



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

RAQUEL RAFAEL DE FREITAS SILVA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA A PREDIÇÃO DE
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS EM OVINOS**

JUAZEIRO – BA

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

RAQUEL RAFAEL DE FREITAS SILVA

**MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA A PREDIÇÃO DE
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS EM OVINOS**

Dissertação submetida à Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof. D. Sc. Sílvia Helena Nogueira Turco.

Co-orientador: Prof. D. Sc. Dian Lorençoni

JUAZEIRO – BA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S586m Silva, Raquel Rafael de Freitas
Modelagem computacional para a predição de variáveis fisiológicas em ovinos / Raquel Rafael de Freitas Silva. – Juazeiro-BA, 2023.
xiv, 66 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2023.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sílvia Helena Nogueira Turco.

1. Bem-estar animal. 2. Inteligência artificial. 3. Produção animal. 4. Semiárido 5. Pequenos ruminantes 6. Termografia de infravermelho Título. II. Turco, Sílvia Helena Nogueira. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 636.513

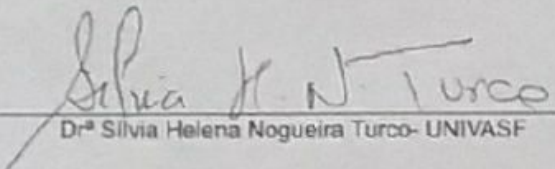
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA

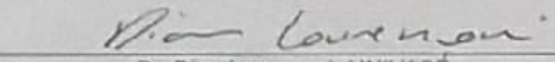
FOLHA DE APROVAÇÃO

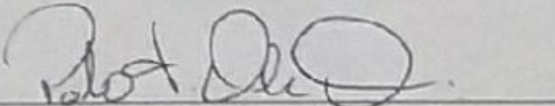
Raquel Rafael de Freitas Silva

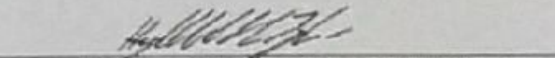
MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA A PREDIÇÃO DE
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS EM OVINOS

Dissertação apresentada como requisito
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco


Dr^a Sílvia Helena Nogueira Turco- UNIVASF


Dr. Dian Lorençon- UNIVASF


Dr. Pablo Teixeira Leal de Oliveira- IF sertão


Dr. Hugo Colombaroli Bonfá-UNIVASF

DEDICATÓRIA

A Deus, pela sua infinita graça e misericórdia em minha vida. A minha avó, Jacy Rosentinha (*in memoriam*), pelo amor incondicional, dedicação e incentivo. À minha família, pelo apoio e confiança.

Dedico este trabalho com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. Agradeço a minha instituição Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola-PPGEA por ter me dado à chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

Aos meus pais, minha família e meus amigos por toda a dedicação e paciência contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradeço aos professores do PPGEA que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial a minha professora e orientadora Dr.^a Sílvia Helena Nogueira Turco e o professor Dr. Dian Lorençoni por todo apoio e incentivos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse.

SILVA, R.R.F. Modelagem computacional para a predição de variáveis fisiológicas em ovinos. 2023.66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

A ovinocultura é uma atividade de grande importância social e econômica para a região nordeste, onde os rebanhos cresceram significativamente nos últimos anos. Composto a grande parte do rebanho Nordestino, os ovinos são criados extensivamente em pastagens com pouca ou nenhuma sombra, podendo levar esses animais a condições de estresse pelo calor, cujos efeitos se fazem sentir tanto na produção quanto na eficiência reprodutiva. Desenvolvimentos de modelos computacionais, associado ao uso da termografia de infravermelho, podem viabilizar o desenvolvimento de sistemas automáticos não invasivos, visando o monitoramento do conforto térmico de animais em tempo real. Com base nesse pressuposto, o objetivo desse estudo foi prever as variáveis fisiológicas dos ovinos utilizando modelagem computacional e termografia de infravermelho. O experimento foi conduzido em um aprisco destinado a caprinos e ovinos localizados no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Para a obtenção dos dados físicos do ambiente, foi utilizado o termômetro de Globo. Para a formação do banco de dados fisiológicos, foram obtidos dados de temperatura retal e temperatura superficial na área ocular, flanco e costela de 18 ovinos, durante 11 dias não consecutivos, duas vezes ao dia. Os modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy* foram desenvolvidos no software MATLAB, tiveram como variáveis de entrada temperaturas do ar e umidade relativa e as variáveis de saída foram temperatura retal, temperatura ocular, temperatura superficial costela e temperatura superficial flanco. Para avaliar o desempenho dos modelos foram realizadas análises de estatísticas entre as respostas previstas e medidas experimentalmente. Com base na comparação entre os resultados gerados pelos modelos e os experimentais, obtiveram-se erro percentual absoluto médio (MAPE) de 0,92%; 2,31%; 4,81%; 6,04% e 0,76%; 1,58%; 3,52%; 3,34% para os modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, respectivamente. Com relação às predições das variáveis fisiológicas, observou-se que os modelos *neuro-fuzzy* apresentaram melhores resultados quando comparados com os modelos *fuzzy*. Conclui-se que os modelos computacionais propostos permitiram estimar, com eficiência, a temperatura retal, temperatura ocular, temperatura superficial flanco e temperatura superficial costela, de ovinos em função da temperatura do ar e umidade relativa. Assim, os modelos estimados podem ser utilizados como ferramenta de controle do ambiente térmico em instalações comerciais de produção.

Palavras-chave:. Bem-estar animal. Inteligência artificial. Produção animal. Semiárido. Pequenos ruminantes. Termografia de infravermelho.

SILVA, R.R.F. Modelagem computacional para a predição de variáveis fisiológicas em ovinos.2023. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

Sheep farming is an activity of great social and economic importance for the northeast region, where herds have grown significantly in recent years. Composing a large part of the Northeastern herd, sheep are reared extensively in pastures with little or no shade, which can lead these animals to conditions of heat stress, whose effects are felt both in production and in reproductive efficiency. Development of computational models, associated with the use of infrared thermography, can enable the development of non-invasive automatic systems, aiming at monitoring the thermal comfort of animals in real time. Based on this assumption, the aim of this study was to predict the physiological variables of sheep using computational modeling and infrared thermography. The experiment was conducted in a sheep pen for goats and sheep located on the Agricultural Sciences Campus of the Federal University of Vale do São Francisco. To obtain the physical data of the environment, a globe thermometer, was used. For the formation of the physiological database, data on rectal temperature and surface temperature in the ocular area, flank and ribs of 18 sheep were obtained, during 11 non-consecutive days, twice a day. The fuzzy and neuro-fuzzy models were developed in the MATLAB software, had as input variables air temperature and relative humidity and the output variables were rectal temperature, eye temperature, rib surface temperature and flank surface temperature. To evaluate the performance of the models, statistical analyzes were performed between the predicted and experimentally measured responses. Based on the comparison between the results generated by the models and the experimental ones, a mean absolute percentage error (APE) of 0.92% was obtained; 2.31%; 4.81%; 6.04% and 0.76%; 1.58%; 3.52%; 3.34% for fuzzy and neuro-fuzzy models, respectively. Regarding the predictions of the physiological variables, it was observed that the neuro-fuzzy models presented better results when compared with the fuzzy models. It is concluded that the proposed computational models allowed the efficient estimation of rectal temperature, ocular temperature, flank surface temperature and rib surface temperature of sheep as a function of air temperature and relative humidity. Thus, the estimated models can be used as a tool to control the thermal environment in commercial production facilities.

Keywords:. Animal welfare. Artificial intelligence. Animal production. Semi-arid. Small ruminants. Infrared thermography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Vista geral, corredor entre as baias, estrutura de cobertura e baia individual.....	32
Figura 2- Anemômetro e termômetro de globo.....	33
Figura 3- Imagem de luz visível e termograma do animal.....	36
Figura 4: funções de pertinência para as variáveis de entrada do modelo <i>fuzzy</i> : (a) umidade relativa (%),(b) temperatura do ar (°C).....	48
Figura 5: funções de pertinência para as variáveis de saída do modelo <i>fuzzy</i> : (a) temperatura retal (°C), (b) temperatura ocular (°C), (c) temperatura superficial flanco (°C), (d) temperatura superficial costela (°C)	48
Figura 6: gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída do modelo <i>fuzzy</i> : (A) temperatura retal (°C), (B) temperatura ocular (°C), (C) temperatura superficial flanco (°C), (D) temperatura superficial costela (°C).....	51
Figura 7: gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída do modelo <i>neuro-fuzzy</i> : (A) temperatura retal (°C), (B) temperatura ocular (°C), (C) temperatura superficial flanco (°C), (D) temperatura superficial costela (°C).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Conjuntos de regras para o modelo <i>fuzzy</i>	37
Tabela 2- Estatística descritiva dos dados meteorológicos registrado no interior da instalação.....	42
Tabela 3- Estatística descritiva dos dados fisiológicos dos animais coletados durante o período experimental.....	46
Tabela 4- Índices estatístico para verificar a adequação do ajuste e acurácia dos modelos <i>fuzzy</i> para a temperatura retal (tr), temperatura ocular (to), temperatura superficial flanco (tsf) e temperatura superficial costela (tsc)	50
Tabela 5- Índices estatístico para verificar a adequação do ajuste e acurácia dos modelos <i>neuro-fuzzy</i> para a temperatura retal (tr), temperatura ocular (to), temperatura superficial flanco (tsf) e temperatura superficial costela (tsc)	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

CTR	Carga térmica radiante ($W.m^{-2}$)
FR	Frequência respiratória (Mov/Min)
H	Entalpia ($kJ.kg\ ar\ seco^{-1}$)
ITGU	Índice de temperatura de globo negro e umidade
ITU	Índice de temperatura e umidade proposto por Thom (1958)
MAE	Erro médio absoluto
MAPE	Erro percentual absoluto médio (%)
MSE	Erro quadrático médio
n	Número de amostra analisadas
NSE	Índice de eficiência de Nash-Sutcliffe
R ²	Coeficiente de determinação
R _g	Radiação solar global
RMSE	Raiz do erro quadrático médio
T _a	Temperatura do ar em (°C)
T _g	Temperatura de globo negro em (°C)
TIV	Termografia de infravermelho
TIVCOmed	Temperatura média de superfície da costela dos animais obtidas com técnica de termografia de infravermelho (°C)
TIVFLmed	Temperatura média de superfície do flanco dos animais obtidas com técnica de termografia de infravermelho (°C)
TIVolmed	Temperatura média de superfície da área ocular dos animais obtidas com técnica de termografia de infravermelho (°C)
TO	Temperatura ocular (°C)

Tpo	Temperatura do ponto de orvalho (°C)
TR	Temperatura retal (°C)
TRM	Temperatura radiante média (K)
TS	Temperatura Superficial
TSc	Temperatura Superficial Costela
TSf	Temperatura Superficial Flanco
Ur	Umidade relativa do ar (%)
Vv	Velocidade do vento (m/s)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVO GERAL	16
1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	16
1.3. HIPÓTESE GERAL	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. OVINOCULTURA.....	17
2.2. BEM-ESTAR ANIMAL	18
2.3. EFEITO DO CLIMA SOBRE A PRODUÇÃO ANIMAL	20
2.4. INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS	22
2.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA.....	24
2.5.1. Na ambiência e conforto térmico	25
2.6. SISTEMAS INTELIGENTES	28
3. MATERIAIS E METODOS	30
3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO	30
3.2. CARACTERÍSTICA DO APRISCO.....	31
3.3. COLETAS DE DADOS	32
3.3.1. Caracterização do ambiente climático	32
3.3.2. Monitoramento dos animais	35
3.4. MODELO COMPUTACIONAL PARA PREDIZER AS VARIÁVEIS.....	36
3.4.1. Desenvolvimento de sistema fuzzy	37
3.4.2. Desenvolvimento de sistema neuro-fuzzy.....	39
3.5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS.....	41
4.2. SISTEMA <i>FUZZY</i>	48
4.3. SISTEMA NEURO- <i>FUZZY</i>	52

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
6. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A ovinocultura é uma atividade de grande importância social e econômica para a região nordeste, compondo aproximadamente 14,5 milhões de ovinos, correspondendo a 70,4% dos rebanhos do país. O Nordeste destaca-se como um dos maiores produtores de ovinos, apresentando um grande significado econômico para região (IBGE, 2022).

No entanto, na região nordeste, temperaturas ambientais elevadas são verificadas durante grande parte do ano, o que pode implicar em exposição dos animais ao estresse pelo calor, possibilitando alterações do desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (ENCARNAÇÃO, 1989).

A avaliação do conforto térmico pode ser feita pelo monitoramento das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais, mas além de demandar tempo e pessoas especializadas para coletar os dados, estes métodos tradicionais utilizados podem ser invasivos e estressantes para os animais. Uma ferramenta não invasiva que tem sido explorada é a termografia de infravermelho, que consiste em uma técnica capaz de captar o calor emitido pela superfície dos animais, por meio de câmeras termográficas (PACHECO, 2019).

Assim, os dados gerados por esses sensores infravermelhos podem alimentar modelos preditivos, modelos prescritivos ou algoritmos de inteligência artificial, para gerar informações e novas abordagens que possam auxiliar o processo de tomada de decisão por parte dos técnicos e dos produtores rurais em tempo real (GARCIA *et al.*, 2021). Neste contexto, está se utilizando a inteligência artificial, como a lógica *fuzzy*, e *neuro-fuzzy* que combina as variáveis de entrada obtida pela termografia de infravermelha (TIV) com as variáveis climáticas e as saídas geradas auxiliam na estimativa de nível de conforto ou desconforto térmico dos animais com intuito de monitorar o ambiente de produção (SOUZA *et al.*, 2014).

Entretanto, a adoção desses modelos computacionais nos sistemas de produção de pequenos ruminantes é bastante limitada devido à falta de informações e acesso às tecnologias. Este fato ratifica a importância de grandes investimentos em pesquisas, bem como em trabalhos que expõem a aplicação na prática dessas tecnologias nos sistemas de produção de ovinos e caprinos (BORGES *et al.*, 2019).

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho foi estimar as variáveis fisiológicas dos ovinos utilizando modelagem computacional e termografia de infravermelho.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Coletar os dados físicos do ambiente e de dados fisiológicos do animal para geração de banco de dados que poderão ser utilizados na modelagem matemática da teoria *fuzzy*;
- Desenvolver e validar modelo computacional, baseado na lógica *fuzzy* para prever a temperatura retal, temperatura ocular e temperatura superficial;
- Desenvolver e validar modelo computacional, baseado na lógica *neuro-fuzzy* para prever a temperatura retal, temperatura ocular e temperatura superficial;
- Analisar os índices bioclimáticos, as variáveis meteorológicas e as variáveis fisiológicas no interior do aprisco, destinado a ovino, no município de Petrolina-PE.

1.3. HIPÓTESE GERAL

É possível mensurar as variáveis fisiológicas da espécie ovina baseados em modelos computacionais como a lógica *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, utilizando dados meteorológicos e Termografia Infravermelha. Adicionalmente, espera-se trazer vantagens como: eliminar coletas invasivas aos animais e etapas de processamento de informações que demandam tempo e pessoas especializadas para a interpretação de dados; melhorar a acurácia da investigação do estresse térmico com a combinação de avaliações meteorológica e fisiológica e; possibilidade de automação com as tecnologias baseadas em modelos computacionais e termografia de infravermelho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OVINOCULTURA

A criação de ovinos está em crescimento no país, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2022), o Brasil possui um rebanho efetivo de ovinos de aproximadamente 20,6 milhões de cabeças no ano de 2020, distribuídas por todo o país.

A região nordeste possui aproximadamente 14,5 milhões de ovinos, correspondendo a 70,4% dos rebanhos do país. O estado da Bahia concentra os maiores plantais dessas espécies com um pouco mais de quatro milhões, seguido pelo Pernambuco, com mais de três milhões de cabeça e Ceará com 2,4 milhões de animais. Assim, o Nordeste destaca-se como um dos maiores produtores de ovinos para a produção de carne, apresentando um grande significado econômico para região IBGE (2022).

As projeções indicam que os rebanhos de ovinos continuam com a tendência de crescimento do efetivo do rebanho no país, como vem ocorrendo ao longo dos últimos oito anos, a carne ovina tem ocupado espaços relevantes, com o surgimento de casas de carnes especializadas em ovinos, a valorização da gastronomia regional, que tem cada vez mais ampliado o consumo de produtos diferenciados e de qualidade reconhecida, tornando uma proteína animal cada vez mais presente na mesa do consumidor. O rebanho de ovinos no Brasil mostra crescimento contínuo, a região Nordeste destaca-se com o melhor desempenho. Este crescimento do rebanho na região Nordeste é liderado pelo estado da Bahia, que consolida sua posição como principal estado produtor de ovinos. Em nível de município, Casa Nova (BA) mantém a posição de maior produtor nacional de ovinos. Diante deste cenário, a ovinocultura se mostra como atividades em franco crescimento no país (MAGALHÃES *et al.*,2020).

A ovinocultura possui um grande potencial para ampliação da produção de carne e de seus derivados, além de incremento na participação do setor industrial no segmento de calçados e vestuários que valorizam produtos regionalizados, com matéria-prima oriunda das peles dos animais. O agronegócio da ovinocultura e da caprinocultura, tem espaço para melhorar substancialmente a competitividade no

setor de produção de proteína animal, frente a outras cadeias produtivas mais organizadas (LUCENA *et al.*, 2018).

2.2 BEM-ESTAR ANIMAL

Existem várias definições de bem-estar animal, uma delas é proposta por BROOM (1986) que afirma: “bem-estar de um indivíduo é seu estado em relação às tentativas de se adaptar ao seu ambiente”, ou seja, é a forma como o animal se relaciona com o ambiente em que vive, de acordo com a facilidade ou dificuldade de adaptar-se e demonstrar conforto no ambiente em que está inserido, incluindo seu estado físico e mental.

Segundo BRAMBELL (1965 *apud* (AZEVEDO *et al.*,2019) o bem-estar de um animal, seja em fazenda, em trânsito, no mercado ou em um local de abate deve ser considerado em termos de “cinco liberdades”, são elas:

1. Livre de fome e sede - acesso à água fresca e a alimentação;
2. Livre de desconforto - proporcionando ao animal um ambiente adequado, incluindo abrigo e uma área confortável para descanso;
3. Livre de dor, ferimentos e doenças - por prevenção ou diagnóstico e tratamento rápido;
4. Livre para expressar seu comportamento natural - proporcionando espaço suficiente e instalações adequadas;
5. Livre de medo e angústia - assegurando condições e tratamento que evitem sofrimento mental.

Portanto, estudo dos efeitos climático sobre o comportamento fisiológicos dos animais é de extrema importância para o conhecimento da sua real capacidade adaptativa. Os fatores climáticos acarretam respostas fisiológicas e comportamentais marcantes nos ovinos, e, quando essas condições atingem graus elevados de estresse, acaba impactando fortemente nos índices de produtividade. É necessário adequar práticas de manejo, instalações e alimentação de tal forma que permitam melhores condições de bem-estar dos animais frente a condições climáticas estressantes, bem como selecionar biótipos mais adaptados as características

climáticas nas quais serão explorados, buscando permitir que expressem todo seu potencial produtivo (POLLI *et al.*,2020).

O sistema de criação adotado deve proporcionar aos animais um ambiente rico e que permita a expressão de seus comportamentos naturais, contribuindo para um grau de bem-estar bom dos animais. Também, um planejamento nutricional e sanitário adequado, juntamente com a genética e o clima. Quando esses pilares são atendidos, conseqüentemente aumentam-se os índices produtivos e maximiza-se um retorno econômico nas propriedades (SILVA *et al.*,2019).

Os animais de produção apresentam necessidades distintas, tais como: ambiente, ambiência, instalações, manejo, nutrição, entre outros meios que venham a proporcionar bem-estar para estes, desde a fase de cria, transporte e abate. Ressaltando a necessidade de oferta de conforto térmico, devido à variação climática e umidade de cada região, considerando a espécie animal, genética e seu desempenho de produção. Assim o animal não passa por sofrimentos e pode expressar seu potencial de produção e reprodução, além de atender a exigência do mercado externo (AZEVEDO *et al.*,2019)

Nesse contexto, visando à exploração do potencial máximo genético dos animais, tanto no aspecto produtivo quanto no reprodutivo, diversos estudos com enfoque nos fatores ambientais vêm sendo desenvolvidos. A prevenção ao estresse térmico deve considerar a relação entre o animal e o ambiente, de modo que não somente a escolha da raça torne-se primordial, mas, sobretudo a arquitetura do sistema e a adoção de estratégias de manejo que contribuam para a ambientação do animal e seu bem-estar. A incorporação de tecnologias inovadoras para monitoramento dos animais e de seu ambiente de produção deve ser buscada, pois permite a geração de dados e análise instantânea, favorecendo a tomada de decisões em tempo real por parte dos técnicos e dos produtores rurais, aumentando assim o desempenho produtivo e melhorando qualidade dos produtos finais (GARCIA *et al.*,2021).

2.3. EFEITOS DO CLIMA SOBRE A PRODUÇÃO ANIMAL

O nordeste brasileiro abrange uma área de 1,54 milhão de quilômetros quadrados, equivalente a 18% do território nacional. Nessa região, está inserida a zona Semiárida brasileira, estendendo-se do norte do Piauí ao norte de Minas Gerais. O semiárido brasileiro ocupa uma área de 969.589 km² (BRASIL, 2005).

A referida região apresenta um clima complexo; conseqüentemente, é possível encontrar algumas mesorregiões geográficas muito particulares, cujos climas vão do super úmido das zonas litorâneas ao clima seco na região Semiárida. Esse fenômeno gera frequente balanço hídrico negativo resultante das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2.800 horas por ano, temperaturas médias anuais de 23 a 27°C, evaporação de 2.000 mm por ano e umidade relativa do ar média em torno de 50% (BRITO *et al.*, 2007).

Temperaturas ambientais elevadas são verificadas durante grande parte do ano na Região Nordeste, o que pode implicar em exposição dos animais ao estresse crônico, possibilitando desequilíbrio endócrino e, conseqüentemente, alterações do desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (ENCARNAÇÃO, 1989).

O estresse climático é um dos fatores mais prejudiciais que compromete o crescimento, produção, desempenho reprodutivo, quantidade e qualidade dos produtos (carne, leite e entre outros), além disso, torna os animais mais vulneráveis a doenças e até mesmo a morte. O estresse térmico ocorre quando os animais não conseguem dissipar uma quantidade adequada de calor para manter o equilíbrio térmico do corpo. Temperatura, umidade e energia radiante são os principais fatores ambientais que contribuem para o estresse térmico dos animais (BERIHULAY *et al.*, 2019).

A exposição dos animais ao estresse térmico, afeta negativamente as funções biológicas, refletindo no comprometimento de sua saúde, produção e reprodução. O estresse calórico exerce efeitos negativos na produtividade animal afetando o consumo de água, ingestão de ração, produção e qualidade do leite, qualidade da carne e na reprodução e fertilidade (SARANGI, 2018).

A pecuária desempenha um papel importante na economia global. Os efeitos das mudanças climáticas não se limitam apenas à produção agrícola, mas também

afetam a produção pecuária, por exemplo, redução na produção de leite e carne. O estresse por calor é um dos principais fatores que influencia negativamente a produção pecuária. No cenário de mudanças climáticas, a temperatura e umidade relativa elevada causam estresse térmico nas espécies, e afetam negativamente sua produtividade e seu potencial reprodutivo (SEJIAN *et al.*, 2018).

Muitos pesquisadores têm utilizado índices climáticos como ferramentas de análise e monitoramento do ambiente voltado ao conforto térmico dos animais. Nesse sentido, esses índices, agregando dois ou mais elementos climáticos, têm sido utilizados para avaliar o impacto dos fatores ambientais sobre a produção animal (NEVES, 2009), visando seu bem-estar e produtividade.

O primeiro índice de conforto térmico foi desenvolvido por Thom (1958), como um índice de conforto térmico para humanos. Posteriormente, este índice foi adaptado para descrever o conforto térmico de animais e leva em consideração como base dados temperatura ambiente e umidade relativa do ar (DA SILVA, 2000).

Outros índices também utilizados para avaliar o conforto térmico animal é o Índice de Temperatura de Globo Negro e umidade - ITGU, desenvolvido por Buffington *et al.* (1981), para vacas leiteiras e a carga térmica radiante -CTR que expressa a sensação térmica dos animais em relação ao ambiente, proposto por Campos (1986). O ITGU e CTR são mais indicados para sistemas de criação extensiva ou mesmo confinados. Por esse motivo, o ITGU e CTR, que dependem da temperatura do globo negro- T_g são mais recomendados para mensuração climática do ambiente. A T_g é medida por um termômetro de globo negro, capaz de inferir sobre a homeotérmica dos animais, mede a quantidade de calor presente no ambiente, e quando instalado no local dos animais é capaz de mensurar a energia oriunda da radiação solar global (R_g), velocidade do vento (V_v), umidade relativa do ar (U_r) e temperatura do ar (T_a) (SANTOS e CABRAL, 2021).

2.4. INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

O ambiente influencia diretamente no conforto e bem-estar dos animais. Animais sob estresse térmico podem apresentar alterações comportamentais e alterações em seus parâmetros fisiológicos, como por exemplo, aumento da

temperatura corporal e aumento dos movimentos respiratórios e cardíacos (CECCHIN *et al.*, 2019).

Diante disto, com o objetivo de avaliar os efeitos das diferentes temperaturas (25,7; 29,4 e 33,4°C) com as respostas fisiológicas em caprinos mestiços Miranda *et al.* (2018) concluíram que as variáveis fisiológicas apresentaram efeito diretamente proporcional com a temperatura do ambiente, verificando que na temperatura de 33,4°C, a frequência respiratória, temperatura superficial e temperatura retal foram mais elevada. Assim como, em temperatura elevada os animais consumiram menos alimento e obtiveram menos peso, reforçando o estado de desconforto térmico com a elevação da temperatura ambiental.

Mascarenhas *et al.* (2021) tendo como objetivo avaliar as variáveis fisiológicas e adaptabilidade de ovinos em câmara bioclimática sob três condições: 20°C, 25°C e 35°C, concluíram que houve elevação da temperatura superficial, frequência respiratória e frequência cardíaca com o aumento da temperatura ambiente. Os testes indicaram que os animais nas temperaturas de 20 e 25°C estavam com adaptação climática, entretanto, quando submetidos a 35°C, mostraram-se fora da zona de conforto térmico.

Analisando a temperatura retal e temperatura superficial em ovinos, da Silva Borges *et al.* (2020) observaram que as maiores médias dessas variáveis fisiológicas foram encontradas nos horários das 11:00 às 11:30, 14:30 às 15:00 e das 17:00 às 17:30. Essas maiores médias provavelmente podem ser justificadas pelo aumento da temperatura do ar, assim como, nesses mesmos horários do dia, foram observados também menores médias para a umidade relativa do ar, visto que essa associação de alta temperatura e baixa umidade do ar influencia diretamente nas perdas de calor por evaporação. Denotando que fatores externos, como as variáveis climáticas temperatura e umidade influenciaram diretamente esses parâmetros fisiológicos.

Com o objetivo de avaliar e comparar as variáveis fisiológicas de três grupos genéticos de ovinos com relação ao ambiente no semiárido brasileiro, foi observado que no período da tarde ocorreram maiores valores da temperatura do ar enquanto que a umidade relativa apresentou valores mais baixos, nesse mesmo período foi observado também que as variáveis fisiológicas estudadas temperatura superficial retal e frequência respiratória apresentaram maiores valores. Isso se deve a um

aumento da temperatura ambiente à tarde, que causa uma diminuição no gradiente térmico entre o animal e o meio, promovendo menos eficiência na dissipação de calor sensível. Assim, o animal começa a perder calor principalmente através de forma latente aumentando a frequência respiratória (DANTAS *et al.*, 2019).

De Medeiros *et al.* (2019) com o objetivo de avaliar as correlações das variáveis meteorológicas com as características termorreguladoras de ovinos demonstraram que houve correlações positivas entre os parâmetros fisiológicos e as variáveis meteorológicas, relacionando o estresse térmico com o aumento da frequência respiratória, indicando que os animais dessa pesquisa sofreram estresse térmico por calor quando em confinamento no turno da tarde, ocorrendo perda de energia para dissipar o calor por esses animais. O que torna indispensável à utilização de técnicas de manejo adequadas para evitar os efeitos do calor sobre os ovinos confinados no semiárido do nordeste brasileiro.

Craesmeyer *et al.* (2017), relatam que em sistemas extensivos a oferta de pastagem com disponibilidade de água, áreas com sombra e abrigos auxiliam no controle da temperatura corpórea e resultam em uma combinação de fatores que interferem no desempenho e comportamento animal de maneira benéfica.

Assim, a temperatura da superfície corporal do ovino pode variar dentro de um intervalo de 38,72 a 39,44 (DA SILVA 2000), sem indicar que o animal está sofrendo estresse pelo calor.

Silanikove (2000) concluiu que a frequência respiratória pode quantificar a severidade do estresse térmico em ruminantes, em que a frequência respiratória de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 120 resp.min⁻¹ caracterizam estresse baixo, médio a alto, respectivamente. Já temperatura retal de ovinos pode variar de 38,3 a 39,9°C sem apresentar estresse térmico (MARAI *et al.*, 2007).

Dessa forma, as variáveis fisiológicas são parâmetros utilizados para medir o estresse térmico em animais e funcionam como indicadores homeostáticos para dissipação de calor, por evaporação respiratória e cutânea (PANTOJA *et al.*, 2017). Entretanto, essas medidas são feitas de forma invasiva ou são impraticáveis para a produção de larga escala. Neste sentido, a termografia infravermelho (TIV) pode ser definida como uma técnica não invasiva de mapeamento térmico de um corpo, além disso, é utilizada para inferir sobre o bem-estar e conforto térmico de animais de produção (MONTANHOLI *et al.*, 2013; MENEGASSI *et al.*, 2018).

2.5 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

Termografia infravermelho vem ganhando espaço dentro da produção animal, principalmente por ser um método não invasivo permitindo uma leitura remota da distribuição da temperatura do animal sem contato físico. A tecnologia de termografia de infravermelho é uma ferramenta que vem sendo utilizada em diversas pesquisas, e se mostra altamente eficaz e segura (VIEIRA *et.al*, 2022).

Métodos não invasivos podem ser úteis para obtenção de dados confiáveis sem interferir diretamente com os organismos, evitando reações de estresse. As análises de imagens termográficas introduzidas nos estudos para o acompanhamento da produção animal têm permitido aos pesquisadores, o aprofundamento no conhecimento dos fatores que interferem no ambiente de criação, levando à maior precisão nas correções e ajustes desses sistemas. A tendência é que a atividade de produção animal se torne uma atividade mais precisa e eficiente nos aspectos produtivos, sanitários e bem-estar com o uso de novas tecnologias (BARACHO e TOLON, 2022).

É uma tecnologia que pode ser aplicada nos mais diversos campos da ciência animal, principalmente no que diz respeito ao bem-estar animal, pode e deve ser usada nos sistemas de produção animal como uma alternativa aos métodos tradicionais de obtenção de temperaturas superficiais, trazendo mais precisão, exatidão e praticidade na manipulação de dados (ROBERTO e SOUZA, 2014).

A termografia infravermelha tem recebido maior atenção no desenvolvimento de pesquisas nas áreas de: diagnóstico de doenças, na identificação de animais mais eficientes, na avaliação de questões relacionadas à ambiência, bem-estar animal e entre outras (LEÃO *et al.*, 2015).

2.5.1. Na ambiência e conforto térmico

Com a importância que o bem-estar animal tem assumido nos mais diversos campos da ciência animal e nas pesquisas científicas da área, tornou-se imprescindível à utilização de técnicas e equipamentos não invasivos que levam em

consideração o conforto animal, destacando, assim, o uso da termografia de infravermelho (TIV) (LEÃO *et al.*, 2015).

A Termografia de infravermelho pode ser um método útil sem contato para medir a temperatura central de suínos em condições de granja, sendo valioso para uma avaliação não invasiva do estado fisiológico e para monitorar o bem-estar dos animais. Além disso, as câmeras termográficas parecem ser confiáveis em condições de campo e fornece resultados instantâneos, já que o software para análise de dados em tempo real é incorporado. Portanto, esse método sem contato economizaria tempo e reduziria o estresse dos animais (BARBIERI *et al.*, 2021).

Nesse contexto, com o objetivo de determinar a relação entre medidas de termografia infravermelha da superfície ocular em situações de estresse em leitões na pós desmama Pulido-Rodríguez *et al.* (2017) concluíram que a temperatura de superfície ocular obtida por meio da termografia infravermelha pode ser um indicador de temperatura corporal e estado de bem-estar de leitões em fase de creche, além de ser um método não invasivo e de rápida mensuração.

É importante verificar também a condição dos animais em toda a cadeia de abastecimento, a fim de garantir o seu bem-estar e obter, ao final do processo de abate, carcaças e carnes de alta qualidade. Esses procedimentos devem ser realizados de forma rápida e por meios não invasivos. Portanto, com o objetivo de analisar os eventos estressantes que os suínos apresentam e discutir o uso da termografia infravermelha (TVI) como ferramenta alternativa para medir o estresse com base nas mudanças de temperatura na superfície da pele do animal Flores-Peinado *et al.* (2020) concluíram que a termografia infravermelha pode ser usada como estratégia para melhorar o bem-estar animal durante etapas ante morte (carga, transporte, descarga) à chegada ao matadouro, evitando fadiga e mortes, e diminuir os impactos negativos na qualidade da carne. Portanto, esta técnica permitirá aos pesquisadores melhorar o bem-estar animal durante toda a cadeia de abastecimento.

Para testar a temperatura de infravermelha como uma ferramenta não invasiva para explorar os níveis de estresse associados a um sistema de criação semi-intensivo para caprinos de corte. Os autores concluíram que os caprinos de corte criados em sistemas agrícolas semi-intensivos apresentaram níveis de estresse na presença de seres humanos, esse nível de estresse, poderiam ser adequadamente

avaliados através da temperatura ocular medido por termografia de infravermelha. Isso mostra que esta ferramenta é útil, fácil e é um método não invasivo para explorar os níveis de estresse em caprinos (BARTOLOMÉ *et al.*,2019).

Com o objetivo de determinar se a termografia infravermelha é uma ferramenta útil para o reconhecimento de vacas leiteiras em estado de estresse térmico, bem como identificar a melhor região do animal a ser avaliada para esse reconhecimento Daltro *et al.* (2017) concluíram que foram encontradas correlações positiva entre os parâmetros fisiológico e as medidas termográficas sendo que a área ideal encontrada para determinar o conforto térmico em vacas é a região do úbere, em comparação com outras deste experimento. A termografia é um bom indicador de conforto térmico e é eficaz para determinar vacas estressadas pelo calor.

A TIV é uma alternativa precisa para ajudar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e do impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal, bem como na avaliação da adaptabilidade das diferentes espécies e raças aos mais variados sistemas de produção utilizados. Neste contexto, o desenvolvimento de modelos computacionais para a interpretação de dados meteorológico e fisiológico, associado ao uso da termografia de infravermelho, pode viabilizar o desenvolvimento de sistema automático não invasivo, visando o monitoramento do conforto térmico de animais em tempo real e conseqüentemente, contribuindo para evitar perda na saúde e na produtividade do rebanho (PACHECO, 2019).

A termografia de infravermelha é uma tecnologia que tem sido usada para monitorar saúde e bem-estar animal e, por meio da automação, tem potencial para ser integrado em fazenda, neste contexto Lowe *et al.* (2020) relatam o desenvolvimento e validação de um algoritmo com a capacidade de detectar e analisar automaticamente as regiões dos olhos e bochechas a partir de imagens térmicas coletado de bezerros, o que é um passo significativo para a integração da (TIV) em sistemas automatizados. Com o suporte de algoritmos, a (TIV) pode ser integrado a sistemas automatizados nas fazendas, podendo ser utilizada como um método não invasivo de monitoramento da saúde e bem-estar animal.

A termografia de infravermelho fornece um método rápido e não invasivo sem contato, para medir a temperatura da superfície corporal dos animais determinando seu estado de saúde e bem-estar. Os termogramas gerados em tempo real criam grandes volumes de dados e quando analisados pode fornecer aos agricultores informações para tomar decisões e melhorar a gestão. Muita informação tem sido publicada sobre os benefícios da (TIV) para melhorar a produtividade. Além disso, a produtividade pode ser muito melhorada com um sistema de ponta a ponta que pode processar grande quantidade de dados térmicos e fornecer informações precisas para auxiliar na decisão. Os algoritmos fornecem um meio de processar dados com rapidez e precisão para criar modelos que aprendem a identificar padrões em dados que podem ser usados para previsões futuras. Portanto, a integração da termografia de infravermelho e algoritmos fornece uma ferramenta poderosa para melhorar a produção pecuária e para apoiar a tomada de decisões (OLASEHINDE, 2021).

Essas novas tecnológicas estão surgindo, proporcionarão aos produtores e pesquisadores, tomando de decisões rápidas, necessária e individualizada na área de ambiência, bem-estar animal e etologia, mesmo em grandes rebanhos. A estas tecnologias está se utilizando outra ferramenta que é a inteligência artificial, como a lógica *fuzzy*, rede neurais artificiais e neuro-*fuzzy* no auxílio para o estabelecimento de critérios mais objetivos na tomada de decisões em sistemas de produção animal (TURCO *et al.*,2019).

2.6 SISTEMAS INTELIGENTES

A lógica de *fuzzy* constitui uma técnica da inteligência artificial que incorpora a forma humana de pensar, conhecida como sistemas especialistas inteligentes. É utilizada para resolver problemas em diversas áreas do conhecimento, para modelar processos mediante os conhecimentos subjetivos de especialistas, que são traduzidos por meio de uma base de conhecimento constituída de regras lógicas condicionais. Sistemas *fuzzy*, são sistemas capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil interpretação computacional. A lógica *fuzzy* é uma ferramenta interessante na tomada de decisão, possibilitando, assim, o controle do ambiente térmico no interior das instalações.

Dessa maneira, a lógica *fuzzy* modela as incertezas por meio do emprego de conjuntos *fuzzy* e de um sistema de regras (FERREIRA *et al.*, 2009).

As redes *neuro-fuzzy*, aproveitam a capacidade de aprendizado das redes neurais artificiais que são sistemas computacionais compostos por vários elementos (neurônios) que se inter-relacionam de forma conexa, inspirados no funcionamento de neurônios biológicos e utilizam os sistemas *fuzzy* para processar o conhecimento de forma clara. Dessa maneira, surgem os sistemas híbridos *neuro-fuzzy*, os quais têm por finalidade otimizar o aprendizado e treinamento das redes neurais artificiais e permitir trabalhar com as incertezas e imprecisões dos dados avaliados (FERREIRA *et al.*, 2009).

Diversos trabalhos têm aplicado à lógica *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para estimar conforto térmico de animais de produção (aves: JARDIM *et al.*, 2020, LOURENÇONI *et al.*, 2016; suínos: DAMASCENO *et al.*, 2019). Como exemplo, Jardim *et al.* (2020) com o objetivo de estimar o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica de Radiação (CTR) através de modelagem bioclimática para frangos de corte concluíram que as utilizações de modelos matemáticos auxiliaram de forma eficiente na predição das condições de conforto para criação de aves de corte no município de Petrolina, PE. Já Lourençoni *et al.* (2016) com o objetivo de desenvolver um modelo *neuro-fuzzy* para estimar a temperatura de globo negro a partir da temperatura de bulbo seco e umidade relativa, concluíram que o modelo *neuro-fuzzy* desenvolvido permite estimar a temperatura de globo negro, podendo auxiliar na tomada de decisões no controle do ambiente interno dos galpões avícolas. Damasceno *et al.* (2019) desenvolveram um modelo *fuzzy* para gerar um sistema de tomada de decisão sobre o conforto térmico e desempenho produtivo e respostas fisiológicas de leitões criados em maternidade com sistema de aquecimento solar, o modelo *fuzzy* desenvolvido foi adequado para prever esses índices de desempenho, com baixo desvio padrão e alta correlação com os dados medidos durante a realização do estudo de campo. Podendo ser utilizado como ferramenta na tomada de decisão de mudança de ambiente térmico, evitando perdas e proporcionando melhores índices de produção.

Com o objetivo de estudar os efeitos das curvas de pertinência na modelagem *fuzzy* em frangos de corte criado em diferentes sistemas de produções comerciais concluíram que curvas usadas no desenvolvimento de sistemas *fuzzy* fornecem

respostas adequadas para prever a ingestão média diária de alimentos, ganho de peso, conversão alimentar e índice de eficiência (LOURENÇONI *et al.*, 2019a).

Abreu *et al.* (2019) com objetivo de avaliar e prever, por meio de modelo *fuzzy*, a temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico. Os autores concluíram que o modelo *fuzzy* desenvolvido foi adequado para subsidiar a tomada de decisão quanto ao estresse termico, fornecendo valores de desvios padrão e erros percentuais baixos.

Com o objetivo de apresentar um modelo *fuzzy*, para a predição do desempenho produtivo e respostas fisiológicas de ovinos da raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas do ar e consumindo água com crescentes níveis de salinidade, Leite *et al.* (2022) concluíram que a modelagem *fuzzy*, mostrou-se uma ferramenta confiável na mensuração das condições fisiológicas e produtivas dos ovinos Morada Nova, quando submetidos a condições de estresse térmico.

Rezende *et al.* (2022b) com o objetivo de desenvolver um modelo preditivo do diagnóstico de mastite subclínica em função de temperaturas médias de superfície do úbere obtidas por meio da câmera termográfica, os autores concluíram que tal modelo apresentou alta eficiência por predizer o diagnóstico da mastite com alta precisão, mitigando custo e tempo necessário para a realização das análises clínicas

Nascimento *et al.* (2011), por sua vez, usou imagens termográficas infravermelhas para o registro dos dados de temperaturas superficiais das penas e da pele, e o grau de empenamento das aves. Nesse sentido, determinou um índice de conforto térmico para as aves baseada na lógica *fuzzy*.

Sousa *et al.* (2014) também usou termografia de infravermelho e desenvolveu um classificador baseado em lógica *fuzzy*, que integra variáveis ambientais e fisiológicas de bovinos de corte para determinar o nível de conforto térmico que permite a avaliação e controle do ambiente.

Já Pacheco (2019), para estimar o nível de conforto térmico em vacas de leite (Holandesas) utilizou rede neural artificial para predizer a frequência respiratória e a temperatura retal através do uso da termografia de infravermelho. Com o objetivo de avaliar a aplicação da termografia de infravermelho para estimar a temperatura retal de mestiços da raça Boer Marques *et al.* (2021) afirmam que é possível estimar a temperatura retal de cabras com precisão, com base nas temperaturas da superfície do globo ocular, cabeça, ombro e posterior dos animais.

Lins *et al.* (2021a) propõem um modelo de lógica *fuzzy* capaz de prever a temperatura ocular de bovinos de corte por meio de termografia infravermelha. Assim, concluíram que o modelo proposto permitiu estimar com precisão a temperatura ocular de bovinos de corte em pastejo, auxiliando na tomada de decisão para melhor bem-estar animal.

Como objetivo de desenvolver um modelo neuro-*fuzzy* para prever as temperaturas do globo ocular e da crista de galinhas poedeiras com base nas condições ambientais (temperatura de bulbo seco e umidade relativa) por meio da termografia de infravermelho Lins *et al.* (2021b) concluíram que os modelos neuro-*fuzzy* propostos permitem estimar com precisão a temperatura do globo ocular e a temperatura da crista do frango de duas linhagens de galinhas poedeiras criadas em aviários convencionais, auxiliando assim na tomada de decisões para melhorar o bem-estar animal

No entanto, os trabalhos que utilizam sistema inteligente para estimar variáveis fisiológicas em ovinos são escassos na literatura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido em três etapas. A primeira foi o processo de aquisição e análise de dados (fotos termográficas, frequência respiratória, temperatura retal, temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do globo negro e velocidade do vento). Na segunda etapa foram desenvolvidos os modelos *fuzzy* e neuro-*fuzzy*. A última etapa consistiu em realizar avaliação do desempenho e validação dos modelos estimados pela a lógica *fuzzy* e neuro-*fuzzy*, a partir da comparação dos valores reais e dos valores “ajustados” pelo modelo.

3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em um aprisco destinado a caprinos e ovinos localizados no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, situados na área destinada à produção animal da universidade, no município de Petrolina-PE, está localizado a 09°19'28''S e 40°33'34''W, com altitude média de 393 m e índice pluviométrico anual do ano de 2021 de 519,9 mm, segundo estação meteorológica automática de Petrolina – PE. Apresenta clima tropical

semiárido, tipo BshW, seco e quente, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger. Este município encontra-se distante 721 Km da capital.

O experimento utilizou 18 animais ovinos mestiços sem raça definida, machos inteiros, com uma média de seis meses de idade e oriundos de rebanhos característicos de sistemas de produção da região do Sub-médio do São Francisco, em um período experimental de 11 dias não consecutivos. Os animais foram identificados e colocados em baias individuais, providas de bebedouros e comedouros. Todo o procedimento realizado durante este experimento foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), sob o protocolo CEUA nº 5391070619.

3.2. CARACTERÍSTICA DO APRISCO

O aprisco cujo experimento foi realizado apresenta as seguintes características construtivas: orientação Leste-Oeste, dotada de piso de cimento, em nível do solo, cobertura com estrutura de aço e telha de cerâmica com inclinação de 25%, pé direito de 3,0m acrescido de 0,39m da estrutura de aço e baias individuais de 2,05m x 1,0m. As paredes das baias são de alvenaria com 1,30m de altura. O aprisco é todo cercado por uma mureta de alvenaria com altura de 1,30m que fica a uma distância de 1,50m das baias nas laterais do aprisco e 2,15m de distância nas extremidades, formando corredor interno em volta de todo o aprisco. Este aprisco apresenta largura de 9,9 m, comprimento de 28,9 m e área total de 286,1 m² (Figura 1).

Figura 1- Vista geral, corredor entre as baías, estrutura da cobertura e baía individual.



Fonte: Autor, (2021).

3.3. COLETAS DE DADOS

3.3.1. Caracterização do ambiente climático

Para obtenção dos dados físicos do ambiente, as variáveis ambientais temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (U_r), temperatura de globo negro (T_g) e velocidade do vento (V_v) foram coletadas em dois horários específicos, as 09:00h e 15:00h, no mês de junho do ano de 2021 durante 11 dias não consecutivos. O equipamento utilizado para o registro de dados da velocidade do ar foi o anemômetro da marca Politerm, modelo AN-3090 com faixa de registro com escala 0,4 – 30,0 resoluções de 0,01 e exatidão + (3% + 0,2 m/s) de leitura. Para as medidas de temperatura, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro foi utilizado o termômetro de Globo, modelo ITWTG2000 da marca Instruthemp, com faixa de

medição do globo de 0 a 80°C e exatidão do sensor do globo $\pm 1^\circ\text{C}$ (ambientes internos) e $\pm 1.5^\circ\text{C}$ (ambientes externos) (Figura 2).

Figura 2- Anemômetro e Termômetro de globo.



Fonte: Autor, (2021).

Com os dados climáticos obtidos foram calculados os seguintes índices de conforto térmico: Índice de Temperatura e Umidade – ITU; Índice de Carga Térmica Radiante - CTR; Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade– ITGU e Entalpia (H). Estes índices são definidos pelas equações de (1) a (5):

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi calculado utilizando a equação proposta por Thom (1958):

$$\text{ITU} = T_a + 0,36T_{po} + 41,5 \quad (1)$$

Sendo:

ITU = Índice de Temperatura e Umidade;

T_a = Temperatura do ar ($^\circ\text{C}$);

T_{po} = Temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$).

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) foi determinado pela expressão proposta por Buffington *et al.* (1981):

$$\text{ITGU} = T_g + 0,36T_{po} + 41,5 \quad (2)$$

Sendo:

ITGU = Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade;

Tg = Temperatura de globo negro (°C);

Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

A Carga Térmica Radiante (CTR) indicada por Campos (1986) foi calculada pela equação de Stefan-Boltzmann, conforme proposto por (SOUZA, 2002):

$$CTR = \sigma(TRM)^4 \quad (3)$$

Sendo:

CTR= Carga térmica radiante (W.m⁻²);

σ = Constante de Stefan Boltzmann (5,67x10⁻⁸W.m⁻². K⁻⁴);

TRM = Temperatura Radiante Média (K). Esta é a temperatura de uma circunvizinhança considerada uniformemente negra, de modo a eliminar o efeito de reflexão, com o qual um corpo (globo negro) troca energia de forma semelhante ao ambiente atual considerado (BOND e KELLY, 1955).

A TMR foi expressa pela equação 4:

$$TMR = 100[2,51 * (Vv)^{0,5} * (Tg - Ta) + \left(\frac{Tg}{100}\right)^4]^{1/4} \quad (4)$$

Sendo:

Vv = Velocidade do vento (m/s);

Tg = Temperatura de globo negro (K);

Ta = Temperatura do ar (K).

A Entalpia foi calculada pela equação proposta por Rodrigues et al. (2010) onde:

$$h = 1,006.t + \frac{UR}{PB} 10^{\left(\frac{7,5t}{273,3+t}\right)}. (71,28 + 0,052t) \text{ Eq. (6)}$$

Sendo:

h = Entalpia ($\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$);

t = Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$);

UR = Umidade Relativa do ar (%);

PB = Pressão barométrica local (mmHg).

3.3.2. Monitoramento dos animais

As variáveis fisiológicas frequência respiratória, temperatura retal e temperatura superficial foram registradas às 9:00 e 15:00 horas, em onze dias não consecutivos ao longo do experimento. A frequência respiratória (FR) foi tomada pela contagem dos movimentos respiratórios em movimentos por minuto controlados pela observação do flanco, contando-se o número de movimentos durante 15 segundos e o valor obtido multiplicado por quatro para se calcular a frequência respiratória por minuto.

A temperatura retal (TR) foi mensurada nos horários citados e determinada através de um termômetro clínico veterinário, com escala de até 44°C , o termômetro foi introduzido diretamente no reto do animal, com o bulbo junto à mucosa, permanecendo por um período de dois minutos e o resultado expresso em graus centígrados.

A temperatura superficial dos animais foi mensurada através de câmera termográfica modelo FLIR-T62101, onde coletou-se imagens do corpo inteiro no lado esquerdo a uma distância de 2 metros e emissividade 0,95, as imagens foram posteriormente transmitidas ao software FLIR tools que forneceu os perfis termográficos dos animais estudados.

No software foram analisadas as temperaturas de superfície corporais da região ocular, costela e flanco (Figura 3). As regiões foram escolhidas por se tratarem de áreas corporais que favorecem as trocas térmicas, demonstradas em estudos anteriores (MARTELLO *et al.*, 2010; 2016; SALLES *et al.*; 2016; SOUZA *et al.*, 2018).

Figura 3- Imagem de luz visível e Termograma do animal.



Fonte: Autor, (2021).

3.4. MODELO COMPUTACIONAL PARA PREDIZER AS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS

Foram desenvolvidos modelos computacionais, baseado na lógica *fuzzy* e *neuro-fuzzy*. As variáveis fisiológicas: temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO) temperatura superficial costela (TSc) e temperatura superficial flanco (TSf) do animal foram escolhidas como saída do modelo (Variável predita), pois trata de variáveis fisiológicas importantes para caracterizar o estado de conforto térmico dos animais.

As variáveis escolhidas para comporem a entrada do modelo *fuzzy* e *neuro-fuzzy* foram as variáveis climáticas: temperaturas do ar (T_a) e umidade relativas (U_r). Variáveis climáticas que exercem forte influência sobre o desempenho animal.

3.4.1. Desenvolvimento do sistema *fuzzy*

Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, o modelo *fuzzy* prediz as variáveis de saída temperatura retal (TR) temperatura ocular (TO) temperatura superficial costela (TSc) e temperatura superficial flanco (TSf).

O modelo *fuzzy* foi elaborado considerando as orientações e os parâmetros de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura superficial e temperatura retal apresentado pelos autores citados na revisão bibliográfica acima.

As proposições *fuzzy* foram apresentadas na forma se-e-então, totalizando um conjunto de nove regras (tabela 1). As regras foram definidas na forma de sentenças linguísticas com base nos dados coletado experimentalmente e elaborada com o auxílio de especialistas da área. A metodologia proposta por Cornelissen *et al.* (2002) e empregado por Yanagi Junior *et al.* (2012) e Lourençoni *et al.* (2019b) foi aplicado para escolher os especialistas e, considerando que ambas as variáveis de entrada possuem influência no conforto e desempenho dos ovinos, foram atribuídos pesos de fator de ponderação igual a um para todas as regras.

TABELA 1: CONJUNTOS DE REGRAS PARA O MODELO *FUZZY*

Regras	Variável de saída temperatura retal (°C)
1	Se (Ta é frio)e (Ur é baixa) então (TR é baixa)
2	Se (Ta é frio)e (Ur é ideal) então (TR é baixa)
3	Se (Ta é frio)e (Ur é alta) então (TR é baixa)
4	Se (Ta é ideal)e (Ur é baixa) então (TR é ideal)
5	Se (Ta é ideal)e (Ur é ideal) então (TR é ideal)
6	Se (Ta é ideal)e (Ur é alta) então (TR é ideal)
7	Se (Ta é calor)e (Ur é baixa) então (TR é alta)
8	Se (Ta é calor)e (Ur é ideal) então (TR é alta)
9	Se (Ta é calor)e (Ur é alta) então (TR é alta)
	Variável de saída temperatura ocular (°C)
1	Se (Ta é frio)e (Ur é baixa) então (TO é baixa)
2	Se (Ta é frio)e (Ur é ideal) então (TO é baixa)
3	Se (Ta é frio)e (Ur é alta) então (TO é baixa)
4	Se (Ta é ideal)e (Ur é baixa) então (TO é ideal)
5	Se (Ta é ideal)e (Ur é ideal) então (TO é ideal)
6	Se (Ta é ideal)e (Ur é alta) então (TO é ideal)
7	Se (Ta é calor)e (Ur é baixa) então (TO é alta)
8	Se (Ta é calor)e (Ur é ideal) então (TO é alta)
9	Se (Ta é calor)e (Ur é alta) então (TO é alta)

Variável de saída temperatura superficial flanco (°C)	
1	Se (Ta é frio)e (Ur é baixa) então (TSf é baixa)
2	Se (Ta é frio)e (Ur é ideal) então (TSf é baixa)
3	Se (Ta é frio)e (Ur é alta) então (TSf é baixa)
4	Se (Ta é ideal)e (Ur é baixa) então (TSf é ideal)
5	Se (Ta é ideal)e (Ur é ideal) então (TSf é ideal)
6	Se (Ta é ideal)e (Ur é alta) então (TSf é ideal)
7	Se (Ta é calor)e (Ur é baixa) então (TSf é alta)
8	Se (Ta é calor)e (Ur é ideal) então (TSf é alta)
9	Se (Ta é calor)e (Ur é alta) então (TSf é alta)
Variável de saída temperatura superficial costela (°C)	
1	Se (Ta é frio)e (Ur é baixa) então (TSc é baixa)
2	Se (Ta é frio)e (Ur é ideal) então (TSc é baixa)
3	Se (Ta é frio)e (Ur é alta) então (TSc é baixa)
4	Se (Ta é ideal)e (Ur é baixa) então (TSc é ideal)
5	Se (Ta é ideal)e (Ur é ideal) então (TSc é ideal)
6	Se (Ta é ideal)e (Ur é alta) então (TSc é ideal)
7	Se (Ta é calor)e (Ur é baixa) então (TSc é alta)
8	Se (Ta é calor)e (Ur é ideal) então (TSc é alta)
9	Se (Ta é calor)e (Ur é alta) então (TSc é alta)

O modelo baseado na lógica *fuzzy* foi construído utilizando o software MATLAB® 6.5, sendo utilizado o método de inferência *fuzzy* de Mamdani (AMENDOLA & SOUZA, 2004) que, como resposta, traz um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência através do operador mínimo e em seguida pela superposição das regras por meio do operador máximo.

A defuzificação foi realizada utilizando-se o método do Centro de Gravidade (Centróide ou Centro de Área), que considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy*, originado pela inferência, em valor numérico, conforme proposto por Amendola & Souza (2004).

3.4.2. Desenvolvimento do sistema neuro-fuzzy

Os modelos baseados em neuro-*fuzzy*, foram desenvolvidos, ajustados e validados a partir do banco de dados coletado no aprisco. Temperaturas do ar (T_a) e umidade relativas (U_r) foram usados como variáveis de entrada, temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO) temperatura superficial costela (TSc) e temperatura superficial flanco (TSf) foram definidas como variáveis de saída, variáveis a ser preditas.

Para cada conjunto de dados, três subgrupos (treinamento, validação e teste) foram designados para desenvolver o sistema neuro-*fuzzy*, sendo 70% do conjunto usado para treinamento e 30% para validação e testes. De um total de 396 conjuntos de dados, 277 dados foram utilizados para o treinamento da rede e 119 para a validação e testes.

O sistema neuro-*fuzzy* foi derivado do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno. Nesse sistema, as disposições de entrada e saída são baseadas em regras; portanto, as respostas são elaboradas por funções por partes (não *fuzzy*) (Takagi & Sugeno, 1985).

Para o desenvolvimento dos modelos e simulações foi utilizado o software Matlab® *Fuzzy Toolbox*®, software onde toda a modelagem foi elaborada. Diferentes configurações foram utilizadas para o desenvolvimento de vários modelos neuro-*fuzzy*. Os tipos de funções de relevância (Gaussiana, triangular e trapezoidal), número de estações de treinamento e métodos de otimização (retropropagação ou híbrido) foram testados. Com base nos testes, foi selecionado o modelo com menor erro de treinamento e sem erros internos de saída em seus conjuntos.

3.5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Todos os dados coletados foram organizados na planilha eletrônica e analisados estatisticamente por meio do software Excel. Primeiro foi feita estatística descritivas (número de amostra, média, desvio padrão da amostra, valores máximos e mínimos) dos dados fisiológicos, climáticos e dos índices de conforto térmicos.

Na etapa da validação, para testar o desempenho dos modelos, foram utilizados alguns indicadores estatísticos tais como: erro médio absoluto (MAE); erro percentual absoluto médio (MAPE); erro quadrático médio (MSE); raiz do erro quadrático médio (RMSE); índice de eficiência (NSE) desenvolvido por Nash & Sutcliffe (1970), gráfico de distribuição dos resíduos.

Estes índices servem, então, para avaliar o desempenho do modelo estimado, através da comparação entre os dados medidos e os preditos pelo modelo *fuzzy* e neuro-*fuzzy*. Estes indicadores de desempenhos são definidos pelas equações de (6) a (10):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| * 100 \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (9)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

Onde P_i é o valor predito pelo o modelo; O_i é o valor observado; n é o número total de elementos e \bar{O} é a média dos valores observados.

Os modelos que apresentam melhores desempenhos são aqueles que apresentam os menores valores de erro médio absoluto (MAE), erro quadrático médio (MSE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). São índices frequentemente usados na verificação da acurácia dos modelos numéricos, os valores devem ser mais próximos de zero possível (HALLAK & PEREIRA FILHO, 2011).

O erro percentual absoluto médio (MAPE) é calculado através da diferença entre valores estimados e reais e equivale às previsões, quanto menor for o MAPE melhor será a adequação do modelo, e conseqüentemente, a previsão.

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual quando comparado com a variação dos dados de medição. O índice varia entre $-\infty$ a 1, e quanto maior o valor, melhor performance do modelo (FERRIGO,2014).

A análise gráfica dos resíduos é fundamental na determinação de um modelo, mesmo que as medias de precisão do ajustamento sejam boas indicadoras, visto que podem ocorrer erros tendenciados em algumas amplitudes de classes na variável resposta (CAMPOS et al., 2013). Os resíduos consistem na distribuição dos valores amostrais calculado com a diferença entre o observado e o estimado do método preditivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E METEOROLÓGICAS

A estatística descritiva dos dados meteorológicos (tabela 2) indica que valor médio da Temperatura do ar (Ta) registrado durante todo o experimento foi 28,03°C, variando de 23,40 a 34,60°C. Se considerarmos o índice de conforto térmico para ovinos e caprinos, recomendados por Baêta e Souza (2010), 20 °C a 30 °C pode-se inferir que a temperatura média do ar proporcionou conforto térmico aos animais.

TABELA 2- ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS METEOROLÓGICOS E ÍNDICES CLÍMATICOS REGISTRADO NO INTERIOR DA INSTALAÇÃO

Variáveis	n	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Ta	44	28,03	3,08	34,60	23,40
Ur	44	52,50	12,15	75,00	30,60
Tg	44	28,76	3,32	35,90	24,20
Vv	44	2,25	1,06	4,85	0,80
ITU	44	81,85	3,51	89,78	75,86
CTR	44	488,16	42,04	636,44	430,84
ITGU	44	82,58	3,66	90,64	77,40
H	44	53,95	1,66	58,08	51,47

Legenda: Ta-temperatura do ar; Ur- umidade relativa; Tg-temperatura de globo; Vv- velocidade do vento; ITU-índice de temperatura e umidade; CTR- carga térmica radiante; ITGU-índice de temperatura de globo negro e umidade; H- entalpia.

No entanto a temperatura máxima ultrapassa a zona de conforto térmico, além disso, está acima da temperatura crítica para caprinos e ovinos que segundo Miranda *et al.* (2018), é de 33,4 °C, através de estudo para avaliar os efeitos das diferentes temperaturas (25,7; 29,4 e 33,4°C) em câmaras climáticas, os autores concluíram que na maior temperatura os animais consumiram menos alimento e obtiveram menos peso, observaram também a redução da eficiência de conversão dos alimentos em tecido corporal e gordura, reforçando o estado de desconforto térmico com a elevação da temperatura ambiental.

Confirmando as recomendações estabelecidas por Baêta e Souza (2010), Mascarenhas *et al.* (2021), com objetivo de avaliar as variáveis fisiológicas e adaptabilidade de ovinos em câmara bioclimática sob três condições: 20°C, 25°C e 35°C, concluíram que os animais nas temperaturas de 20 e 25°C estavam com adaptação climática, entretanto, quando submetidos a 35°C, mostraram-se fora da zona de conforto térmico necessitando aumentar o esforço fisiológico para a manutenção da homeotermia.

A umidade relativa (Ur) variou de 30,60 a 75% sendo importante destacar que Baêta e Sousa (2010) citam que a umidade relativa ideal para a criação de animais domésticos deve estar entre 50 e 70%. Em ambiente de temperatura muito elevada, tanto o excesso como a carência de umidade serão prejudiciais (ROBERTO, 2012). Quanto maior a umidade relativa do ar aliada a altas temperaturas causam estresse térmico nas espécies, e afetam negativamente sua produtividade e seu potencial reprodutivo (SEJIAN *et al.*, 2018).

O valor médio da umidade relativa de 52,50% apresentou-se dentro da zona de conforto térmico para ovinos relatado pelo os autores Baêta e Souza (2010). Em trabalho realizado por (PANTOJA *et al.*,2017) para avaliar a zona de conforto térmico em ovinos por meio de medições da temperatura, umidade relativa e respostas fisiológicas durante a feira agropecuária de Santarém encontraram valores médios da umidade relativa 61,37%. Portanto, o valor encontrado pelo os autores foi superior ao deste trabalho.

Os valores dos índices climáticos ITU, ITGU, CTR e H calculado durante o experimento estão descritos na tabela 2. O ITU variou de 75,86 a 89,78, apresentando assim, situação que iria de conforto a perigo, se compararmos com os valores de ITU apresentados por Silanikove e Koluman (2015), que determinaram para cabras,

valores de ITU abaixo de 80 indicando como condição normal (sem estresse), entre 80 e 85 são considerados condições de alerta (possibilidade de estresses), entre 85 e 90 indicando condições de perigo (animais em estresses), e acima de 90 constitui uma condições extrema, o que pode acarretar na morte dos animais. Mas deve-se salientar que existem fontes de variação a respeito desses valores, como a espécie, a raça, sexo, ambiente exposto e o estado fisiológico dos animais. Os resultados obtidos nesta pesquisa diferem daqueles encontrados por (LINS *et al.*,2020) que avaliaram a adaptabilidade de ovinos de diferentes raças as condições climáticas do semiárido e encontraram valores de ITU variando de 68,30 a 75,30 no período seco e 70,20 a 79,70 em período chuvoso e Mendes *et al.* (2017), observando ovinos da raça Dorper em Arcoverde, PE, região também localizada no semiárido brasileiro, o ITU variou de 68,5 a 81,4.

Neiva *et. al.* (2004), ao estudarem a influência do estresse climático sobre o desempenho produtivo e as respostas fisiológicas de ovinos da raça Santa Inês em confinamento, encontraram dentro das instalações valores de ITU de 81,1 e 82,3 na sombra e sol, respectivamente, e afirmaram que os ovinos mostraram-se sensíveis ao estresse ambiental, uma vez que apresentaram menor desempenho produtivo quando mantidos ao sol, não atingindo o ganho de peso máximo, mesmo se alimentados com dietas com alta concentração de nutrientes. O clima tropical quente e úmido, característico da região litorânea do Ceará, proporciona condições críticas para o conforto dos animais, evidenciadas pelos valores do índice de temperatura e umidade. O que está de acordo com a classificação descrita por Silanikove e Koluman (2015).

O ITU médios foi 81,85, (tabela 2) apresentando situação de alerta, de acordo com a classificação de Silanikove e Koluman (2015). Este resultado foi bem próximo do obtido por Leitão *et al.* (2013) que encontrou para ovinos das raças Santa Inês em Juazeiro-BA um ITU médio de 81,6.

O valor médio do ITGU foi 82,54 variando de 77,40 a 90,64, não há uma classificação precisa do ITGU para caprinos e ovinos, entretanto, diversos trabalhos científicos têm sido realizados com o intuito de observar o comportamento destes animais sob diferentes condições ambientais, o que permite identificar quais os valores ideais e estressantes destes índices para diferentes raças de caprinos e ovinos.

Souza (2010), em pesquisas realizadas no Brasil, observou que há correlação positiva do ITGU com a temperatura retal e a frequência respiratória de ovinos e caprinos, o qual constatou que o valor de ITGU igual a 83 pode indicar uma condição de estresse médio-alto para ovinos. O resultado obtido nesta pesquisa indica que o ITGU médio apresentou condições de conforto para ovinos, no entanto, o valor de ITGU máximo esteve acima de 83, provocando, possivelmente condições estressantes ao animal citado.

Outro estudo realizado por Borges *et al.* (2020), visando avaliar as respostas fisiológicas de ovinos da raça Dorper criados em condições climáticas de Meio-Norte do Brasil, indicaram valor médio de ITGU de 86,75. Estes autores afirmaram uma situação de emergência revelando o alto estresse térmico proporcionado pelo ambiente aos animais, desencadeando alterações nos parâmetros fisiológicos, com exceção da temperatura retal que apresentou uma média dentro dos limites normais para a espécie, as frequências respiratórias e cardíacas dos animais estudados estavam fora dos limites considerados normais para ovinos. Dantas *et al.* (2019), visando avaliar e comparar as variáveis fisiológicas de três grupos genéticos de ovinos com relação ao ambiente e à dieta no semiárido brasileiro, ou seja, eles observaram valores de ITGU de 88,3 para o período da manhã e de 91,8 para o período da tarde, e concluíram que as condições ambientais nos dois turnos expõem os animais, mesmo criados em confinamento, a uma condição de alto estresse com um aumento significativo da frequência respiratória. Confirmado assim as recomendações estabelecidas Souza (2010).

Este estudo indica que os resultados obtidos na presente pesquisa evidenciam que a instalação estudada pode apresentar estresse térmico na espécie ovina, pois apresenta um ITGU máximo acima do recomendado por Souza (2010).

Com relação aos dados da carga térmica radiante (CTR), a Tabela 2 evidencia que, o valor médio foi 488,16 W.m⁻² variando de 430,84 a 639,44 W.m⁻². Em trabalhos realizados por Golçaves *et al.* (2017), para analisar os índices bioclimáticos: índice de temperatura e umidade de globo negro e carga térmica radiante em fazenda de ovinos Santa Inês, com e sem cobertura, observaram CTR máxima de 956,2 e 887,3 W.m⁻² em ambientes descoberto e coberto respectivamente. Portanto, em ambos os ambientes, os valores encontrados foram superiores aos deste trabalho.

Oliveira *et al.* (2005), ao estudarem os parâmetros fisiológicos e produtivos e os índices de conforto térmico em ovinos da raça Santa Inês, coberto com telha de barro, no município de São João do Carira, observaram CTR de 556,9 e 596,0 W.m⁻² manhã e tarde respectivamente. Os autores concluíram que apesar da elevação significativa da carga térmica, no período da tarde o ganho de peso dos animais foi satisfatório durante o período do experimento, mostrando que os valores da CTR não interferiram no ganho de peso. Portanto, no turno da tarde, o valor encontrado foi próximo à carga térmica radiante máxima deste trabalho.

Na tabela 2 estão descritos o valor médio da entalpia 53,95 kJ.kg ar seco⁻¹, variando entre 51,47 a 58,08 kJ.kg ar seco⁻¹. Vieira *et al.* (2015), estabeleceram faixas para valores de entalpia para caprinos indicam situações confortáveis ou não, e de acordo com estes autores, a faixa de conforto do índice de entalpia para caprinos situa-se entre 42,0 e 70,1 kJ.kg ar seco⁻¹. Portanto, a instalação, estudada, apresentou valor de entalpia dentro da faixa considerada confortável.

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram observados por Gonçalves (2015), em uma instalação destinada à produção de caprinos e ovinos localizada no Semiárido Pernambucano na estação de inverno, encontrou, valor de entalpia variando entre 50,6 a 55,7 kJ.kg ar seco⁻¹.

Valores de entalpia superiores aos encontrados neste trabalho foram obtidos por Czekoski (2018), em experimento realizado com cordeiro mestiças (Doper x Santa Inês) em clima subtropical. Este estudo foi desenvolvido na Unidade de ensino pesquisa e extensão de ovino caprinocultura- UNEPE da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os valores de entalpia observados variaram entre 65,1 e 74,6 kJ.kg ar seco⁻¹, e 68,5 e 75,0 kJ.kg ar seco⁻¹, em dois sistemas de criação: silvipastoril (SSP) e pleno sol (PS) respectivamente.

A estatística descritiva dos dados fisiológicos (tabela 3) indica que valor médio da frequência respiratório (FR) registrado durante todo o experimento foi 30,67 mov/min variando de 20 a 48 mov/min. Estes valores estão abaixo de 60mov/min que caracteriza estresse baixo para a espécie ovina segundo Silanikove (2000).

TABELA 3- ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS FISIOLÓGICOS DOS ANIMAIS COLETADO DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL

Variáveis	n	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
TR	396	39,15	0,47	40,50	38,00
FR	396	30,67	6,10	48,00	20,00
TIVFLmed	396	32,48	2,37	37,70	26,50
TIVCOmed	396	32,77	2,37	38,40	26,50
TIVOLmed	396	36,44	1,33	39,60	25,00

Legenda: TR- temperatura retal; FR- frequência respiratória; TIVFLmed- temperatura média superficial do flanco obtida com técnica de termografia de infravermelho; TIVCOmed- temperatura média superficial da costela obtida com técnica de termografia de infravermelho; TIVOLmed- temperatura média superficial ocular obtida com técnica de termografia de infravermelho.

Mascarenhas *et al.* (2021), como objetivo de avaliar as variáveis fisiológicas e adaptabilidade de ovinos em câmara bioclimática sob três condições: 20°C, 25°C e 35°C, concluíram que na temperatura de 25°C a frequência respiratória foi de 30,9 mov/min., portanto, o valor encontrado foi parecido com a frequência respiratória média deste trabalho. Na temperatura de 35°C encontraram frequência respiratória de 56,7 mov/min, o resultado encontrado pelos autores foi superior à frequência respiratória máxima deste estudo. Os autores concluíram que na temperatura mais elevada (35°C) os animais utilizaram mecanismos de perda de calor para o ambiente, a fim de mantê-los em homeotermia demonstrando desconforto térmico. Portanto os animais dessa pesquisa estavam em conforto térmicos. O que está de acordo com a classificação descrita por Silanikove (2000).

Em relação à média da temperatura retal (TR), o valor 39,15°C está dentro da faixa de conforto térmico indicado por Marai *et al.* (2007), que afirmam que a temperatura retal de ovinos pode variar de 38,3 a 39,9°C sem apresentar estresse térmico. Esse valor está bem próximo do resultado encontrado por Medeiros *et al.* (2019) com objetivo de avaliar as correlações das variáveis meteorológicas com as características termorreguladoras de ovinos confinados no semiárido do Nordeste brasileiro encontraram temperatura retal de 39,32 no período da tarde.

A temperatura retal variou de 38,0 a 40,50°C, de acordo com Marai *et al.* (2007), a temperatura retal máxima estar acima da faixa de conforto térmico. Miranda *et al.* (2018) com o objetivo de avaliar os efeitos das diferentes temperaturas (25,7; 29,4

e 33,4°C) em câmara climática nas respostas fisiológicas e de desempenho em caprinos, observaram que a temperatura retal máxima foi 39,5°C na temperatura ambiente de 33,4°C, os animais não apresentaram desconforto térmico. Os autores afirmam que os animais só se encontrariam em desconforto quando a temperatura ambiente elevasse à 40°C, onde os animais apresentariam uma temperatura retal média de 40,0°C. Indicando que os animais desse experimento apresentaram algum nível de estresse térmico, pois a temperatura retal máxima está acima do recomendado. Confirmando as recomendações estabelecidas por Marai *et. al.* (2007).

A temperatura média de superfície da área ocular obtida por termografia de infravermelho (TIVOLmed), apresentou média de 36,44°C que é maior que as médias de temperatura registrada por outras regiões corporais: temperatura média de superfície do flanco (TIVFLmed) 32,48°C e temperatura média de superfície da costela (TIVCOMed) 32,77°C (tabela 3). Segundo Pacheco (2019), uma possível explicação para essa diferença de temperatura pode ser a quantidade de pelos, que é maior nas outras regiões em comparação com a área ocular. Os pelos podem favorecer o acúmulo de sujeira e umidade o que pode interferir nas trocas de calor entre os animais e o ambiente e impedir que a câmera capte medidas mais próximas da pele do animal. A área ocular também é uma região que apresenta maior irrigação sanguínea superficial e, não sendo coberta por pelos favorece a obtenção mais precisa da temperatura da pele nessa região. Neste sentido, as imagens de TIVOLmed ofereceram medidas mais estáveis de temperatura, com menor desvio padrão (1,33) comparada com as demais regiões corporais.

A temperatura superficial máxima da região corporal do flanco, costela e olho do animal foram 37,70,38,40 e 39,60 °C respectivamente, se considerarmos limite de conforto térmico para ovinos, recomendados por Da Silva (2000), A temperatura da superfície corporal do ovino pode variar dentro de um intervalo de 38,72 a 39,44°C, sem indicar que o animal está sofrendo estresse pelo calor. Pode-se inferir que a temperatura superficial proporcionou conforto térmico aos animais nas três regiões corporais.

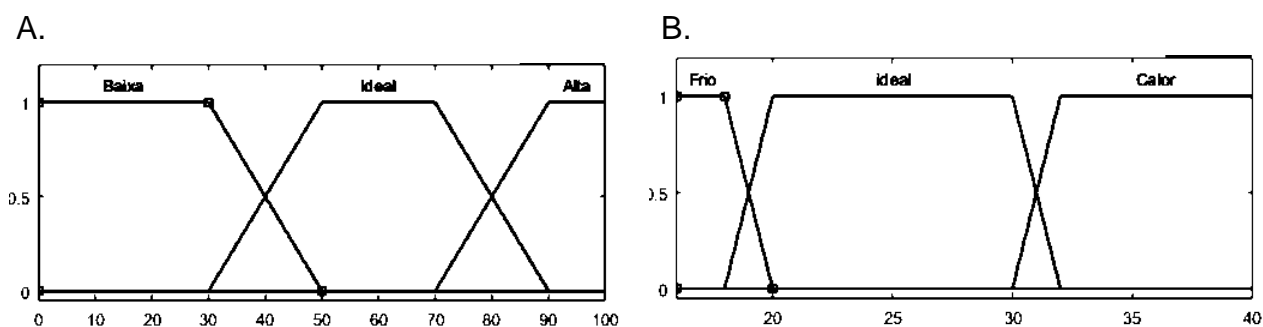
Em trabalhos realizados por Martins (2011) com o objetivo de avaliar o uso da termografia infravermelha como método de análise das temperaturas superficiais de cordeiros observou no período da tarde para os pontos garupa, porção torácica e olho foram 36,56, 34,98 e 36,56 °C respectivamente. Portanto, os valores encontrados por

Martins (2011) foram inferiores do que a temperatura superficial máxima deste trabalho.

4.2 SISTEMA FUZZY

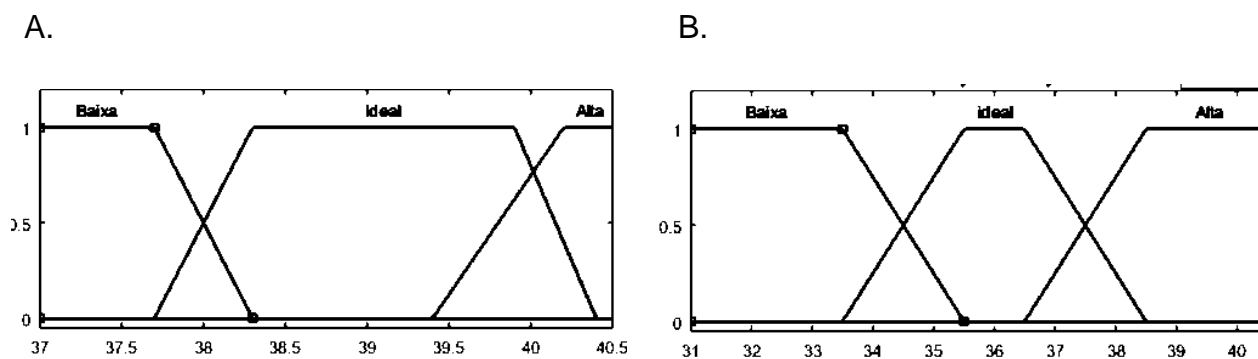
A temperatura e umidade relativa do ar foram utilizadas como variáveis de entrada para os modelos *fuzzy*, as curvas de pertinência que melhor se ajustou aos dados foi representada pela curva de pertinência trapezoidal (figura 4).

Figura 4: funções de pertinência para as variáveis de entrada do modelo *fuzzy*: (A) umidade relativa (%), (B) temperatura do ar (°C).

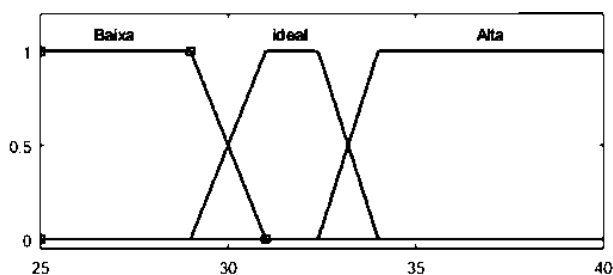


Com base nas variáveis de entrada o modelo *fuzzy* foi usado para prever as variáveis de saída: temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO), temperatura superficial flanco (TSF) e temperatura superficial costela (TSC). Todas as variáveis de saída foram representadas pela a curva de pertinência trapezoidal (figura 5).

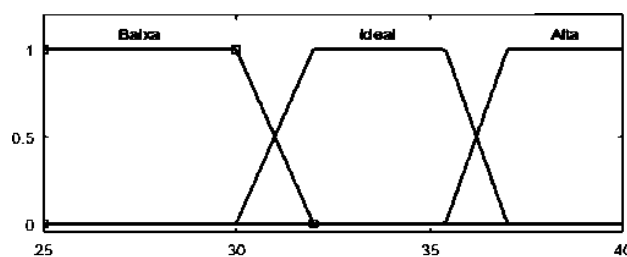
Figura 5: funções de pertinência para as variáveis de saída do modelo *fuzzy*: (A) temperatura retal (°C), (B) temperatura ocular (°C), (C) temperatura superficial flanco (°C), (D) temperatura superficial costela (°C).



C.



D.



Os índices estatísticos para a validação e ajustes dos modelos para as respostas: temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO), temperatura superficial flanco (TSf) e temperatura superficial costela (TSc) obtida através do modelo *fuzzy* são mostrados na Tabela 4.

TABELA 4- ÍNDICES ESTATÍSTICO PARA VERIFICAR A ADEQUAÇÃO DO AJUSTE E ACURÁCIA DOS MODELOS *FUZZY* PARA A TEMPERATURA RETAL (TR), TEMPERATURA OCULAR (TO), TEMPERATURA SUPERFICIAL FLANCO (TSf) E TEMPERATURA SUPERFICIAL COSTELA (TSc)

Variáveis	Índices de desempenho				
	MAE	MSE	RSME	MAPE	NSE
TR	0,36	0,21	0,46	0,92	0,04
TO	0,84	1,07	1,03	2,31	0,88
TSf	1,53	3,81	1,95	4,81	0,92
TSc	1,87	5,87	2,42	6,04	0,87

Legenda: MAE- erro médio absoluto; MSE-erro quadrático médio; RMSE- raiz do erro quadrático médio; MAPE-erro percentual absoluto médio; NSE-índice de eficiência Nash-Sutcliffe.

Os valores MAE, MSE e RMSE são índices frequentemente usados na verificação da acurácia dos modelos numéricos, Os modelos que apresentam melhores desempenhos são aqueles que apresentam valores mais próximos de zero.

O erro médio absoluto (MAE), erro quadrático médio (MSE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE) dos dados observados e previstos foi um pouco maior para os modelos que previu temperatura superficial de flanco (1,53, 3,81 e 1,95) e costela (1,87, 5,87 e 2,42) respectivamente em comparação com as outras variáveis estimadas, porém, os valores encontrados nesse trabalho foram menores do que os encontrados por De Brito *et al.* (2022) com objetivo desenvolver um modelo *fuzzy* para prever parâmetros agrônômicos de mudas de pimentão sob diferentes intensidades

luminosas, que encontraram para a variável de saída altura da planta valores de erro médio absoluto (MAE), erro quadrático médio (MSE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE) 3,267, 13,901 e 138,6 respectivamente.

O erro percentual absoluto médio (MAPE) é calculado através da diferença entre valores estimados e reais e equivale às previsões, quanto menor for o MAPE melhor será a adequação do modelo, e conseqüentemente, a previsão. O valor do MAPE para todas as variáveis variou de 0,92 a 6,04%.

Leite *et al.* (2022) com o objetivo de apresentar um modelo *fuzzy*, para a predição do desempenho produtivo e respostas fisiológicas de ovinos da raça Morada Nova, encontraram valor obtido pelo o MAPE de 1,29% quando estimaram a temperatura retal. Já no presente estudo, o MAPE foi 0,92%, menor que o erro encontrado pelos autores citados.

O modelo *fuzzy* obteve MAPE de 4,81% e 6,04% para a temperatura superficial flanko (TSf) e temperatura superficial costela (TSc), respectivamente, valores inferiores foram encontrados em outras pesquisas com temas correlatos. Em trabalho realizado por Leite *et al.* (2022) onde os autores estimaram a temperatura superficial de ovinos em função temperaturas do ar e consumo de água com crescentes níveis de salinidade, obtiveram MAPE da temperatura superficial de 2,70%. O menor erro percentual absoluto médio (MAPE) encontrados por Leite *et al.* (2022) podem ser reflexo do grupo de dados analisados que contou com animais mais uniformes (mesma raça) na unidade experimental, diferente do que aconteceu no presente estudo em que foram avaliados ovinos mestiços sem raça definida, que podem apresentar diferentes respostas termorregulatórias.

Lins *et al.* (2021b) desenvolveram um modelo computacional baseado na lógica neuro-*fuzzy*, para a predição da temperatura ocular (TO) de galinhas poedeiras a partir da termografia infravermelha, temperatura do ar e umidade relativa. Os autores encontraram MAPE entre os dados preditos pelo modelo e os dados reais de 2,90%, próximo ao encontrado no presente estudo, que foi de 2,31%.

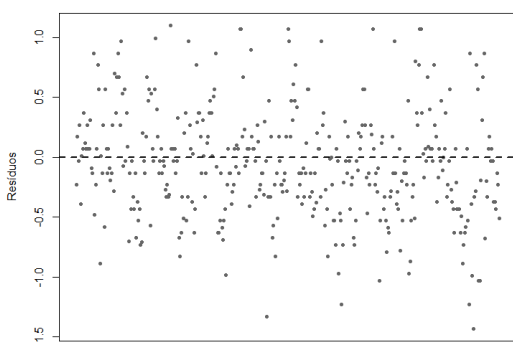
O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) variou de 0,04 a 0,92 para todas as variáveis. NSE é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual quando comparado com a variação dos dados de medição. O índice varia entre $-\infty$ a 1, e quanto maior o valor, melhor performance do modelo. Em todas variáveis, com exceção da temperatura retal, o valor desse índice estatístico ficou próximo de 1.

De Brito *et al* (2022) com objetivo desenvolver um modelo *fuzzy* para prever parâmetros agrônômicos de mudas de pimentão sob diferentes intensidades luminosas, encontraram índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) variando de 0,65 a 0,99 para todas as variáveis estudadas, com exceção da temperatura retal o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) encontrado neste estudo foi próximos dos valores encontrado por De Brito *et al* (2022).

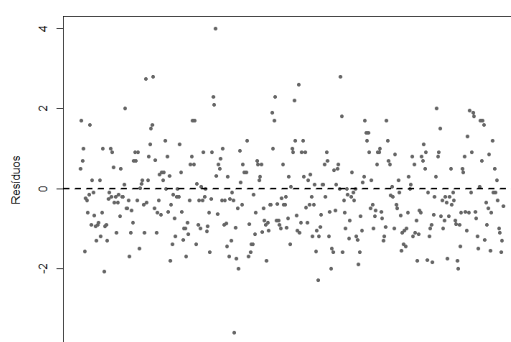
A figura 6 apresenta o gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída; temperatura retal, ocular, superficial de flanco e superficial de costela obtida através do modelo *fuzzy*.

Figura 6: gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída do modelo *fuzzy*: (A) temperatura retal (°C), (B) temperatura ocular (°C), (C) temperatura superficial flanco (°C), (D) temperatura superficial costela (°C).

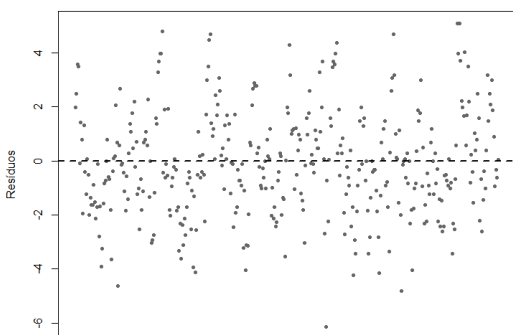
A.



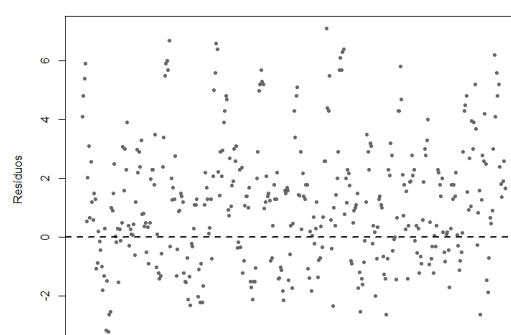
B.



C.



D.



Nos gráficos de resíduos dos modelos *fuzzy*, observa-se na estimativa da temperatura retal (figura 6 A) que foi o modelo mais exato, pois apresentou uma amplitude dos resíduos menor, os resíduos então bem distribuído apresentando uma variação homogênea. Na estimativa da temperatura ocular e temperatura superficial de flanco (figura 6 B e 6 C) respectivamente os modelos apresentaram uma boa distribuição dos dados, tendo uma variação homogênea, porém observa-se alguns pontos outliers. Observa-se na figura 6 D na estimativa temperatura superficial costela a estimativa é menos exata pois o modelo apresentou maior amplitude dos resíduos, verifica-se também que esse modelo apresentou tendência a subestimação.

4.3 SISTEMA NEURO-FUZZY

A metodologia aplicada utilizou como apoio o software comercial MATLAB, na interface *Fuzzy Logic Toolbox*. Os valores discretos das variáveis de entrada foram convertidos em valores difusos (fuzzification), adotando dois conjuntos *fuzzy* de entrada com funções de pertinência do tipo trapezoidal. Os conjuntos *fuzzy* de entrada – temperatura do ar (T_a), umidade relativa (U_r) foram modelados considerando três funções de pertinência totalizando um conjunto de nove regras.

Os índices estatísticos para a validação e ajustes dos modelos para as respostas das temperaturas retal, ocular, superficial de flanco e superficial de costela obtida através do modelo neuro- *fuzzy* são mostrados na Tabela 5.

TABELA 5- ÍNDICES ESTATÍSTICO PARA VERIFICAR A ADEQUAÇÃO DO AJUSTE E ACURÁCIA DOS MODELOS NEURO- *FUZZY* PARA A TEMPERATURA RETAL (TR), TEMPERATURA OCULAR (TO), TEMPERATURA SUPERFICIAL FLANCO (TSf) E TEMPERATURA SUPERFICIAL COSTELA (TSc)

Variáveis	Índices de desempenho				
	MAE	MSE	RSME	MAPE	NSE
TR	0,30	0,15	0,38	0,76	0,27
TO	0,57	0,53	0,73	1,58	0,94
TSf	1,11	2,24	1,50	3,52	0,96
TSc	1,06	1,78	1,33	3,34	0,96

Legenda: MAE- erro médio absoluto; MSE-erro quadrático médio; RMSE- raiz do erro quadrático médio; MAPE-erro percentual absoluto médio; NSE-índice de eficiência Nash-Sutcliffe.

É possível perceber que os modelos de predição para a temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO), temperatura superficial flanco (TSf) e temperatura superficial costela (TSc) apresentaram um bom desempenho quando os valores do erro médio absoluto (MAE), erro quadrático médio (MSE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE) estão próximos de zero. MAE, MSE e RMSE variaram para todas as variáveis 0,30 a 1,11, 0,15 a 2,24 e 0,38 a 1,50 respectivamente.

Os menores valores desses índices foram observados na variável temperatura retal (TR) erro médio absoluto (0,30), erro quadrático médio (0,15) e raiz do erro quadrático médio (0,38). Pacheco (2019) desenvolveu modelo computacional baseados em rede neural artificial para prever a temperatura retal de vacas holandesas, encontraram valores de MSE e RMSE 0,31 e 0,40, respectivamente. O valor da raiz do erro quadrático médio encontrado é próximo ao valor de RMSE encontrados no presente estudo. No entanto, no presente estudo, o erro quadrático médio foi menor que o encontrado pelo autor citado.

O erro percentual absoluto médio (MAPE) variou de 0,76 a 3,52 para todas as variáveis indicando uma boa previsão. Quanto menor for o MAPE melhor será a adequação do modelo. Esses valores foram inferiores aos obtidos por Lins *et al.* (2021b), que desenvolveram um modelo computacional baseado na lógica *fuzzy* para a predição da temperatura ocular (TO) e temperatura crista (TC) de galinhas poedeiras a partir da termografia infravermelha, temperatura do ar e umidade relativa, encontraram o MAPE para ambas as variáveis variando de 2,90% a 6,30% respectivamente.

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) para a temperatura ocular (TO), temperatura superficial flanco (TSf) e temperatura superficial costela (TSc) foram de 0,94, 0,96 e 0,96, respectivamente, e de 0,27 para a variável temperatura retal (TR). O NSE indica a capacidade preditiva do modelo. Para um ajuste perfeito entre os dados simulados e observados o valor de índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) deve ser o mais próximo de 1.

De Brito *et al.* (2022) com objetivo desenvolver um modelo *fuzzy* para prever parâmetros agrônômicos de mudas de pimentão sob diferentes intensidades luminosas, encontraram índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) variando de 0,65 a 0,99 para todas as variáveis estudadas. Com exceção da temperatura retal, os

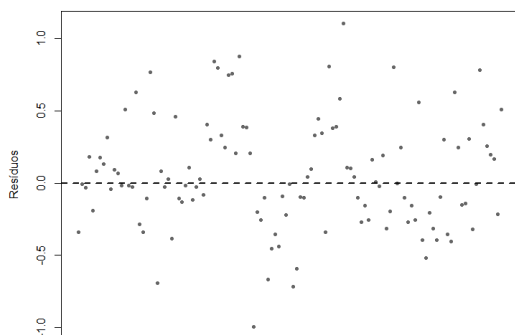
índices de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) encontrados neste estudo foram próximos dos valores encontrados por De Brito *et al.* (2022).

Os índices estatísticos entre os resultados reais e os estimados pelos modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy* podem ser vistos nas Tabelas 3 e 4. A raiz do erro quadrático médio (RMSE) apresentou valores mais baixos nos modelos *neuro-fuzzy* para todas as variáveis quando comparados com os modelos *fuzzy*. Os valores do erro percentual absoluto médio (MAPE) também estiveram melhores para os modelos *neuro-fuzzy*.

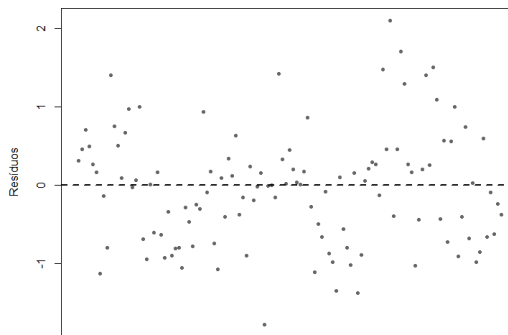
A figura 7 apresenta o gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída; temperatura retal, ocular, superficial de flanco e superficial de costela obtida através do modelo *neuro-fuzzy*.

Figura 7: gráfico de distribuição dos resíduos das variáveis de saída do modelo *neuro-fuzzy*: (A) temperatura retal (°C), (B) temperatura ocular (°C), (C) temperatura superficial flanco (°C), (D) temperatura superficial costela (°C).

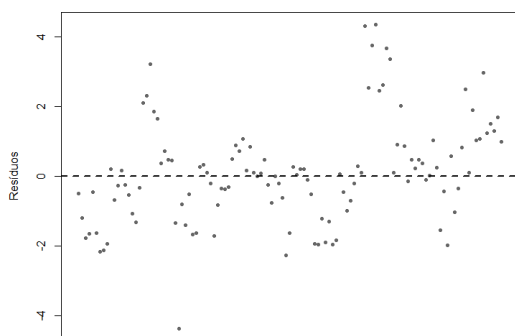
A.



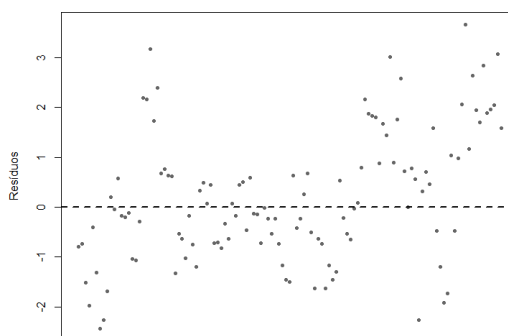
B.



C.



D.



Nos gráficos de resíduos dos modelos *neuro-fuzzy*, observa-se que o melhor modelo, o modelo mais exato foi quando estimou a temperatura retal (figura 7A), pois apresentou uma amplitude dos resíduos menor, uma variação homogênea dos dados. Observa-se na estimativa da temperatura superficial costela (figura 7 D) o modelo apresentou tendência a subestimação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o modelo *fuzzy* e *neuro-fuzzy* proposto permitiram estimar, com eficiência, a temperatura retal (TR), temperatura ocular (TO), temperatura superficial flanco (TSf) e temperatura superficial costela (TSc), de ovinos em função da temperatura do ar e umidade relativa. Proporcionou baixos valores de erro médio absoluto (MAE), erro quadrático médio (MSE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro percentual absoluto médio (MAPE), quando foram comparados com outros trabalhos de tema correlatos. O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) mostrou-se considerável para as variáveis temperatura ocular, temperatura superficial flanco e temperatura superficial costela. O gráfico de distribuição de resíduos apresentou variação homogênea com os dados bem distribuídos quando estimou as variáveis temperatura retal, temperatura ocular e temperatura superficial flanco.

Assim, os modelos estimados podem ser utilizados como ferramenta de controle do ambiente térmico em instalações comerciais de produção. De modo geral, observou-se que a rede *neuro-fuzzy* foi mais efetiva para estimar as respostas fisiológicas quando comparada com o modelo *fuzzy*.

As variáveis meteorológicas e os índices climáticos máximos apresentaram-se fora da zona de conforto térmico para ovinos. Apesar das condições climáticas do semiárido nordestino demonstraram-se inadequada para o conforto animal, os ovinos conseguiram manter a homeotermia sem elevação da frequência respiratória e temperatura superficial para além dos padrões normais da espécie, demonstrando sua capacidade adaptativa às condições ambientais experimentais.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, Lucas HP et al. Fuzzy model for predicting cloacal temperature of broiler chickens under thermal stress. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 18-25, 2019

AMENDOLA, M.; SOUZA, A.L. Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.1. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2004. 30p.

ARCARO JÚNIOR, Irineu et al. Respostas fisiológicas de vacas em lactação à ventilação e aspersão na sala de espera. **Ciência Rural**, v. 35, p. 639-643, 2005.

AZEVÊDO, Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo; ALVES, Arnaud Azevêdo. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

AZEVEDO, Hierro Hassler Freitas et al. Bem-estar e suas perspectivas na produção animal. **Pubvet**, v. 14, n. 1, p. a481, 2019.

BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: UFV - Universidade Federal de Viçosa, 2010.

BARBIERI, Sara et al. Use of thermography in pigs: Relationship between surface and core temperature. **Veterinaria Italiana**, v. 57, n. 1, p. 79-82, 2021.

BARACHO, Marta; TOLON, Yamilia. ANÁLISE DE IMAGENS PARA AVALIAÇÃO DO BEM-ESTAR ANIMAL. **Agrarian Academy**, v. 9, n. 17, 2022.

BARTOLOMÉ, Ester et al. Testing eye temperature assessed with infrared thermography to evaluate stress in meat goats raised in a semi-intensive farming system: A pilot study. **Archives Animal Breeding**, v. 62, n. 1, p. 199-204, 2019.

BERIHULAY, Haile et al. Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. **Animals**, v. 9, n. 3, p. 75, 2019.

BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agriculture Engineering, California**, v.36, p. 251-260, 1955.

BORGES, Laylson Silva et al. Gestão zootécnica e genética informatizadas em pequenos ruminantes: uma revisão. **Medicina Veterinária (UFRPE)**, v. 13, n. 2, p. 251-257, 2019.

Brasil (2005) Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Interministerial n.1, de 09 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

BRITO, LT de L. et al. **Potencialidades da água de chuva no Semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007., 2007.

BROOM, Donald M. Indicators of poor welfare. **British veterinary journal**, v. 142, n. 6, p. 524-526, 1986.

BROWN-BRANDL, Tami M.; JONES, David D. Characterizing feedlot heifer response to environmental temperature. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n. 2, p. 673-680, 2016.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-0714, 1981.

CAMPOS, A.T. Determinação dos índices de conforto térmico e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa – MG. 66p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa, MG: 1986.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.. Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas. 4 ed. Viçosa: UFV, 2013.

CECCHIN, D. et al. Thermal comfort of pigs housed in different installations. *Agronomy Research* v.17 n.2, p.378–384, 2019.

Computers and Electronics in Agriculture, v. 144, n. August 2017, p. 37–43, 2018.

Craesmeyer, K. C., Schmitt Filho, A. L., Hotzel, M. J., Deniz, M. & Farley, J. 2017. Utilização da sombra por vacas lactantes sob sistema voisin silvipastoril no sul do Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, 11, 1-6.

CORNELISSEN, A. M. G. et al. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 95, n. 1, p. 1-18, 2003.

CZEKOSKI, Zilmara Maria Welfer. Termorregulação e comportamento de ovinos Dorper X Santa Inês mantidos em diferentes sistemas de produção em clima subtropical. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.

DA SILVA, Dariane Fontes et al. Bem-estar na bovinocultura leiteira: Revisão. **PUBVET**, v. 13, p. 148, 2018.

DA SILVA, R. G. Introdução à Bioclimatologia Animal [Introduction to Animal Bioclimatology]. **Nobel-FAPESP, São Paulo. 286pp**, 2000.

DA SILVA BORGES, Laylson et al. Características termorreguladoras de ovinos da raça Dorper criados em condições climáticas de Meio-Norte do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 66805-66813, 2020.

DALTRO, Darlene dos Santos et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 374-383, 2017.

DAMASCENO, Flavio Alves et al. Fuzzy system to evaluate performance and the physiological responses of piglets raised in the farrowing house with different solar heating systems. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 72, n. 1, p. 8729-8742, 2019.

DANTAS, Nayanne Lopes Batista et al. Effect of the environment and diet on the physiological variables of sheep in the Brazilian semi-arid region. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 971-980, 2019.

DE BRITO, Déborah CTC et al. FUZZY MODELING FOR THE ANALYSIS OF DIFFERENT LIGHT INTENSITIES IN THE PRODUCTION OF BELL PEPPER SEEDLINGS. **Engenharia Agrícola**, v. 42, 2022.

DE LEITE, Embrapa Gado. Pecuária leiteira de precisão: utilização da termografia infravermelho na produção e reprodução animal. 2018.

DE LIMA MOSCATI, Marley Cavalcante; GAN, Manoel Alonso. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2007.

DE LIMA SANTOS, Girlene Cordeiro; 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, 2021.

DE MEDEIROS, F. F. et al. CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E BEM-ESTAR DE OVINOS CONFINADOS. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc, 7, 2019. **Anais eletrônicas** do Contecc 2019: ISSN 2358117-4, Ano 6, Volume 1. Disponível em: <https://www.confea.org.br/eventos/contecc/contecc-2019/agronomia> Acesso em: 20 mai. 2022

DE LUCENA, C. C. et al. Produtos de origem caprina e ovina: mercado e potencialidades na região do Semiárido brasileiro. **Embrapa Caprinos e Ovinos- Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2018.

DE PAULA MENDES, Aline Medeiros et al. Determinação de um índice de conforto térmico para ovinos da raça Dorper. **Revista Semiárido De Visu**, v. 5, n. 2, p. 88-95, 2017.

DIAS E SILVA, T. P.; DE SOUSA JÚNIOR, S. C. Produção de leite de vacas submetidas a diferentes períodos de exposição à radiação solar no sul do Piauí. **Agrarian**, [S. l.], v. 6, n. 21, p. 320–325, 2013. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2103>. Acesso em: 19 maio. 2022.

DUARTE, Giovanna Gonçalves et al. Uso da termografia para o tratamento de lesões de pele: Revisão sistemática da literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 13257-13273, 2020.

Encarnação, R. O. 1989. Estresse e produção animal. In: Ciclo Internacional de Palestras Sobre Bioclimatologia Animal, 1989, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.111-129.

FLORES-PEINADO, Salvador et al. Physiological responses of pigs to preslaughter handling: Infrared and thermal imaging applications. **International Journal of Veterinary Science and Medicine**, v. 8, n. 1, p. 71-84, 2020.

FERREIRA, L. **Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. 2009. 56f.** 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FERRIGO, S. **Análise de Consistência dos Parâmetros do Modelo Swat Obtidos por Calibração Automática–Estudo de Caso da Bacia do Lago Descoberto. 2014.164 f.** 2014. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília/DF.

FLORES-PEINADO, Salvador et al. Physiological responses of pigs to preslaughter handling: Infrared and thermal imaging applications. **International Journal of Veterinary Science and Medicine**, v. 8, n. 1, p. 71-84, 2020.

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

GONÇALVES, I.C.M. Diagnóstico das variáveis meteorológicas e índices de conforto térmico em diferentes apriscos localizados no sertão pernambucano. 2015. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

Gonçalves, I. C. M., et al. Fuzzy simulation of bioclimatic indexes environments with and without cover for Santa Inês sheep farms. *African Journal of Agricultural Research*, v. 12, n. 18, p. 1532-1537, 2017.

GRACIANO, Daniela Espanguer. Aplicações da termografia infravermelha na produção animal. 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2013. Disponível em : <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/738> acesso em : 20 Mai.2022

HALLAK, Ricardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de

advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 591-608, 2011

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal. Disponível em : <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>. Acesso em: 21 mar 2022

JARDIM, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz et al. Uso de aplicações matemáticas para predição de conforto térmico de frangos de corte em ambiente semiárido. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2251-2257, 2020.

LEÃO, Juliana Mergh et al. Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão. *Cad Tec Vet Zootec.*2015;2(79):23-37.

LEITÃO, Mário MVBR et al. Conforto e estresse térmico em ovinos no Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1355-1360, 2013.

LEITE, Patrício Gomes et al. Capítulo 1 MODELAGEM FUZZY DAS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE DESEMPENHO DE OVINOS SOB ESTRESSE TÉRMICO E SALINO. **Pesquisas em ambiência animal**, 2022.

LINS, Ana C. et al. FUZZY LOGIC MODELING OF THE OCULAR TEMPERATURE OF CATTLE IN THERMAL STRESS CONDITIONS. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 418-426, 2021a.

LINS, Ana C. et al. NEURO-FUZZY MODELING OF EYEBALL AND CREST TEMPERATURES IN EGG-LAYING HENS. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 34-38, 2021b.

LINS, Renan Castro et al. Adaptabilidade de reprodutores ovinos criados no semiárido. **MAGISTRA**, v. 31, p. 692-699, 2020.

LOWE, Gemma et al. Automated collection and analysis of infrared thermograms for measuring eye and cheek temperatures in calves. **Animals**, v. 10, n. 2, p. 292, 2020.

LOURENÇONI, Dian et al. Productive responses from broiler chickens raised in different commercial production systems-part i: fuzzy modeling. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 1-10, 2019a.

LOURENÇONI, Dian et al. Pertinence curves in fuzzy modeling of the productive responses of broilers. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 265-271, 2019b.

LOURENÇONI, DIAN et al. MODELAGEM NEURO-FUZZY PARA ESTIMAR A TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc,3, 2016. **Anais eletrônicas** do Contecc 2016: ISSN 2358117-4, Ano 3, Volume 1. Disponível em: <https://www.confex.org.br/eventos/contecc/contecc-2016/agronomia> Acesso em: 20 mai. 2022

MAGALHAES, K. A. et al. Caprinos e ovinos no Brasil: análise da Produção da Pecuária Municipal 2019. 2020.

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.

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

MARTELLO, L. S. et al. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 1, p. 173–181, 2016.

MARTINS, Raphael Felipe Saraiva. Índices de conforto térmico e temperatura superficial por termografia infravermelha em ovinos. 2011. 84 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011

MENEGASSI, S. R. O. et al. Infrared thermography as a noninvasive method to assess scrotal insulation on sperm production in beef bulls. **Andrologia**, v. 50, n. 3, p. e12904, 2018.

MASCARENHAS, N. M. H. et al. Adaptabilidade de ovinos santa inês mantidos em condições de conforto e sob estresse térmico. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc,7,2021. **Anais eletrônicas** do Contecc 2021: ISSN 2358117-4, Ano 7, Volume 1. Disponível em:

<https://www.confea.org.br/eventos/contecc/contecc-2021/agronomia> Acesso em: 20 mai. 2022

MIRANDA, Jaciara Ribeiro et al. VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E DESEMPENHO PRODUTIVO COMO INDICADORES DE ESTRESSE TÉRMICO EM CAPRINOS MISTIÇOS BOER EM CÂMARA CLIMÁTICA. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 3, p. 201-206, 2018.

NASCIMENTO, Guilherme R. do et al. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 219-229, 2011.

NEIVA, José Neuman Miranda et al. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 668-678, 2004.

NEVES, Maria Luciana Menezes Wanderley et al. Níveis críticos do Índice de Conforto Térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 169-175, 2009.

OLASEHINDE, Oluwakemi. Infrared Thermography and Machine Learning in Livestock Production. **Int. J. Adv. Res. Rev**, v. 6, p. 38-57, 2021.

OLIVEIRA, Francisco MM et al. Parâmetros de conforto térmico e fisiológico de ovinos Santa Inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 631-635, 2005.

PACHECO, Verônica Madeira. **Desenvolvimento de classificador de conforto térmico para bovinos de leite utilizando modelagem computacional e termografia de infravermelho**. 2019. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019. doi:10.11606/D.74.2019.tde-03122019-153914. Acesso em: 19-10-2022.

PANTOJA, Jéssica de carvalho 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.

POLLI, Volmir Antonio et al. Estresse térmico e o desempenho produtivo de ovinos: uma revisão. **Medicina Veterinária (UFRPE)**, v. 14, n. 1, p. 38-47, 2020.

PULIDO-RODRÍGUEZ, Lina Fernanda et al. Termografia infravermelha da superfície ocular como indicador de estresse em suínos na fase de creche. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, p. 453-458, 2017.

REZENDE, Elisa de Souza Junqueira et al. Análise de associação entre imagens termográficas e diagnóstico de mastite. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 15532-15542, 2022a.

REZENDE, Elisa de Souza Junqueira et al. Modelagem, classificação e pré-validação de diagnóstico de mastite subclínica em função da temperatura do úbere. Modeling, classification and pre-validation of diagnosis of subclinical mastites as a function of udder temperature. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 15543-15552, 2022b.

ROBERTO, JVB. **Efeito do ambiente térmico e uso da Termografia de infravermelho em caprinos Saanen e seus mestiços com o boer no semiárido Brasileiro. 2012, 89 f.** 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, BB de. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 73-84, 2014.

RODRIGUES, Nair Elizabeth Barreto; ZANGERONIMO, M. G.; FIALHO, E. T. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 7, n. 2, p. 1197-1211, 2010.

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**, Suisse, v. 55, n. 3, p. 455-459, 2010.

SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, v. 62, n. October, p. 63–69, 2016

SANTOS, Merilene Maria dos et al. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês, de diferentes pelagens, em pastejo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, p. 287-294, 2011.

SEJIAN, V. et al. Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, v. 12, n. s2, p. s431-s444, 2018.

SILANIKOVE, Nissim. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock production science**, v. 67, n. 1-2, p. 1-18, 2000.

SILANIKOVE, Nissim; KOLUMAN, Nazan. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. **Small Ruminant Research**, v. 123, n. 1, p. 27-34, 2015.

SOUSA, R. V. DE et al. Predictive model based on artificial neural network for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 144, n. August 2017, p. 37–43, 2018.

SOUSA, R. V et al. CLASSIFICADOR BASEADO EM LÓGICA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO DE BOVINOS DE CORTE UTILIZANDO TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014. **Anais eletrônicas** do: ConBAP 2014. ISSN 2358-8462, Ano 6, Volume 1. Disponível em: http://conbap.sbea.org.br/crbst_4.html Acesso em: 20 mai. 2022

SOUZA, B. B. Índice de conforto térmico para ovinos e caprinos: índice de temperatura do globo negro e umidade registrado em pesquisas no Brasil. **Farmpoint-ovinos e caprinos**, 2010. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/indice-de-conforto-termico-para-ovinos-e-caprinos-indice-de-temperatura-do-globo-negro-e-umidade-registrado-em-pesquisas-no-66797n.aspx#:~:text=De%20acordo%20com%20Ba%C3%AAta%20e,s%C3%A3o%20feitas%20atrav%C3%A9s%20da%20respira%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 6 de maio de 2022.

STARLING, Josiane Maria Cardoso et al. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 2070-2077, 2002

TAKAGI, Tomohiro; SUGENO, Michio. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, n. 1, p. 116-132, 1985.

TEIXEIRA, Vanessa Amorim. Termografia infravermelha na avaliação reprodutiva de touros girolando. 2018.74 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em : <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-BC2FG8> acesso em : 20 Mai.2022

THOM, E. C. Cooling degree-days. *Air Cond Heating Ventil*, p. 55-65. 1958.

TURCO, Sílvia Helena Nogueira et al. Ferramentas para o monitoramento de respostas comportamentais, fisiológicas e de desempenho animal a campo. **Rev. Cient. Prod. Anim.** v.21, n.1, p.69-75, 2019.

VIEIRA, M. M. M. CÂNDIDO, M. J. D.; FILHO, J. A. D. B.; CAVALCANTE, A. C. R.; GADELHA, C. R.; SARAIVA, E. P.; ARAÚJO, M. S. Condições ambientais e termoregulatórias de cabras leiteiras em região semiárida. XXV congresso brasileiro de zootecnia. **Dimensões Tecnológicas e Sociais da Zootecnia**. Fortaleza, CE. 2015.

VIEIRA, Fayane Moraes et al. Termografia infravermelha na avicultura. **Veterinária e Zootecnia**, v. 29, p. 1-21, 2022.

YANAGI JUNIOR, Tadayuki et al. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 423-434, 2012.