizado por menor valores de frequência respiratória e temperatura retal, do globo ocular, do pelame e escrotais, assim como menor diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular, possibilitando o desenvolvimento de modelos de regressão com coeficientes de determinação de 0,681 e 0,740 para a IMP.

Palavras-chave: componentes principais; conforto térmico; geoestatística; qualidade seminal; termografia.

CHAPTER II: PHENOTYPIC PLASTICITY AND ADAPTATION OF DORPER RAMS SUBMITTED TO ADIABATIC EVAPORATIVE COOLING AND INFLUENCE ON SEMINAL QUALITY

ABSTRACT

The objective was to analyze the impact of artificial acclimatization on physiological indicators, scrotal temperature, the difference between core body and testicular temperature and semen quality in Dorper rams. The data was obtained from the monitoring of 20 Dorper rams, aged 18 ± 2 months and weighing 70 kg on average, raised in the municipality of Garanhuns, between April and June 2023. The animals were housed in a stall for 22 days under natural environmental conditions and then remained for 43 days under the influence of an adiabatic evaporative cooling system. Semen was collected and analyzed every three weeks throughout the study period. Respiratory rate (mov. min^{-1}), rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$) and thermographic images of the scrotum, eyeball region and side of the animals were taken every 21 days at 9am, 1pm and 5pm. For the semen characteristics, physiological indicators and associations between body core and testicular temperature, a completely randomized experimental design was adopted, consisting of two treatments and 20 repetitions, with means being compared using the Tukey test. Data on scrotal temperature, relative humidity and air temperature were subjected to descriptive statistical analysis. Kriging maps were produced to monitor the thermal variability of the animals' scrotal surfaces. Principal Component Analysis (PCA) was used on the data. Less thermal variability was observed on the scrotal surface during the artificial acclimatization period, accompanied by lower temperatures for all the portions studied. The total cumulative variance in principal component 2 was 60.00%, with the PCA showing a negative correlation between sperm plasma membrane integrity (PMI) and physiological indicators and scrotal temperatures, with PMI values being 16% higher during artificial acclimatization, a period characterized by lower respiratory rate and rectal, eyeball, hair coat and scrotal temperatures, as well as a smaller difference between core body and testicular temperatures, enabling the development of regression models with coefficients of determination of 0.681 and 0.740 for PMI.

Keywords: geostatistics; principal component analysis; thermal comfort; thermography; seminal quality.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Pernambuco vivenciou um crescimento notável na produção de ovinos, tornando-se o segundo maior produtor nacional desde 2020 (IBGE, 2022), com esse rebanho sendo vital para a população rural em áreas áridas e semiáridas (SORIO, 2017; SILVA et al., 2016; COSTA et al., 2009). Apesar do aumento no rebanho ovino, a produtividade é considerada baixa (SANTOS et al., 2023), sendo o clima quente e à intensa radiação solar na região semiárida do Nordeste um dos fatores limitantes, induzindo respostas negativas na produção e reprodução nos animais (GUERRINI, 1981; THORNTON et al., 2022).

Animais homeotérmicos, como os ovinos, mantêm uma faixa de temperatura ambiente na qual o gasto de energia para manter a temperatura do núcleo corporal é mínimo e constante, conhecida como zona termoneutra (RIBEIRO et al., 2020). Ovinos são afetados por impactos térmicos quando as temperaturas caem abaixo de 12 °C (temperatura crítica inferior) ou excedem 25 a 31 °C (temperatura crítica superior), dependendo das adaptações da raça (VAN WETTERE et al. 2021). Nessa faixa, a taxa metabólica mínima é mantida e a produção de calor é relativamente constante (RENAUDEAU et al., 2012), fora desta faixa, se dá início ao fenômeno do estresse térmico (RASHAMOL et al., 2020), onde os mecanismos de termorregulação são desafiados, prejudicando a capacidade dos ovinos de manter a homeotermia.

A dissipação de calor nos ovinos depende da diferença de temperatura corporal do animal e do ambiente circundante (SEJIAN et al., 2018). Para evitar a ativação dos mecanismos de termorregulação nos animais, é essencial empregar técnicas para ajustar o ambiente às suas necessidades. Nesse sentido, o resfriamento evaporativo emerge como uma solução simples e econômica, reduzindo a temperatura do ar por meio da transferência de energia decorrente da interação entre as moléculas de ar e água (GODYŃ et al., 2020; FOROUSHANI; AMON, 2022), onde o calor sensível transferido do ar para a água satisfaz a demanda energética necessária para a evaporação, com a migração da energia térmica reduzindo a temperatura do ar (SIMMONS; LOTT, 1996).

Diversos indicadores fisiológicos, como temperatura retal, frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura corporal, temperatura do globo ocular e taxa de sudorese são utilizados para representar os efeitos do estresse térmico nos animais (PRAGNA et al., 2017; MENGISTU et al., 2017; CARABAÑO et al., 2019). Com a frequência respiratória e temperatura retal sendo os critérios mais amplamente empregados e estabelecidos para

caracterizar a tolerância térmica e a capacidade de adaptação dos animais (SEJIAN et al., 2017a).

Em ovinos, à medida que a temperatura testicular aumenta, as propriedades físicas do sêmen e a espermatogênese são prejudicadas, com defeitos espermáticos sendo observados (DASKIN et al., 1998; GARCIA-OLIVEROS et al., 2020). Logo, os mecanismos de termorregulação testicular se tornam essenciais para o equilíbrio térmico dos testículos (SETCHELL, 1998; RIZZOTO et al., 2020a, 2020b; ROSSI et al., 2021), onde o escroto desempenha um papel significativo, devido a estreita relação entre essa estrutura e os testículos (COULTER et al., 1988), tornando o acompanhamento da temperatura da superfície escrotal crucial na avaliação da capacidade termotolerante desses animais (SEJIAN et al., 2018)

O acompanhamento da distribuição de temperatura de uma superfície é facilitado pela termografia por infravermelho (TIV), método remoto e não invasivo. A TIV correlaciona a temperatura corporal através de mapas térmicos, com situações de estresse e conforto (PANDORFI et al., 2012), sendo amplamente utilizada para monitorar o estado fisiológico de ovinos (CASTELLS et al., 2019; SUTHERLAND et al., 2020; PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2021). Para uma análise mais aprofundada da variação de temperatura de superfícies e suas relações com o ambiente de produção, a geoestatística tem se mostrado uma ferramenta eficaz, sendo utilizada para avaliar o padrão de variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere de vacas leiteiras (SILVA et al. 2019), caracterização do ambiente térmico de aviários (Lopes et al., 2020) e determinação da variabilidade espacial da temperatura da pele de vacas leiteiras em um sistema “*compost barn*” (Silva et al., 2022).

Neste contexto, objetivou-se com este estudo acompanhar a influência de mudanças no ambiente, trazidas por sistema de resfriamento adiabático evaporativo, nas características fisiológicas e qualidade seminal de carneiros, através de termografia infravermelha, geoestatística e análise multivariada dos índices fisiológicos, temperaturas das porções escrotais e características do sêmen.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Declaração de Ética

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco - CEUA/UFRPE, sob o protocolo de número 6990060223.

2.2 Localização e Seleção dos Animais

O experimento foi conduzido em uma unidade de produção comercial de ovinos localizada no município de Garanhuns, estado de Pernambuco. A pesquisa teve uma duração de 63 dias, ocorrendo de abril a junho de 2023. A cabanha está situada na mesorregião Agreste, Microrregião de Garanhuns, em coordenadas geográficas de 08°49'12''S de latitude e 36°29'11''O de longitude, com uma altitude de 866 metros. A região possui um clima classificado como As, tropical com verão seco (ALVARES et al., 2013), com uma temperatura média de 20°C (INMET, 2020). A precipitação anual média é de 891,4 mm (INMET, 2020), sendo distribuída principalmente entre os meses de abril e julho. No mês de abril, a normal climatológica da temperatura máxima é de 26 °C, enquanto em maio é de 24 °C e em junho é de 23 °C (INMET, 2020). Foram selecionados 20 carneiros da raça Dorper com idade de 18 ± 2 meses e peso médio de 70 ± 3 kg.

2.3 Instalação e Manejo Alimentar

Os animais foram alojados em uma baia de 2,60 x 10,20 metros, aberta nas laterais, que estava coberta com uma malha de sombreamento aluminizada (80%). A baia estava equipada com bebedouro e comedouro, a maior parte do piso era em solo aparente, com piso de concreto somente na área onde o bebedouro estava localizado (Figura 1). A alimentação foi oferecida duas vezes diariamente, sendo composta por volumoso (*Panicum*) e concentrado (farelo de milho e soja com 18-20% de proteína bruta), enquanto as vitaminas e minerais foram suplementados através de um premix, uma mistura homogênea de microingredientes.



Figura 1. Baia de alojamento dos carneiros.

Os animais foram expostos a duas condições diferentes: 22 dias em baía sujeita às condições climáticas naturais do local (Fase 1) e 43 dias de climatização artificial (Fase 2). Esta última foi realizada por meio de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), que envolveu a ativação de dois climatizadores evaporativos.

A formação da névoa é induzida pelo efeito centrífugo gerado por um disco central com uma vazão média de 7 L h^{-1} . Motores independentes foram utilizados, com a hélice girando a 1.750 rpm e o disco central a 3.450 rpm , gerando um fluxo com velocidade média de $2,5 \text{ m s}^{-1}$. A ventilação forçada foi efetuada por meio de ventiladores axiais, que tinham uma vazão de $1200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a 1.780 rpm , com um diâmetro de hélice de 11 pol. Isso resultou em um fluxo de ar a uma velocidade média de $3,4 \text{ m s}^{-1}$. O sistema era acionado diariamente das 8 h às 17 h.

Durante a Fase 1, foram conduzidas duas coletas e análises de sêmen dos carneiros com um intervalo de 21 dias. Após a segunda coleta, o SRAE foi ativado, e novas coletas e análises de sêmen foram realizadas, respectivamente, 21 e 42 dias após o início da operação do sistema.

2.4 Registro das Variáveis Meteorológicas

Para a caracterização do ambiente nas fases do estudo, um datalogger do modelo HOBO 4 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA) foi posicionado em um abrigo meteorológico a uma altura de 1,50 metros em relação ao piso. Para avaliar a eficácia do sistema de resfriamento, um datalogger idêntico foi instalado no ambiente externo à baía, fora do alcance do sistema de resfriamento, no interior de um abrigo meteorológico a uma altura de 1,50 metros em relação ao piso, o que permitiu o registro da temperatura do ar (TAR, °C), da umidade relativa do ar (UR, %). Os dados foram registrados em intervalos de 15 min, no decorrer de todo estudo.

2.5 Imagens Térmicas

As imagens térmicas foram registradas utilizando uma câmera termográfica infravermelha modelo E60 da FLIR[®], em três momentos distintos: às 9 h, 13 h e 17 h. O registro das imagens permitiu a análise térmica da superfície escrotal, bem como a medição da temperatura do pelame e do globo ocular dos animais, com os animais no enquadramento lateral direita. Para garantir a qualidade das imagens e minimizar possíveis interferências e distorções, foram estabelecidos critérios rigorosos. Para obter imagens do escroto, os animais foram posicionados à sombra e a câmera termográfica foi mantida a uma distância focal de 1 m, permitindo o posicionamento perpendicular do termovisor em relação à superfície alvo.

Para obter a imagem lateral direita do animal e medir a temperatura do pelame (TPEL, °C) e a temperatura do globo ocular (TGO, °C), a câmera foi posicionada a uma distância de 1,0 m do animal. Foi utilizado o modo automático da câmera, o que permitiu registrar a superfície lateral do animal com uma angulação de 90°, enquanto o animal permanecia em pé. A coleta de dados para formação do banco de imagens foi realizada através do software FLIR QuickReport®. Durante esse processo, considerou-se a emissividade de 0,98 (HOFFMANN et al., 2013, ALVES et al., 2016, SILVA et al., 2017), bem como as condições termohigrométricas no momento da captura da imagem. Isso incluiu a temperatura refletida, que foi levada em conta para determinar a variação da temperatura superficial das áreas de interesse.

2.6 Determinação das variáveis fisiológicas

Para aferição dos parâmetros fisiológicos, começou-se registrando a frequência respiratória (FR; mov. min⁻¹) e, posteriormente, medindo a temperatura retal (TR; °C) (POLLI et al., 2022). Essas medições foram realizadas três vezes ao dia, nos mesmos horários em que as imagens termográficas foram obtidas (9h, 13h e 17h). Todos os animais foram submetidos a essas avaliações.

A FR foi determinada pela contagem do número de movimentos da região do flanco realizados pelo animal, no intervalo de 1 min (NICOLÁS-LÓPEZ et al., 2022), realizando a contagem de movimentos realizados em 30 s e multiplicando por 2. Após o registro da FR, foram tomadas as medidas da TR, com auxílio de termômetro digital de uso veterinário (SERRANO et al., 2022), escala entre 0 e 44 °C, introduzido no reto dos animais e esperando a estabilização para a obtenção do valor da TR. Os registros da temperatura da superfície da pele e do globo ocular dos animais foram obtidos por meio de imagens térmicas registradas pelo termovisor e corrigidas no software FLIR QuickReport, em que a emissividade e as condições termohigrométricas no momento de captura da imagem foram implementadas para o ajuste das temperaturas de superfície.

Para observar e comparar o grau de variação entre a temperatura de núcleo corporal e a temperatura testicular dos carneiros, a temperatura retal e as temperaturas da superfície escrotal foram selecionadas, sendo criados três associações: VAR1 – variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular proximal; VAR2 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular medial; e VAR3 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular distal.

2.7 Coleta e análise do sêmen

A coleta de sêmen foi conduzida através do uso de uma vagina artificial com auxílio de uma fêmea. Após a coleta, o volume do sêmen foi medido em um tubo de vidro graduado e, em seguida, a amostra de sêmen foi imediatamente encaminhada para análise laboratorial a fim de avaliar as demais variáveis.

As amostras de sêmen foram submetidas à avaliação da motilidade total (0-100%) e vigor (0-5), utilizando um microscópio óptico com ampliação de 100X (VAN DE HOEK; RICKARD; DE GRAAF, 2022; BATISSACO et al., 2020). Para isso, uma gota de sêmen (diluição de 1:400 em solução tris) foi disposta sobre uma lâmina e coberta por uma lamínula aquecida. O turbilhonamento (0-5) foi avaliado utilizando uma gota de sêmen puro em outra lâmina, coberta por uma lamínula aquecida, sendo observado sob microscópio óptico com ampliação de 40X (VAN DE HOEK; RICKARD; DE GRAAF, 2022). A concentração espermática ($\times 10^9/\text{ml}$) foi determinada por meio de uma câmara de Neubauer (diluição de 1:400 em água destilada) (ALMADALY et al., 2016), enquanto o volume do ejaculado foi mensurado em mililitros. A integridade da membrana plasmática foi analisada pelo método de eosina-nigrosina. Para essa análise, um esfregaço foi preparado a partir de uma gota de sêmen (diluição de 1:400 em água destilada) e 10 μl de eosina-nigrosina (CARVAJAL-SERNA et al., 2022). Os esfregaços foram examinados em um microscópio óptico (400X), e a contagem de 200 células por amostra foi realizada, classificando-as em membrana íntegra e não íntegra (CARVAJAL-SERNA et al., 2022).

2.8 Análises estatísticas

2.8.1 Delineamento experimental

Os dados de características do sêmen, frequência respiratória, temperatura retal, temperatura do globo ocular, temperatura do pelame e associações entre temperatura de núcleo corporal e testicular foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e 20 repetições, caracterizadas pelo número de animais disponíveis por tratamento. De acordo com o modelo de efeitos descrito na Equação (1):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

em que: y_{ij} - é o valor observado para a variável resposta obtido para o i -ésimo tratamento em sua j -ésima repetição; μ - é a média das médias de cada tratamento; τ_i - é o efeito do tratamento i no valor observado y_{ij} ; ϵ_{ij} - e o erro experimental associado ao valor observado y_{ij} .

Os dados de temperatura e a umidade relativa do ar foram submetidos à análise estatística descritiva através de Boxplot, constituindo o resumo de 5 números, ou seja, os valores mínimo e máximo e 3 percentis (mediana e intervalo interquartil).

2.8.2 Geoestatística aplicada a variabilidade térmica escroto-testicular

As temperaturas superficiais escrotais dos animais (Figura 2A), obtidas pela termografia infravermelha, foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão (DP), coeficientes de variação (CV, %), assimetria e curtose. O valor percentual do CV foi categorizado como baixo (CV < 12%), médio (CV = 12-24%), ou alto (CV > 24%) de acordo com o critério de Warrick e Nielsen, 1980. A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov.

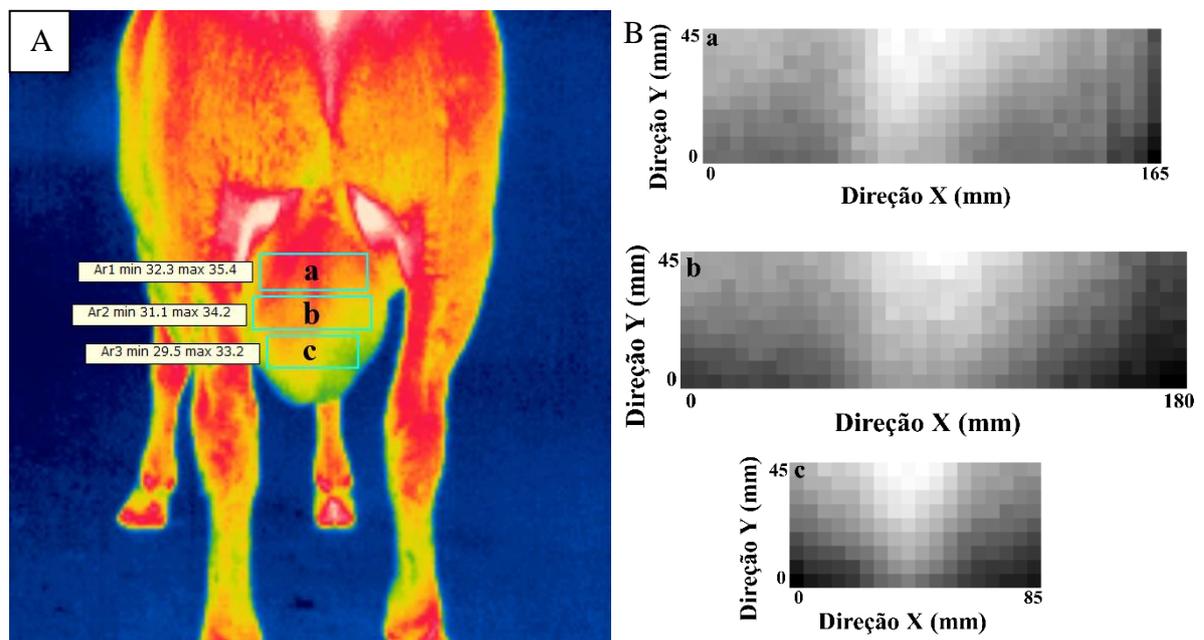


Figura 2. Representação da imagem termográfica do escroto do animal com demarcação das áreas de interesse (A). Representação das malhas de temperatura utilizadas para modelagem dos mapas de krigagem (B).

a – Porção proximal; b – Porção medial; c – Porção distal.

Para avaliar a variabilidade da temperatura escrotal, foram escolhidas áreas de interesse (porção proximal, medial e distal do escroto) dos 20 animais (60 imagens por jornada) para a obtenção de duas matrizes numéricas referentes às duas fases do estudo, com os valores médios das temperaturas superficiais escrotais identificadas nos pixels que compunham a imagem, admitindo uma distância de 5 mm entre cada pixel (Figura 2B).

Foi realizada uma verificação para determinar se a média e a covariância dos valores não apresentavam tendência, ou seja, para avaliar se os dados exibiam estacionariedade. Essa análise foi conduzida com base na necessidade de que os dados atendam ao critério de estacionariedade. Para investigar a dependência espacial, foram realizados ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000), com base na suposição de estacionariedade intrínseca, a qual é estimada pela Eq. 2:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que: $N(h)$ - é o número de pares experimentais de observações; $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ - separados por uma distância h .

O semivariograma é representado pelo gráfico $y(h)$ versus h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $y(h)$ são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 ; e o alcance, a).

Para analisar o grau da dependência espacial da temperatura superficial escrotal, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita $< 25\%$ do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca $> 75\%$.

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial e o gaussiano, sendo ajustados por meio do programa GS^+ e, posteriormente, utilizados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem). Foi considerado o semivariograma com o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada através do programa GEO-EAS, em que se observará a média próxima a “zero” e o desvio padrão próximo a “um”.

2.8.3 Análise de componentes principais

Foi conduzida a Análise de Componentes Principais (ACP) com o objetivo de examinar a correlação entre as variáveis de qualidade seminal e as variáveis fisiológicas e de temperatura escrotal, a fim de identificar quais exercem uma influência predominante associada aos fatores de climatização. A aplicação do critério de Kaiser foi adotada, considerando valores superiores

a 1 como indicativos de componentes que contêm uma quantidade significativa de informação dos dados originais, enquanto os componentes com valor inferior a 1 foram descartados (Kaiser, 1958). O processo da ACP compreendeu três fases distintas: geração, seleção e interpretação dos componentes analisados. Após a determinação do número ótimo de componentes principais, realizou-se a análise da contribuição de cada variável nos componentes mais relevantes, culminando na elaboração da Matriz de Componentes Principais (MCP).

Foram estabelecidos modelos de regressão linear múltipla com base nos resultados obtidos na Análise de Componentes Principais (ACP). Esses modelos levaram em consideração as variáveis que apresentaram as maiores correlações com as Componentes Principais (CPs), pressupondo que essas variáveis tinham a maior relevância no conjunto de dados. O modelo de regressão seguiu a equação (3) a seguir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \varepsilon \quad (3)$$

em que: Y - variável resposta (parâmetros de qualidade do sêmen); x1, x2, x3 e x4 - variáveis preditoras (variáveis fisiológicas, índices de conforto e temperatura escrotal); ε - erro experimental. A equação (4) é considerada linear porque se trata de uma função linear de parâmetros desconhecidos β_0 , β_1 , β_2 , β_3 e β_4 , que são chamados de coeficientes da regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Temperatura do ar

Pode-se observar que nas duas fases os valores de média se aproximam da mediana, indicando normalidade dos dados (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2022; MARINHO et al., 2023), assim como não apresentaram outliers e os dados se apresentaram simétricos (Figura 3). McManus et al. (2014) investigaram os limites críticos das variáveis ambientais para identificar as regiões mais adequadas no estado de Pernambuco para diferentes raças puras de ovinos, e observaram uma temperatura crítica superior (TCS) de 28,40 °C para ovinos da raça Dorper. Na Fase 1 (Figura 3A), a temperatura média do ar (TAR) na baía foi de 27,64 °C, com dispersão e amplitude de 3,59 e 12,34 °C, respectivamente, valores semelhantes aos do ambiente externo, onde a média foi de 27,74 °C, com amplitude e dispersão de 3,81 e 13,02 °C, respectivamente. Durante essa fase pode-se observar que em 7 dias a temperatura média do ar na baía ultrapassou o valor da TCS (Figura 3C), representando 30,43% do período.

Na Fase 2, observa-se que a dispersão e a amplitude dos valores de TAR no ambiente externo (3,85 e 12,67 °C, respectivamente) e na baía (3,60 e 12,27 °C, respectivamente) foram semelhantes, mas a média foi deslocada para baixo, com a baía apresentando temperatura média

de 25,24 °C (Figura 3B), inferior em 1,24 °C quanto comparado ao ambiente externo. Durante esta fase, apenas 2 dias apresentaram TAR superior a TCS (Figura 3C), ou seja, 95,24% do período foi caracterizado por condições ideais de TAR.

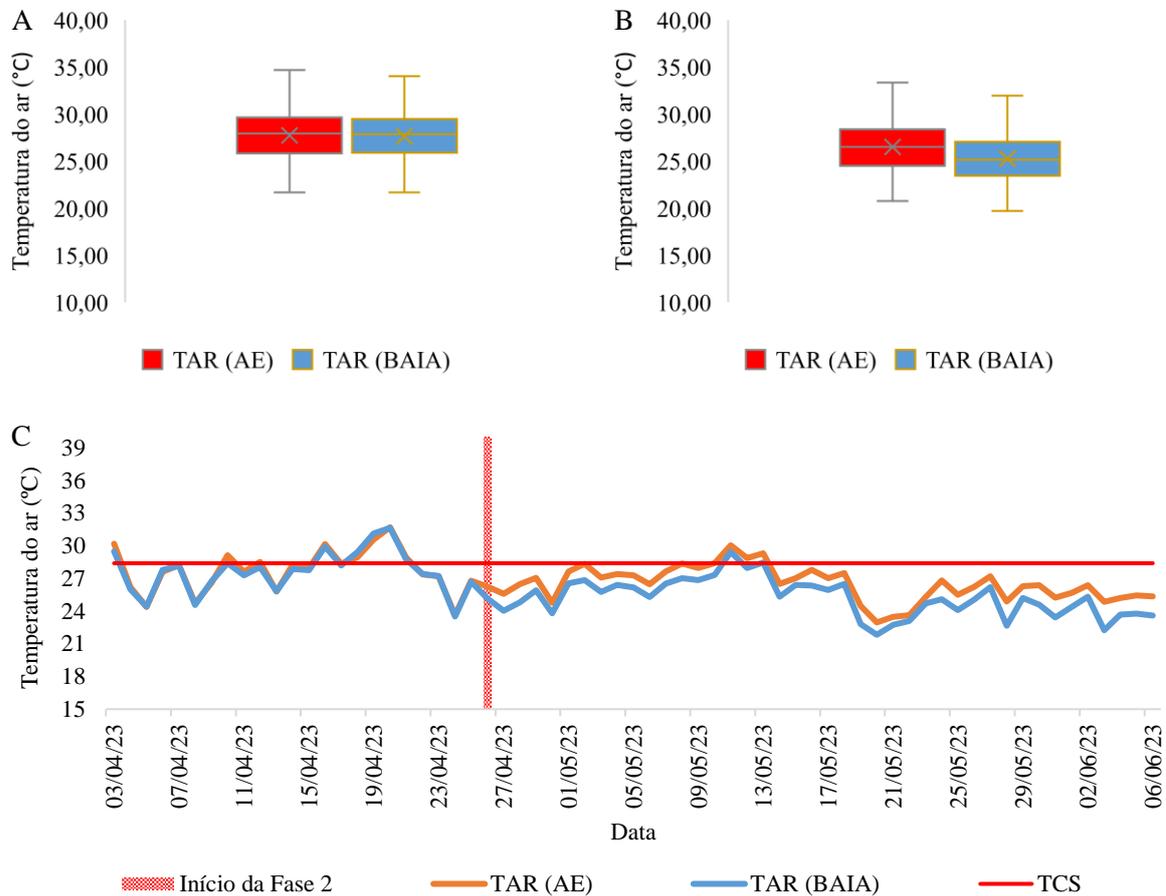


Figura 3. Boxplot dos valores de temperatura do ar durante a Fase 1 (A); Boxplot dos valores de temperatura do ar durante a Fase 2 (B). Monitoramento dos valores médios diários da temperatura do ar durante o período do estudo (C).

TAR (AE) – Temperatura do ar no ambiente externo; TAR (BAIA) – Temperatura do ar na baia; TCS – Temperatura Crítica Superior

3.2 Umidade relativa do ar

Não foi observado a presença de outliers em ambas as fases. Durante a Fase 1 os valores de média e mediana destoaram-se (Figura 4A), demonstrando que neste período a curva de distribuição dos valores está mais distante da média, enquanto na Fase 2 os valores de média e mediana se aproximaram, indicando que o SRAE trouxe a curva de distribuição para mais perto da média (SILVA et al., 2021; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2022). Na Fase 2 os dados

apresentaram assimetria positiva (Figura 4A), com valores concentrados abaixo da média durante este período (HATEM et al., 2022), situação que se inverteu durante a Fase 2 (Figura 4B), onde os valores de umidade relativa do ar na baía se concentraram acima da média.

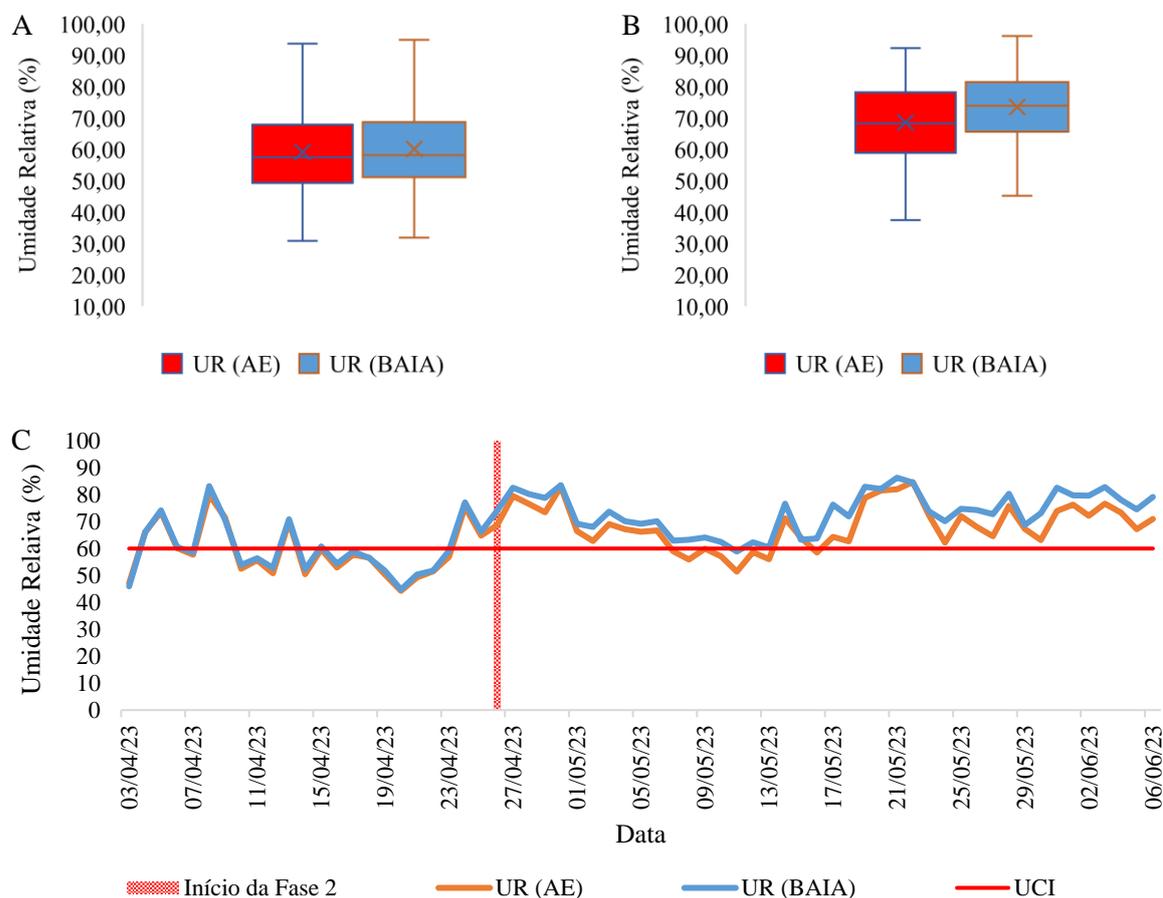


Figura 4. Boxplot dos valores de umidade relativa do ar durante a Fase 1 (A); Boxplot dos valores de umidade relativa do ar durante a Fase 2 (B). Monitoramento dos valores médios diários da umidade relativa do ar durante o período do estudo (C).

UR (AE) – Umidade relativa no ambiente externo; UR (BAIA) – Umidade relativa na baía; UCI – Umidade Crítica Inferior

Na Fase 1 (Figura 4A), a umidade relativa (UR) média do ar na baía foi de 60,08%, com dispersão e amplitude de 17,55 e 63,12 %, respectivamente, valores semelhantes aos do ambiente externo, onde a média foi de 59,10%, com amplitude e dispersão de 18,61 e 62,87%, respectivamente. Na Fase 2 (Figura 4B), observa-se que a dispersão e a amplitude dos valores de UR no ambiente externo (19,34 e 54,77%, respectivamente) foram maiores que na baía (15,85 e 50,97%, respectivamente), indicando que o SRAE amenizou a queda dos valores de

UR nos horários mais secos, com a média dos valores na baía sendo deslocada para cima, representando um incremento de 7,12% na UR em relação ao ambiente externo.

Lees et al. (2019), indica o valor de 60% como umidade crítica inferior (UCI) para a criação de ovinos. Na baía, durante 14 dos 23 dias da Fase 1, foram registrados valores de UR média diária abaixo da UCI (Figura 4C), representando uma situação desfavorável em 60,87% deste período. Na Fase 2, essa condição foi praticamente eliminada, com apenas 1 dia na baía apresentando um valor de UR média diária inferior à UCI.

Ao monitorar os valores diários de TAR e UR fora da baía, observa-se que houve uma variação natural dessas variáveis durante o período do estudo (Figuras 3C e 4C). Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento dos dias chuvosos nesse período (Figura 5), o que resultou em uma elevação da umidade relativa média e uma diminuição da temperatura do ar de maneira intrínseca, com isso exercendo influência negativa sobre a eficiência do SRAE (KASHIF; SULTAN; KHAN, 2017; RAZA et al., 2020).

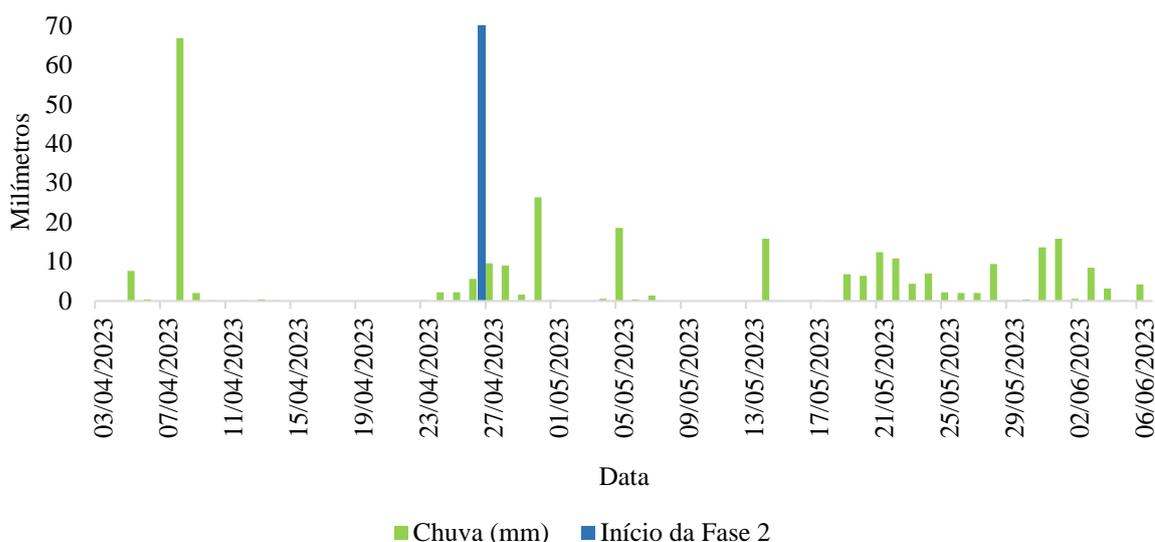


Figura 5. Monitoramento do acumulado de chuva diário durante o período do estudo. Fonte: (INMET, 2024).

3.3 Variáveis fisiológicas

A variação da FR foi significativa para os três horários estudados ($p \leq 0,05$), com a maior média sendo observada às 13 h, onde os valores variaram de 92 a 144 mov.min⁻¹ (Tabela 1), com 10% dos animais se encontrando em alto nível de estresse e 90% em nível muito alto. Com o SRAE, no mesmo horário, a FR dos animais apresentou atenuação de 52,55%, maior entre os três horários, com valores variando de 56 a 80 mov.min⁻¹, onde 10% dos animais se

encontravam em nível baixo de estresse e 90% num nível médio. Esses valores foram semelhantes aos encontrados por CZEKOSKI et al. (2018) em estudo com ovinos Dorper e Santa Inês em clima subtropical, em que os maiores valores de FR foram de 132 a 172 mov.min⁻¹ no turno da tarde.

Mesmo com o resfriamento, os animais não apresentaram frequência respiratória menor que 40 mov.min⁻¹, o que caracterizaria ausência de estresse. Nos horários das 9 h e 17 h, 55 e 60% dos animais se encontravam em baixo nível de estresse, respectivamente, com o resto dos animais se encontrando em médio nível de estresse. Maurya et al. (2018) observaram que ovinos da raça Malpura, alojados em câmara térmica simulando situação de estresse térmico, apresentaram as maiores frequências respiratórias, principalmente no horário da tarde, ultrapassando valores de 120 mov.min⁻¹. Em um estudo com vacas leiteiras Holstein, Pinto et al. (2019), observaram que sob condições de estresse por calor, vacas resfriadas 8 vezes por dia (resfriamento com uma combinação de aspersores e ventiladores laterais) apresentaram uma FR mais baixa (60,2 mov.min⁻¹) em comparação com a FR das vacas resfriadas 3 vezes ao dia (73,1 mov.min⁻¹).

O sistema de climatização promoveu diminuição significativa da TR para todos os três horários ($p \leq 0,05$). A maior média foi observada no horário das 13 h (Tabela 1), em que se verificou a maior variação entre as fases, com o SRAE trazendo redução média de 0,55 °C. A temperatura de núcleo corporal é usada como um indicador de estresse térmico na grande maioria das avaliações, sendo a temperatura retal (TR) o indicador predominantemente empregado (GALÁN et al., 2018). Garner et al. (2017) mostraram que os valores de TR foram maiores (40 °C) em vacas sob estresse por calor do que em condições termoneutras (38,5 °C).

A temperatura retal é grande representante da temperatura de núcleo (Reis et al., 2023) e uma pequena variação já é forte indicativo de mudança no conforto térmico do animal, sendo um índice sensível a altas cargas de calor, o que pode induzir a outras sequelas fisiológicas, como o aumento da taxa de respiração (TADESSE et al., 2023). A faixa normal de temperatura corporal para um carneiro é de 38,5 a 39,9 °C, valores que caracterizam temperatura corporal anormal só foram observados durante a Fase 1 às 13h, onde 35% dos animais apresentaram temperatura retal acima de 39,9 °C. A valores de TR dos animais às 9 h e 17 h se comportaram de forma semelhante, com médias similares e com reduções de 0,30 e 0,24 °C entre as fases, respectivamente.

É bem estabelecido que a temperatura do ar afeta as oscilações da temperatura da superfície do pelame em ovinos (FONSÊCA et al., 2019). Com o SRAE, foram observadas

reduções significativas ($p \leq 0,05$) nas temperaturas médias do pelame de 12,43, 9,04 e 7,23% nos horários das 9 h, 13 h e 17 h, respectivamente. Durante a Fase 1, às 17 h, a TPEL dos animais já se encontrava abaixo dos 30 °C, diferente dos primeiros horários (Tabela 1), onde a TPEL se comportou de forma similar, alcançando máxima e mínima de 34,60 e 30,70 °C às 09h e 34,70 e 30,80 °C às 13h, respectivamente. Uma alta temperatura do pelame ocorre devido ao aumento do calor interno à medida que o animal tenta dissipar o calor, promovendo involuntariamente um maior suprimento de sangue para os vasos periféricos (FONSECA et al., 2020).

Em um estudo comparativo recente, Joy et al. (2020) observaram que os ovinos Dorper tinham menor frequência respiratória, temperatura retal e temperatura do pelame do que os ovinos da raça Merino de segundo cruzamento (Poll Dorset \times Merino/Border Leicester) expostos ao tratamento de estresse térmico, significando uma maior adaptabilidade da raça a esse tipo de estresse, sendo mais econômica em termos de desvio de energia para as características produtivas do que para a adaptação.

A TGO dos animais na Fase 1 foi superior na ordem de 2,67, 2,59 e 2,80% às 09 h, 13 h e 17 h, respectivamente, quando comparadas aos valores obtidos durante o funcionamento do SRAE (Tabela 1), trazendo uma redução significativa ($p \leq 0,05$). Os valores de TGO encontrados neste estudo foram menores do que o valor médio de 38,71 °C observado por Menchetti et al. (2021) em ovinos alojados em ambiente com temperatura de 25 °C e umidade de 65%. Pesquisas como as conduzidas por Pulido-Rodríguez et al (2021) e Arfuso et al. (2022), demonstram que a temperatura do globo ocular pode servir como um indicador confiável da temperatura do núcleo corporal, uma vez que responde às variações no fluxo sanguíneo e à vasodilatação periférica.

Tabela 1. Média e desvio padrão dos índices fisiológicos na baía nas Fases 1 e 2.

09 h				
Var	Fase 1	Fase 2	CV (%)	Valor-p
FR (mov.min ⁻¹)	111 a ± 13,35	62 b ± 9,32	13,06	0,000
TR (°C)	39,45 a ± 0,24	39,15 b ± 0,17	0,53	0,000
TPEL (°C)	32,65 a ± 1,20	28,59 b ± 0,93	3,47	0,000
TGO (°C)	35,77 a ± 0,66	34,82 b ± 0,79	2,05	0,000
13 h				
FR (mov.min ⁻¹)	147 a ± 21,59	70 b ± 6,43	12,94	0,000
TR (°C)	39,54 a ± 0,49	38,99 b ± 0,15	0,82	0,000
TPEL (°C)	32,85 a ± 1,01	29,88 b ± 0,57	2,52	0,000
TGO (°C)	36,04 a ± 0,83	35,11 b ± 0,57	1,97	0,000
17 h				
FR (mov.min ⁻¹)	122 a ± 18,39	62 b ± 8,85	14,82	0,000
TR (°C)	39,38 a ± 0,20	39,13 b ± 0,23	0,55	0,001
TPEL (°C)	28,60 a ± 0,45	26,53 b ± 1,15	2,90	0,000
TGO (°C)	35,45 a ± 0,36	34,46 b ± 0,60	1,38	0,000

Médias com diferentes sobrescritos nas mesmas linhas diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

FR – Frequência respiratória; TR – Temperatura retal; TPEL – Temperatura do pelame; TGO – Temperatura do globo ocular.

3.4 Temperatura escrotal

Na Fase 1, temperatura superficial do escroto dos carneiros apresentou média de 32,35, 31,71 e 31,08 °C, para a porção proximal, medial e distal, respectivamente, expondo o gradiente existente entre os polos testiculares (HUNTER; LÓPEZ-GATIUS, 2020), com coeficiente de variação indicando baixa variabilidade com valores entre 0,74 e 1,11% (Tabela 2). Observou-se diminuição significativa ($p \leq 0,05$) na temperatura de superfície escrotal na Fase 2, com reduções medias na ordem de 0,27% (proximal), 0,54% (medial) e 2,01% (distal).

Os valores de desvio padrão para a porção proximal e medial foram semelhantes aos observados durante a Fase 2, já para a porção distal, os valores de DP foram significativamente maiores na Fase 1, indicando menor variabilidade da temperatura de superfície desta porção durante a Fase 2. Os valores de média e mediana foram semelhantes entre si para todas as porções, sendo um bom indicativo de que os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021; SILVA et al., 2021; MARINHO et al., 2023), o que foi comprovado com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1% (Tabela 2).

Com exceção da porção proximal durante a Fase 1, os valores de curtose foram negativos para todas as outras situações, indicando uma curva de distribuição menos acentuada que a normal (BONO et al., 2019). Na Fase 1, as porções apresentaram assimetria negativa,

porém próxima a zero, indicando que os dados estão levemente concentrados acima da média (HATEM et al., 2022), já na Fase 2, a assimetria mostra que os dados estão concentrados abaixo da média, com exceção da porção distal que apresentou uma distribuição praticamente simétrica.

Tabela 2. Estatística descritiva das temperaturas das regiões de interesse do escroto do animal.

Parâmetros	Temperatura Escrotal					
	Fase 1			Fase 2		
	Proximal	Medial	Distal	Proximal	Medial	Distal
Média (°C)	32,35	31,71	31,08	32,26	31,54	30,46
Mediana (°C)	32,36	31,73	31,09	32,27	31,54	30,45
DP	0,23	0,26	0,34	0,22	0,25	0,29
Variância	0,05	0,069	0,12	0,049	0,06	0,085
CV (%)	0,74	0,83	1,11	0,69	0,81	0,96
Assimetria	-0,13	-0,14	-0,05	0,26	0,21	-0,02
Curtose	0,04	-0,57	-0,74	-0,40	-0,59	-0,95
Normalidade	**	**	**	**	**	**

DP- Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação; **normalidade a 1% de significância.

As temperaturas médias da superfície escrotal (Tabela 2) na Fase 1 (31,71°C) e na Fase 2 (31,42 °C), foram maiores que os valores de 30,50 a 31,00 °C observados por Alves et al. (2016) em ovinos da raça White Dorper em clima subtropical úmido. Para a raça Dorper, Moura et al. (2019), observaram uma temperatura escrotal média de 30,40 °C durante o verão em clima tropical. Já Júnior et al. (2015), verificaram temperatura escrotal média de 31,30°C em clima tropical com temperatura do ar mínima e máxima de 15,70 e 23,00 °C pela manhã e 25,00 e 26,90 °C a tarde, respectivamente, e umidade relativa variando entre 30,60 e 55,60%.

A espermatogênese normal depende da manutenção da temperatura testicular entre 2,0 e 6,0 °C abaixo da temperatura corporal interna (MOURA et al., 2019) e de acordo com Coulter et al. (1988), há uma diferença entre a temperatura da superfície escrotal e a testicular de 4,8 °C. VAR3 foi menor em 14% na Fase 2, enquanto VAR1 e VAR2 apresentaram reduções similares de 11,78 e 11,72% (Figura 6). A maior redução apresentada por VAR3 deve-se ao fato de a porção distal do escroto ter-se mostrado mais sensível às mudanças no ambiente.

Os resultados também expõem que a temperatura de núcleo corporal se mostrou mais sensível que a testicular. Alves et al. (2016) em estudo com aquecimento escrotal isolado, observaram que carneiros que não foram submetidos ao insulto apresentaram uma diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular média de 2,93 °C, resultado semelhante ao encontrado no presente estudo, enquanto a diferença nos animais que receberam o tratamento foi de 1,12 °C. Durante as estações do ano em um clima quente e temperado, Kahwage et al.

(2018) observaram que a diferença mínima e máxima entre a temperatura testicular, medida na porção distal e a temperatura de núcleo corporal foi de aproximadamente 3 e 3,3 °C, no verão e primavera, respectivamente. Em ambas as fases, os valores das associações apresentadas estão dentro da faixa requerida para que a espermatogênese ocorra normalmente nos ruminantes (DOS SANTOS et al., 2018).

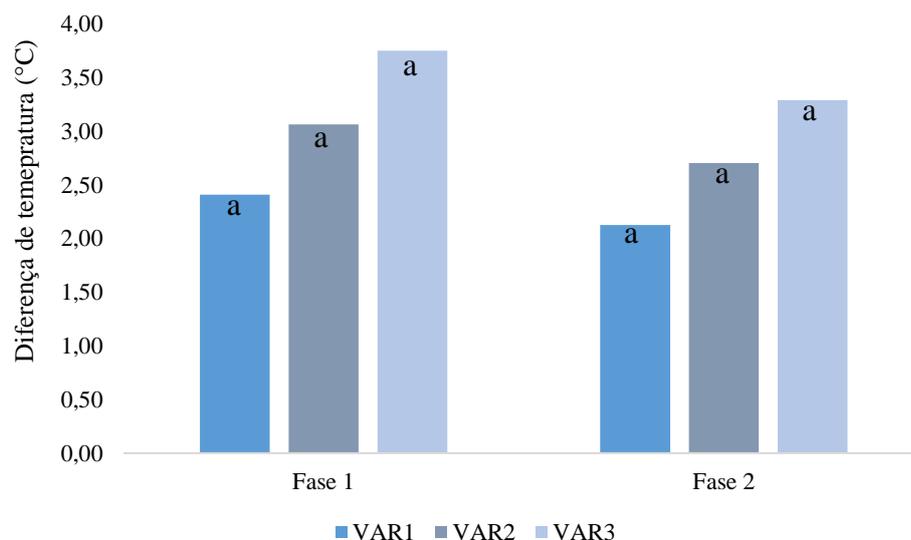


Figura 6. Indicadores formados a partir da diferença de temperatura do núcleo corporal e porções escrotais.

VAR1 – variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular proximal; VAR2 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular medial; e VAR3 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular distal; médias com diferentes sobrescritos indicam diferenças significativas entre as fases ($p \leq 0,05$).

3.5 Mapas de krigagem

As análises geoestatísticas indicaram a presença de dependência espacial em todas as porções escrotais estudadas (proximal, medial e distal) nas duas fases. Os valores dos patamares e alcances foram menores para os animais na Fase 2 (Tabela 3), indicando menor variabilidade neste período, em concordância com os resultados da estatística descritiva. O Grau de Dependência Espacial ($C0/C0+C1$) foi considerado forte para todas as porções escrotais nas duas fases (CAMBARDELLA et al., 1994). Seguindo o critério de Jack-Knifing para validação do semivariograma teórico, onde a média e o desvio padrão dos erros deve ser próximo a 0 e 1, respectivamente, o modelo Gaussiano foi o que melhor se ajustou para todas as porções

escrotais analisadas, onde também foi observado ajuste adequado no Coeficiente de Determinação (R^2), com valores superiores a 0,92.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de semivariograma ajustados, grau de dependência espacial, coeficiente de determinação e validação cruzada.

Parâmetros	Temperatura Superficial Escrotal					
	Fase 1			Fase 2		
	Proximal	Medial	Distal	Proximal	Medial	Distal
Modelo	Gauss	Gauss	Gauss	Gauss	Gauss	Gauss
Efeito Pepita (C0)	2×10^{-3}	3×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}
Patamar (C0+C1)	0,11	0,20	0,32	0,08	0,11	0,13
Alcance (cm)	7,50	10,05	7,54	4,16	7,53	5,38
GDE	1,81	1,45	0,31	1,40	0,87	0,78
R^2	0,95	0,99	0,93	0,98	0,98	0,92
	Validação cruzada					
Média dos erros	0,00	0,34	-0,08	0,00	0,01	-0,02
Desvio Padrão	0,92	0,89	0,86	0,86	0,93	0,73

Na Figura 7 estão representados os mapas das temperaturas superficiais escrotais (TSesc), onde é possível observar a variabilidade espacial da porção proximal, medial e distal durante a Fase 1 (Figura 7A, 7C e 7E) e durante o funcionamento do SRAE (Figura 7B, 7D e 7F). Os mapas evidenciam ainda mais o gradiente de temperatura existente entre o polo proximal e o distal e apesar das menores temperaturas superficiais escrotais terem sido registradas durante a Fase 2, o gradiente também foi maior durante esse período devido à porção distal ter apresentado a maior diminuição percentual de temperatura dentre as áreas estudadas.

Observa-se que o mapa da porção proximal na Fase 1 apresentou um gradiente com 5 cores, todas em tons vermelhos, representando o intervalo de 31,88 a 32,68 °C, já na Fase 2, esta porção apresentou 4 cores, onde cor mais escura, referente ao maior valor de temperatura, não estão mais presentes (Figura 7A), assim como a coloração referente à menor temperatura observada nesta porção (31,88 °C) é maior (Figura 7B).

O mapa da porção medial apresentou cores laranjas em 6 tons, representando temperaturas de 31,08 a 32,08 °C, durante a Fase 1 (Figura 7C), e 5 cores durante o funcionamento do SRAE (Figura 7D), que por sua vez já não mais apresentou o tom referente a temperatura de 32,08 °C, trazendo uma maior área do tom respectivo a 31,08 °C.

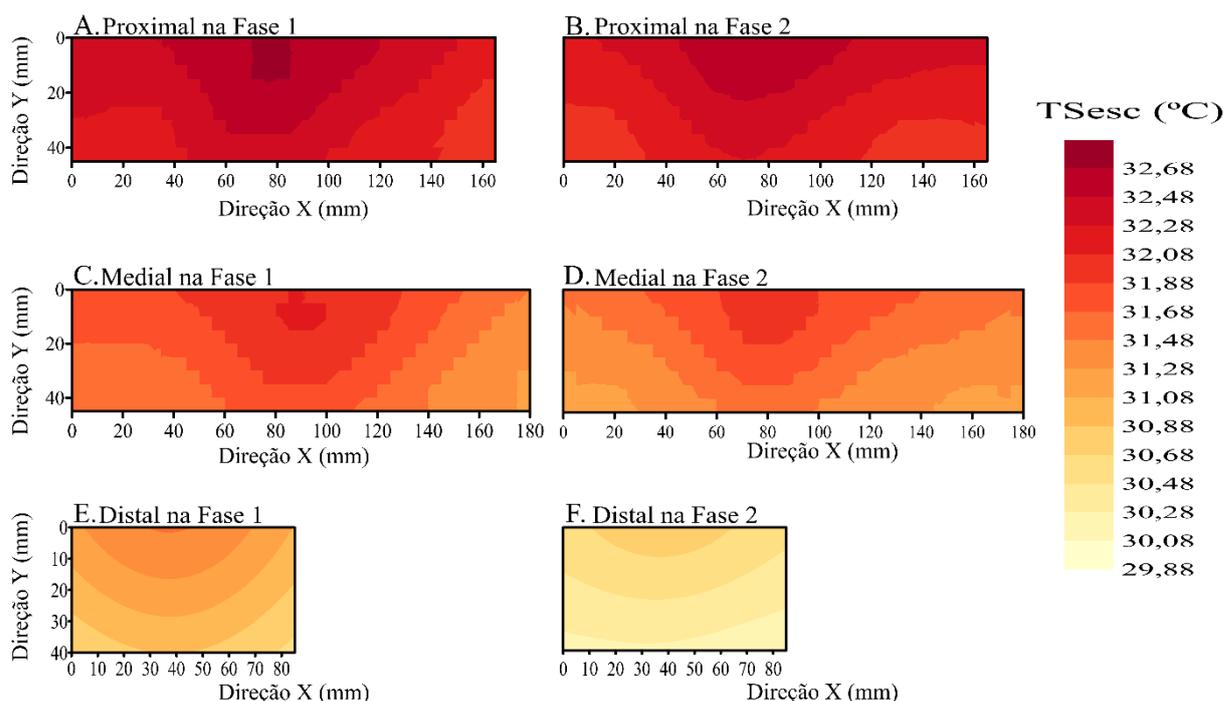


Figura 7. Mapas de krigagem das temperaturas superficiais escrotais dos carneiros para as porções de interesse.

TSesc – Temperatura superficial escrotal.

Já na porção distal, ocorreu a predominância de cores amarelas, com 6 tons para a porção durante a Fase 1 (Figura 7E), representando uma variação de 30,48 a 31,48 °C e 4 tons durante a Fase 2 (Figura 7F), variando de 30,08 a 30,68 °C. Percebe-se também a ocorrência de linhas de contorno mais abertas para os mapas referentes a porção distal do escroto, sugerindo menor variação na temperatura, comparativamente às demais porções.

A temperatura da superfície escrotal é reduzida a partir do cone vascular, originando o gradiente de temperatura testicular, que indica a diferença entre a temperatura dos polos proximal e distal do testículo (KASTELIC, COULTER; COOK, 1995). É possível observar na Figura 6 que o gradiente da temperatura escrotal foi inferior durante a Fase 1, com uma diferença média de 1,27 °C entre a porção proximal e distal, enquanto na Fase 2, esse gradiente aumentou para 1,80 °C (Tabela 2). Kastelic et al. (1999), observaram gradientes de 1,2 a 1,8 °C em ovinos expostos a temperaturas médias de 25 °C. Já Kahwage et al. (2017) observaram um gradiente médio de 0,5 e 1,1 °C para ovinos mantidos no sol e na sombra, respectivamente, em ambiente com temperatura média de 27,5°C e umidade de 60,7%. Segundo Kastelic et al. (2012) e Menegassi et al. (2015), animais com termograma anormal demonstram um gradiente de temperatura testicular reduzido, sendo associado a uma diminuição nos níveis de espermatozoides e nos parâmetros seminais.

Logo, o aumento do gradiente da temperatura da superfície testicular observado na Fase 2 pode ser considerado benéfico para os carneiros. Moura et al. (2019), observaram que maiores gradientes escrotais foram observados durante o inverno para as raças Dorper, Texel e Santa Inês, quanto que para carneiros Morada Nova, o inverno trouxe o menor gradiente entre as estações. Porém, foi observado que este fator não necessariamente foi acompanhado por respostas positivas nos parâmetros de qualidade seminal estudados (motilidade, integridade da membrana plasmática e defeitos espermáticos).

3.6 Parâmetros de qualidade do sêmen

Geralmente, em ruminantes, a motilidade, concentração e morfologia espermática são as características seminais mais impactadas pela exposição ao estresse térmico (SABÉS-ALSINA et al., 2019; MORRELL et al., 2020; SHAHAT; RIZZOTO; KASTELIC, 2020). O volume médio do sêmen antes da climatização artificial foi de 0,95 ml (Figura 7), enquanto na Fase 2, observou-se um volume de 0,89 ml ($p > 0,05$). A concentração (Figura 8) variou de 4,60 para $5,03 \times 10^9$ spmtz ml^{-1} ($p > 0,05$) ao longo das fases do estudo. Os valores de volume seminal se aproximaram dos valores considerados normais (1 ml) para carneiros, enquanto as concentrações observadas foram superiores ao intervalo de $1-3 \times 10^9$ spmtz ml^{-1} estabelecido como parâmetro (CBRA, 2013).

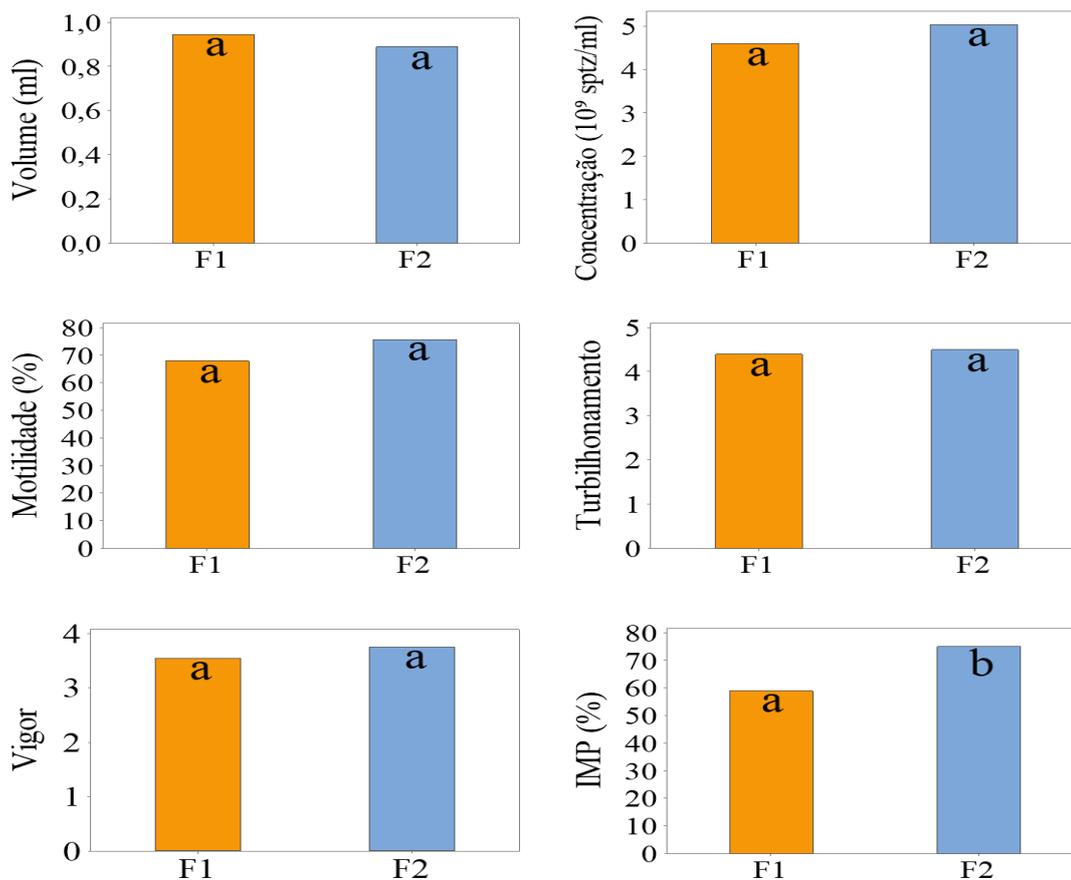


Figura 8. Parâmetros seminais na Fase 1 e na Fase 2.

F1 – Fase 1; F2 – Fase 2; sptz – Espermatozoides; IMP – Integridade da membrana plasmática. Médias com diferentes sobrescritos diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

De acordo com as diretrizes do CBRA (2013), a motilidade espermática ideal para ovinos é de 75%. Durante a Fase 1, essa característica estava em 68%, aumentando para aproximadamente 76% ($p > 0,05$) durante a Fase 2 (Figura 8), atingindo assim o valor mínimo desejado para a espécie.

A variação no turbilhonamento foi mínima (Figura 8), registrando uma variação de apenas 2,22% ($p > 0,05$) entre as fases, com médias consistentemente acima de 4 durante todo o período do estudo. Quanto ao vigor médio, este passou de 3,55 para 3,75 ($p > 0,05$) entre as duas fases, permanecendo ligeiramente acima do valor considerado normal (3) para o sêmen de carneiros, conforme estabelecido pelo CBRA (2013).

Somente a integridade da membrana plasmática (IMP) mostrou uma variação estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$). Durante a Fase 1, apenas uma média de 59% dos espermatozoides apresentava membrana plasmática íntegra, esse número aumentou para 75%

após a Fase 2 (Figura 8), representando um notável incremento na quantidade de espermatozoides em condição de membrana intacta.

3.7 Análise de componentes principais

Na Tabela 4 seguem as principais componentes geradas por meio da análise multivariada para as variáveis fisiológicas (frequência respiratória, temperatura retal, temperatura do pelame e temperatura do globo ocular), temperatura das porções escrotais (TesP, TesM e TesD), associações entre temperatura retal e testicular (VAR1, VAR2 e VAR3) e características seminais (volume, turbilhonamento, motilidade, vigor, concentração e integridade da membrana plasmática) dos carneiros durante o período do estudo.

PC1 e PC2 acumularam uma proporção explicativa do conjunto de variáveis de 60,00%, apresentando autovalor de 5,42 e 4,16, respectivamente, sendo utilizadas seguindo o critério de Kaiser (1958) para autovalores superiores a 1. Lúcio et al. (2016) analisando touros submetidos ao aquecimento escrotal isolado, aplicou a análise multivariada para examinar o conjunto de alterações e interações do esperma, avaliando a importância dos parâmetros do esperma no resultado da fertilização in vitro padrão e no desenvolvimento do embrião, somando uma variância explicada de 65,30%.

Tabela 4. Componentes principais das variáveis fisiológicas, temperaturas escrotais, variações entre temperatura retal e testicular e características seminais.

Variável	PC1	PC2
FR	-0,183	-0,413
TR	-0,253	-0,341
TPEL	-0,215	-0,378
TGO	-0,195	-0,326
TesP	-0,400	0,045
TesM	-0,422	0,068
TesD	-0,400	0,094
VAR1	0,302	-0,271
VAR2	0,329	-0,300
VAR3	0,305	-0,296
VOL	0,029	0,005
TUR	0,076	0,069
MOT	0,017	0,164
VIG	-0,089	0,059
CON	0,055	0,079
IMP	0,104	0,395
Autovalor	5,42	4,16
Proporção	33,90	26,10

FR – Frequência respiratória; TR – Temperatura retal; TesM – Temperatura escrotal medial; TesP – Temperatura escrotal proximal; TesD – Temperatura escrotal distal; TPEL – Temperatura do pelame; TGO – Temperatura do globo ocular; VAR1 – variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular proximal; VAR2 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular medial; e VAR3 - variação entre a temperatura retal e a temperatura testicular distal; MOT – Motilidade; VIG – Vigor; TUR – Turbilhonamento; CON – Concentração; VOL – Volume; IMP - Integridade da membrana plasmática

Observa-se na Figura 9A que PC1 indica uma correlação positiva dos indicadores fisiológicos entre si e entre as temperaturas da superfície escrotal, corroborando com estudo de Alves et al. (2016) que observou uma correlação positiva entre a temperatura retal e a temperatura média da superfície escrotal ($r = 0,17$; $p = 0,01$) e a temperatura média da área dos olhos ($r = 0,59$; $p = 0,0001$), observando também que a frequência respiratória apresentou correlação positiva com a temperatura média da área dos olhos ($r = 0,15$; $p = 0,02$) e com a temperatura retal ($r = 0,21$; $p = 0,002$), mas não apresentou correlação com a temperatura média da superfície escrotal. Por meio de ACP, Amamou et al. (2019) observou correlação positiva

entre respostas fisiológicas (frequência respiratória, temperatura do pelame e temperatura retal) e o ITU, indicando que um aumento da temperatura do ar, leva a um aumento desses traços fisiológicos (frequência respiratória, temperatura do pelame e temperatura retal).

PC1 indica uma correlação negativa entre as temperaturas das porções da superfície escrotal e a integridade da membrana plasmática dos espermatozoides. Esta correlação negativa também é observada (PC2) entre a IMP e o grupo formado entre os indicadores fisiológicos e VAR1, VAR2 e VAR3. Pela Figura 8B, observa-se que os maiores valores desse grupo foram observados na Fase 1, onde a IMP estava prejudicada. Alves et al. (2016), observaram efeitos negativos do aumento da temperatura da superfície escrotal de carneiros sobre a IMP, reduzindo a porcentagem de espermatozoides com a membrana intacta de 58,88 para 49,23%. Já em bovinos, GARCIA-OLIVEROS et al. (2020) observaram redução no número de células com membrana plasmática intacta após 14 dias de indução ao estresse térmico testicular.

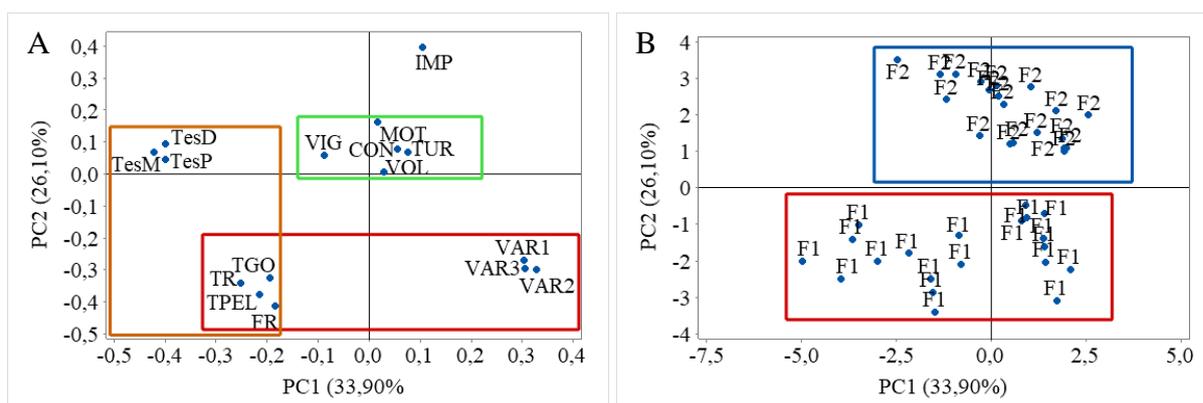


Figura 9. Componentes principais das variáveis fisiológicas, temperatura das porções escrotais, variações entre temperatura retal e testicular e características seminais. (A); Componentes principais dos animais na Fase 1 e na Fase 2 (B).

F1 - Animais na Fase 1; F2 - Animais na Fase 2.

Na Figura 9B, observa-se que os animais na Fase 2 mostraram correlação positiva para integridade da membrana plasmática. A preservação da integridade e funcionalidade da membrana plasmática assume papel fundamental, uma vez que uma membrana ativa, íntegra e funcional é essencial para o processo de fertilização (Brito et al., 2004).

Em bovinos, o período pós-estresse térmico mostrou efeitos negativos do tempo ($P \leq 0,05$), do tratamento ($P = 0,0001$) e da interação tratamento \times tempo ($P = 0,007$) na motilidade dos espermatozoides (GARCIA-OLIVEROS et al., 2020). Pereira et al. (2020), observaram que maiores temperaturas escrotais em bovinos causaram diminuição no vigor e no turbilhamento

após 4 semanas de insulto ($p = 0,001$). Já Júnior et al (2015) observaram que na primeira semana pós aquecimento escrotal houve uma diminuição na concentração, na motilidade e na integridade da membrana plasmática de espermatozoides de seis das cinco raças de ovinos estudadas, com valores decrescentes. Maiores temperaturas escrotais também trouxeram efeitos negativos significativos ($p \leq 0,05$) em cervos, onde foi observado menor volume e motilidade do sêmen, assim como menor IMP dos espermatozoides (YOUSEF et al., 2022). No presente estudo, as características do sêmen, tais como concentração, volume, turbilhonamento, vigor e motilidade, se posicionam no gráfico próximas a origem do gráfico (Figura 9A), indicando que elas não foram responsáveis por explicar uma variância significativa nos dados do estudo em questão, não se associando a nenhum dos dois grupos definidos pela PC1 e corroborando com os resultados da análise de médias.

A análise de componentes principais (Figura 9) permitiu identificar as variáveis preditoras fundamentais para o desenvolvimento dos modelos de regressão múltipla, conforme demonstrado na Tabela 5. Modelos foram criados para caracterizar a integridade da membrana plasmática (IMP), uma característica de qualidade seminal que demonstrou forte correlação com as variáveis monitoradas ao longo do período de estudo.

Tabela 5. Modelos de determinação da integridade da membrana plasmática.

Equação	R ²	valor-p
IMP = -54 - 0,1457 FR + 3,92 TR + 1,41 TesM - 1,86 TPEL - 0,11 TGO	0,681	0,000
IMP = -202 - 0,0522 FR - 9,29 TR - 1,43 TesM - 1,71 TPEL - 0,47 TGO + 13,55 TAR + 4,40 UR + 4,26 TGN	0,740	0,000

IMP – Integridade da membrana plasmática; FR – Frequência respiratória; TR – Temperatura retal; VAR2 – diferença entre a temperatura de núcleo corporal e a testicular medial; TPEL – Temperatura do pelame; TGO – Temperatura do globo ocular; TAR – Temperatura do ar; UR – Umidade relativa

Para os melhores modelos, levando em conta o coeficiente de determinação, o valor-p e a facilidade de obtenção das variáveis preditoras, as temperaturas da região distal e proximal não foram levadas em conta, utilizando-se apenas da temperatura da superfície escrotal na região medial, que por sua vez está altamente correlacionada ($R^2 = 0,99$) com a temperatura média da superfície escrotal, com perda mínima de confiança do modelo. Para o modelo levando em conta apenas os indicadores fisiológicos do animal, o R^2 estimado foi de 0,681, indicando uma correlação de moderada a forte. No segundo modelo, foram adicionadas as

variáveis meteorológicas monitoradas durante o período do experimento, fatores que aumentaram o coeficiente de determinação (0,740), considerado como forte.

4. CONCLUSÕES

Os indicadores fisiológicos, bem como a integridade da membrana plasmática dos espermatozoides dos carneiros demonstraram ser sensíveis ao sistema de resfriamento adiabático evaporativo, apresentando resultados que indicam maior conforto térmico no período de funcionamento do sistema.

Os mapas de krigagem dos valores de temperatura das porções escrotais indicaram que a climatização artificial reduziu a temperatura em todas as porções escrotais analisadas, diminuiu a variabilidade térmica escrotal e aumentou o gradiente de temperatura testicular. A análise de componentes principais foi capaz de identificar as variáveis mais relevantes na caracterização da integridade da membrana plasmática, possibilitando a criação de modelos satisfatórios de regressão para estimar o valor dessa característica seminal.

Com os resultados obtidos, conclui-se que a implementação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo teve um impacto notável na diminuição da temperatura retal, do pelame, do globo ocular e da frequência respiratória dos carneiros Dorper, que, associado a uma menor diferença entre a temperatura de núcleo corporal e testicular, contribuiu de maneira positiva para a integridade da membrana plasmática dos espermatozoides.

5. REFERÊNCIAS

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.

AMAMOU, Hajer et al. Thermotolerance indicators related to production and physiological responses to heat stress of holstein cows. ***Journal of thermal biology***, v. 82, p. 90-98, 2019.

ARFUSO, Francesca et al. Eye surface infrared thermography usefulness as a noninvasive method of measuring stress response in sheep during shearing: Correlations with serum cortisol and rectal temperature values. ***Physiology & Behavior***, v. 250, p. 113781, 2022.

BLEIZGYS, Rolandas et al. Adiabatic Cooling System Working Process Investigation. ***Processes***, v. 11, n. 3, p. 767, 2023.

BONO, Roser et al. Bias, precision, and accuracy of skewness and kurtosis estimators for frequently used continuous distributions. ***Symmetry***, v. 12, n. 1, p. 19, 2019.

BRITO, Leonardo FC et al. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and

effects on semen quality and sperm production. **Theriogenology**, v. 61, n. 2-3, p. 511-528, 2004.

BUFFINGTON, C. S. et al. Black globe humidity comfort index for dairy cows. St. Joseph. **Transactions of the ASAE**, v. 24, p. 0711-0714, 1981.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, D.L.; KARLEN, R.F.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E.; Field Scale Variability of soil properties in central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. AM. J.*, vol. 58, September-October, 1994.

CARABAÑO, M. J. et al. Selecting for heat tolerance. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 62-68, 2019.

CASTELLS, E. et al. Diagnostic imaging techniques of the respiratory tract of sheep. **Small Ruminant Research**, v. 180, p. 112-126, 2019.

COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL – CBRA. Manual para Exame Andrológico e Avaliação de Sêmen Animal. 3. ed. Belo Horizonte, 2013.

COSTA, R. G., QUEIROGA, R. de C. R. E, PEREIRA, R. A. G. Influência do alimento na produção e qualidade do leite de cabra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 307-321, 2009.

COULTER, G. H.; SENGER, P. L.; BAILEY, D. R. C. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. **Reproduction**, v. 84, n. 2, p. 417-423, 1988.

CZEKOSKI, Zilmara Maria Welfer et al. **Termorregulação e comportamento de ovinos Dorper X Santa Inês mantidos em diferentes sistemas de produção em clima subtropical**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DASKIN, A.; YURDAYDIN, N.; OZDEMIR, T. Effects of cryptorchidism on spermatological properties. **Journal of Lalahan Livestock Research Institute (Turkey)**, 1998.

DE OLIVEIRA-JÚNIOR, José Francisco et al. Spatiotemporal analysis of drought and rainfall in Pakistan via Standardized Precipitation Index: homogeneous regions, trend, wavelet, and influence of El Niño-southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 149, n. 1-2, p. 843-862, 2022.

DOS SANTOS, J. et al. Avaliação ultrassonográfica da degeneração testicular causada por insulação escrotal em carneiros. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, n. 2, 2018.

FONSECA, Felipe Napolitano da et al. Automatic prediction of stress in piglets (*Sus Scrofa*) using infrared skin temperature. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p. 105148, 2020.

FONSÊCA, Vinicius de França Carvalho et al. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. **Journal of thermal biology**, v. 84, p. 83-91, 2019.

- FOROUSHANI, Sepehr; AMON, Thomas. A graphical method for assessing the effectiveness of evaporative cooling in naturally ventilated dairy barns. **Biosystems Engineering**, v. 218, p. 23-30, 2022.
- GALAN, E. et al. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. **PloS one**, v. 13, n. 11, p. e0206520, 2018.
- GALÁN, Elena et al. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. **PloS one**, v. 13, n. 11, p. e0206520, 2018.
- GARCIA-OLIVEROS, Laura Nataly et al. Heat stress effects on bovine sperm cells: a chronological approach to early findings. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 1367-1378, 2020.
- GARNER, J. B. et al. Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers. **Animal Production Science**, v. 57, n. 7, p. 1233-1241, 2017.
- GILROY, Christine E.; LITVAK, Matthew K. Relationship between seminal plasma composition and spermatozoa swimming speed and motility in wild and captive shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*). **Aquaculture**, v. 505, p. 217-224, 2019.
- GODYŃ, Dorota et al. Use of different cooling methods in pig facilities to alleviate the effects of heat stress—a review. **Animals**, v. 10, n. 9, p. 1459, 2020.
- GUERRINI, V. H. Food intake of sheep exposed to hot-humid, hot-dry, and cool-humid environments. **American Journal of Veterinary Research**, v. 42, n. 4, p. 658-661, 1981.
- HATEM, Georges et al. Normality testing methods and the importance of skewness and kurtosis in statistical analysis. **BAU Journal-Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 7, 2022.
- HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. **Veterinary research communications**, v. 37, n. 2, p. 91-99, 2013.
- HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., & DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v.5, n.1, p.83-90, 2016.
- HUNTER, Ronald HF; LÓPEZ-GATIUS, Fernando. Temperature gradients in the mammalian ovary and genital tract: A clinical perspective. **European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology**, v. 252, p. 382-386, 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em 26/08/2022.
- INMET. Normais Climatológicas do Brasil. 2024. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 816 p, 1998.

- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 21, n. 2, p. 160- 173, 36, 1972.
- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. II: Real data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, v. 22, n. 1, p. 21- 31, 1973.
- JOY, A. et al. Non-invasive measure of heat stress in sheep using machine learning techniques and infrared thermography. ***Small Ruminant Research***, v. 207, p. 106592, 2022.
- JOY, Aleena et al. Differences in thermoregulatory responses between dorper and second cross lambs to heat stress challenges. In: ***Proceedings***. MDPI AG, 2020. p. 155.
- JÚNIOR, CA Cruz et al. Effects of testicle insulation on seminal traits in rams: preliminary study. ***Small Ruminant Research***, v. 130, p. 157-165, 2015.
- JÚNIOR, CA Cruz et al. Laser and thermographic infrared temperatures associated with heat tolerance in adult rams. ***Small Ruminant Research***, v. 132, p. 86-91, 2015.
- KAHWAGE, Priscila Reis et al. Assessment of body and scrotal thermoregulation and semen quality of hair sheep rams throughout the year in a tropical environment. ***Small Ruminant Research***, v. 160, p. 72-80, 2018.
- KAHWAGE, Priscila Reis et al. High systemic and testicular thermolytic efficiency during heat tolerance test reflects better semen quality in rams of tropical breeds. ***International journal of biometeorology***, v. 61, p. 1819-1829, 2017.
- KAISER, HENRY F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23.3: 187-200, 1958.
- KASTELIC, J. P.; BRITO, L. F. C. Ultrasonography for monitoring reproductive function in the bull. ***Reproduction in Domestic Animals***, v. 47, p. 45-51, 2012.
- KASTELIC, J. P.; COULTER, G. H.; COOK, R. B. Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular, and intraepididymal temperatures in bulls. ***Theriogenology***, v. 44, n. 1, p. 147-152, 1995
- KASTELIC, John P.; COOK, R. Byrne; COULTER, Glenn H. Effects of ambient temperature and scrotal fleece cover on scrotal and testicular temperatures in rams. ***Canadian journal of veterinary research***, v. 63, n. 2, p. 157, 1999.
- KATIYATIYA, C. L.; MUCHENJE, V. Hair coat characteristics and thermophysiological stress response of Nguni and Boran cows raised under hot environmental conditions. ***International journal of biometeorology***, v. 61, n. 12, p. 2183-2194, 2017.
- LOPES, I. et al. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 24, p. 409-414, 2020.
- LPHSI. Livestock and Poultry Heat Stress Indices. Agriculture Engineering Technology Guide. Clemson University, Clemson, SC. USA, 1990.

- LÚCIO, Aline C. et al. Selected sperm traits are simultaneously altered after scrotal heat stress and play specific roles in in vitro fertilization and embryonic development. **Theriogenology**, v. 86, n. 4, p. 924-933, 2016.
- MARINHO, Gabriel Thales Barboza et al. Bioclimatic Zoning for Sheep Farming through Geostatistical Modeling in the State of Pernambuco, Brazil. **Animals**, v. 13, n. 6, p. 1124, 2023.
- MARQUES, J. I. et al. Estimation of Rectal Temperature of Goats Based on Surface Temperature. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 591-598, 2021.
- MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique et al. Thermal gradient of local sheep and goats reared in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 2, p. e3020-e3020, 2023.
- MAURYA, V. P. et al. Biological ability of Malpura rams to counter heat stress challenges and its consequences on production performance in a semi-arid tropical environment. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 3, p. 479-493, 2018.
- MENCHETTI, Laura et al. Effects of reduced space allowance and heat stress on behavior and eye temperature in unweaned lambs: a pilot study. **Animals**, v. 11, n. 12, p. 3464, 2021.
- MENEGASSI, Silvio Renato Oliveira et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. **International journal of biometeorology**, v. 59, p. 357-364, 2015.
- MENGISTU, U. L. et al. Conditions to evaluate differences among individual sheep and goats in resilience to high heat load index. **Small Ruminant Research**, v. 147, p. 89-95, 2017.
- MORRELL, Jane M. Heat stress and bull fertility. **Theriogenology**, v. 153, p. 62-67, 2020.
- MOURA, Ana Beatriz Bossois et al. Differences in the thermal sensitivity and seminal quality of distinct ovine genotypes raised in tropical conditions. **Theriogenology**, v. 123, p. 123-131, 2019.
- NICOLÁS-LÓPEZ, Porfirio et al. Ferulic acid supplementation for 40 days in hair ewe lambs experiencing seasonal heat stress: short-term effects on physiological responses, growth, metabolism, and hematological profile. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-10, 2022.
- PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 558-568, 2012.
- PEREIRA, Gabriel Ribas et al. Effect of scrotal insulation on sperm quality and seminal plasma proteome of Brangus bulls. **Theriogenology**, v. 144, p. 194-203, 2020.
- PINTO, Severino et al. Effect of two cooling frequencies on respiration rate in lactating dairy cows under hot and humid climate conditions. **Ann. Anim. Sci**, 19, 821–834, 2019.
- POLLI, V. A. et al. Carcass traits and meat quality of lambs slaughtered during different seasonal conditions. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 6, p. 1-10, 2022.

- PRAGNA, P. et al. Summer season induced rhythmic alterations in metabolic activities to adapt to heat stress in three indigenous (Osmanabadi, Malabari and Salem Black) goat breeds. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 4, p. 551-565, 2018.
- PULIDO-RODRÍGUEZ, L. F. et al. Effect of solar radiation on thermoregulatory responses of Santa Inês sheep and their crosses with wool and hair Dorper sheep. **Small Ruminant Research**, v. 202, p. 106470, 2021.
- RASHAMOL, V. P. et al. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 3, p. 62-71, 2020.
- REIS, Barbara Roqueto dos et al. Open-Source Wearable Sensors for Behavioral Analysis of Sheep Undergoing Heat Stress. **Applied Sciences**, v. 13, n. 16, p. 9281, 2023.
- RENAUDEAU, D. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.
- RIBEIRO, B. P. V. B. et al. Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. **Journal of Thermal Biology**, v. 93, p. 102678, 2020.
- RIZZOTO, G. et al. Acute mild heat stress alters gene expression in testes and reduces sperm quality in mice. **Theriogenology**, v. 158, p. 375-381, 2020a.
- RIZZOTO, G. et al. Testicular hyperthermia reduces testosterone concentrations and alters gene expression in testes of Nelore bulls. **Theriogenology**, v. 152, p. 64-68, 2020b.
- ROSSI E. S. et al. A influência do estresse térmico na resistência do sêmen ovino (*Ovis Aries*) refrigerado a 4°C. Jornada de Pós-graduação JOIA, Unesp - 2021.
- ROSTAGNO, Horacio Santiago et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais, v. 2, p. 186, 2011.
- SABÉS-ALSINA, M. et al. Relationships between climate and sperm quality in dairy bull semen: A retrospective analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 6, p. 5623-5633, 2019.
- SANTOS, Willyane de Souza et al. Diagnóstico da cadeia produtiva de caprinos e ovinos no Brasil e na região Nordeste. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 7, p. 21283-21303, 2023.
- SEJIAN, V. et al. Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, v. 12, n. s2, p. s431-s444, 2018.
- SEJIAN, V. et al. Adapting sheep production to climate change. In: **Sheep production adapting to climate change**. Springer, Singapore, 2017. p. 1-29.
- SERRANO, Jorge Orlay et al. Effect of short-term radiation stress on physiological and hematological parameters in Pelibuey sheep in Cuba. **Small Ruminant Research**, v. 210, p. 106679, 2022.
- SETCHELL, B. P. The parkes lecture heat and the testis. **Reproduction**, v. 114, n. 2, p. 179-194, 1998.

- SHAHAT, A. M.; RIZZOTO, G.; KASTELIC, J. P. Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. **Theriogenology**, v. 158, p. 84-96, 2020.
- SILVA, C. M. et al. Performance and economic viability of feedlot sheep fed different levels of roughage, concentrate, and water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1595-1605, 2016.
- SILVA, M. V. et al. Spatial modeling via geostatistics and infrared thermography of the skin temperature of dairy cows in a compost barn system in the Brazilian semiarid region. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, p. 100078, 2022.
- SILVA, Marcos Vinícius da et al. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. **Urban Climate**, v. 38, p. 100911, 2021.
- SILVA, R. Â. B. et al. Spatial dependence of udder surface temperature variation in dairy cows with healthy status and mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 2019.
- SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 497-500, 1996.
- SORIO, A. Diagnóstico da Oferta e Demanda de Ovinos e Caprinos para processamento de carne, pele e leite na região central do Tocantins. **Secretaria do desenvolvimento da agricultura e pecuária-Estado do Tocantins**, p. 240, 2017.
- SOUZA, E. D. de. et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 177-184, 2005.
- SUTHERLAND, M. A. et al. Evaluation of infrared thermography as a non-invasive method of measuring the autonomic nervous response in sheep. **PLoS One**, v. 15, n. 5, p. e0233558, 2020.
- TADESSE, Dereje et al. Differentiation of Hair Sheep Breeds Based on the Physiological and Blood Biochemical Changes in Response to Different Stressors Using Multivariate Analysis Techniques. **Animals**, v. 13, n. 16, p. 2643, 2023.
- THOM, E. C. The Discomfort Index Weatherwise 12: 57-61. 1959.
- THORNTON, P. et al. Impacts of heat stress on global cattle production during the 21st century: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 6, n. 3, p. e192-e201, 2022.
- VAN WETTERE, W. H. E. J. et al. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2021.
- Vieira, S. R. Geostatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, F.; Alvarez, V.; Schaefer, C. E. G. R. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.
- YOUSEF, Mohamed S. et al. Exogenous gonadotropin-releasing hormone counteracts the adverse effect of scrotal insulation on testicular functions in bucks. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 7869, 2022.

ZAKERI, F.; MARIETHOZ, G. A review of geostatistical simulation models applied to satellite remote sensing: Methods and applications. **Remote Sensing of Environment**, v. 259, p. 112381, 2021.

ZHANG, C. et al. Application of Infrared Thermography in Livestock Monitoring. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 2, p. 389-399, 2020.