



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR SENSÍVEL DE MATRIZES
SUÍNAS CRIADAS AO AR LIVRE**

Atilio Sá dos Santos
Orientadora: Sheila Tavares Nascimento

BRASÍLIA-DF
MAIO/2021



ATILIO SÁ DOS SANTOS

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR SENSÍVEL DE MATRIZES
SUÍNAS CRIADAS AO AR LIVRE**

Trabalho de conclusão de curso de
graduação em Agronomia apresentado junto
à Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária da Universidade de Brasília

Orientador(a): Sheila Tavares Nascimento

BRASÍLIA-DF
MAIO/2021

Santos, Atilio Sá

Transferência de calor sensível de matrizes suínas criadas ao ar livre / Atilio Sá dos Santos; orientação de Sheila Tavares Nascimento – Brasília, 2021.

Trabalho de conclusão de curso de graduação – Universidade de

Cessão de Direitos

Nome do Autor: Atilio Sá dos Santos

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Transferência
de Calor Sensível de Matrizes Suínas Criadas ao Ar Livre.

Ano: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

(Assinatura)

Atilio Sá dos Santos

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: Santos, Atilio Sá.

Título: Transferência de Calor

Sensível de Matrizes Suínas Criadas

ao Ar Livre.

Trabalho de conclusão do curso de
graduação em Agronomia apresentado junto
à Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária da Universidade de Brasília

Aprovado em /05/2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

SUMÁRIO

1. ARTIGO	01
2. LISTA DE FIGURAS	06
3. LISTA DE TABELAS	07
4. RESUMO	09
5. ABSTRACT	11
6. INTRODUÇÃO	13
6.1.OBJETIVO	15
7. REVISÃO DE LITERATURA	15
8. MATERIAL E MÉTODOS	24
8.1.ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
9. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
10.CONCLUSÃO	41
11.REFERÊNCIAS	42

Lista de Figuras

FIGURA 1 - Exemplo de criação ao ar livre, UDCAL, Fazenda Água Limpa....	16
FIGURA 2 - Exemplo de criação SISCAL	17
FIGURA 3 - A: Croqui do setor de gestação; B: Imagem do Sistema de produção feita por satélite da Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre da Fazenda Água Limpa,	25
FIGURA 4 - Superfícies de contato avaliadas na UDCAL/ FAL/ UnB: A - Suíno em contato corporal predominantemente com pastagem. B -Suíno em contato corporal predominantemente com a poça de água. C - Suíno em contato corporal predominantemente com solo sem cobertura,	27
FIGURA 5 - Posições consideradas para avaliação dos mecanismos de transferência de calor sensível das matrizes: A: Matriz suína em pé sobre a pastagem na UDCAL da Fazenda Água Limpa.B: Matriz suína deitada sobre solo sem cobertura na UDCAL da Fazenda Água Limpa,	27
FIGURA 6 - Demonstração da análise de uma imagem termográfica com o uso do software Testo IRSoft,	28
FIGURA 7 - Médias da umidade relativa (%) e Temperatura do ar (°C) para os dias de coleta na UDCAL, da Fazenda Água Limpa,	32
FIGURA 8 - Médias da Temperatura Radiante Média (°C) para os dias de coleta na UDCAL, da Fazenda Água Limpa,	33
FIGURA 9 - Transferência de calor por condução (Wm^{-2}) e diferencial entre a temperatura superficial das matrizes e o solo (°C) em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa,	35

FIGURA 10 - Temperatura Radiante Média ($^{\circ}\text{C}$) e Transferência de calor por radiação de ondas longas (Wm^{-2}) para matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa,36

FIGURA 11 - Transferência de calor por convecção (Wm^{-2}) para matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa,37

FIGURA 12 - Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e balanço de energia (Wm^{-2}) nos dias analisados na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre,38

FIGURA 13 - Contribuição dos mecanismos de transferência de calor sensível – radiação de ondas longas, convecção e condução - para o balanço da transferência de calor em suínos durante a pesquisa na UDCAL – FAL,39

Lista de Tabelas

TABELA 1 - Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e o balanço de energia (Wm^{-2}) em relação à posição que o animal se encontrava na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre,40

TABELA 2 - Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e o balanço de energia (Wm^{-2}) em relação aos locais na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre,41

Resumo

O objetivo do trabalho foi mensurar a transferência de calor sensível de matrizes suínas criadas ao ar livre, com auxílio da termografia infravermelha. O experimento foi realizado na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre da Fazenda Água Limpa, durante 13 dias não-consecutivos nos meses de novembro a julho. As matrizes suínas provenientes da linhagem comercial Danbred e Duroc eram mantidas em 25 piquetes de 1000m² de área cada, em sistema de pastejo rotacionado. No piquete os animais possuíam acesso à alimentação por meio de ração balanceada, pastagem do tipo *Cynodon spp.* Tifton 85 e água *ad libitum* por disponibilidade de bebedouro automático do tipo concha, e diferentes estruturas de sombreamento (natural e artificial). Foram avaliados os seguintes parâmetros entre 09:00h e 11:00h e entre 14:00h e 16:00h: temperatura do ar (T_{AR} , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) com o auxílio de um termo-higrômetro; a temperatura do globo negro (TG, °C) com um termômetro de globo negro e a velocidade do ar (U , m s⁻¹) com auxílio de um anemômetro de hélice, coletados em intervalos de 10 minutos durante cada dia de avaliação; temperatura superficial dos animais (T_{sup} , °C) por meio de uma câmera termográfica, coletada em intervalos de 30 minutos durante cada dia. A partir das imagens tratadas pelo TestoIRSoft, e dos valores meteorológicos, foi possível calcular a transferência de calor por mecanismos sensíveis (condução, convecção e radiação de ondas longas), levando em consideração os dias de coleta, local de permanência (poça de água, solo sem cobertura ou pastagem) e postura (em pé ou deitada) dos animais no momento do registro das imagens termográficas. Por fim, calculou-se o balanço total pelo somatório de cada mecanismo, que representaram ganhos ou perdas de calor para o animal. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo método dos Quadrados Mínimos com o auxílio do software SAS e as médias desdobradas pelo teste de Turkey à 5% de probabilidade. A avaliação em dois períodos distintos do ano possibilitou comparar a transferência de calor sensível pelas matrizes suínas com diferenças ($P < 0.05$) entre os dias de maiores temperaturas (31.9 °C) em comparação com os de menores temperaturas (16 °C). A radiação de ondas longas foi o mecanismo de maior relevância para o balanço sensível em relação aos dias de coleta, quando comparado com a condução e convecção (ganho de 94,58 Wm⁻², ganho de

81,09 Wm⁻² e perda de 9,83 Wm⁻², respectivamente), a condução representou em todos os dias ganhos de calor e a convecção foi pouco expressiva quando comparada aos valores dos outros mecanismos. Para o local em que os animais se encontravam, apenas a condução para o solo sem cobertura apresentou diferenças significativas (P<0,05). Para a posição dos animais percebeu-se que a condução é o mecanismo determinante para o ganho de calor para animais deitados. Conclui-se que em sistemas ao ar livre a condução e radiação de ondas longas são os mecanismos que mais proporcionam ganho de calor e que o fornecimento de estruturas de sombreamento se torna uma alternativa efetiva para proporcionar maior conforto térmico aos animais, pois possuem a capacidade de diminuir o ganho de calor pelos mecanismos sensíveis.

Palavras chave: Suínos, criação ao ar livre, termografia, transferência de calor sensível.

Abstract

The aim of the work was to measure the sensible heat transfer of sows reared in a free-range system, with the aid of infrared thermography. The experiment was conducted in the Unidade Demonstrativa of Fazenda Água Limpa, for 13 non-consecutive days from November to July. The sows come from the commercial lineage Danbred and Duroc, raised in 25 different paddocks of 1000m² in area, in a rotational grazing system. In the paddock, the animals had access to food through balanced feed, pasture of the type *Cynodon* spp. Tifton 85 and water ad libitum due to the availability of an automatic drinking bowl, and different shading structures (natural and artificial). The following parameters were evaluated between 9 and 11 A.M. and between 2 and 4 P.M.: air temperature (TAR, °C), relative humidity (UR,%) with the aid of a thermohygrometer, the temperature of the black globe (TG, °C) with a black globe thermometer and the air speed (U, m s⁻¹) with the aid of an anemometer, collected at 10-minute intervals during each day of assessment; animals' surface temperature (T_{sup}, °C) by means of a thermographic camera, collected at 30-minute intervals during each day. From the images treated by TestoIRSoft, and the meteorological values, it was possible to calculate the heat transfer by sensitive flows (conduction, convection and long-wave radiation), taking into account the collection days, place (mud, soil without cover or pasture) and posture (standing or lying down) of the animals at the time of the thermographic photos. Finally, the total balance was calculated by the sum of each flow, which can represent gains or losses of heat for the animal. The data were subjected to analysis of variance using the Minimum Squares method with the aid of the SAS software and the Turkey test at 5% probability. The evaluation in two different periods of the year made it possible to compare the transfer of sensitive heat by the sows with differences (P <0.05) between the days with the highest temperatures (31.9 °C) in comparison with those with the lowest temperature (16 °C). Long-wave radiation was the most relevant flow for the sensitive balance in relation to the collection days, when compared to conduction and convection (gain of 94.58 Wm⁻², gain of 81.09 Wm⁻² and lost of 9.83 Wm⁻², respectively), the conduction represented heat gains every day and the convection was not very significant when compared to the values of the other mechanisms. For the place where the animals were, only the driving

to the ground without cover showed significant differences ($P < 0.05$). For the animals' position, it was noticed that conduction is the determining mechanism for heat gain for lying animals. Concluding that in free-range systems the conduction and long-wave radiation are the flows that most provide heat gain and that the provision of shading structures becomes an effective alternative to provide greater thermal comfort to animals, as they have the ability to decrease heat gain by sensitive mechanisms.

Keywords: Sows, free range system, thermography, sensitive heat transfer.

1. Introdução

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de carne suína, de acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2020), com crescimento da exportação em março de 2021, representando 53% a mais do que em março de 2020 (Secretaria de Comércio Exterior, 2021). De acordo com o CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2019) da Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, a Peste Suína Africana (PSA) nos países Asiáticos é o principal fator para o favorecimento do crescimento do mercado brasileiro de carne suína, devido a menor produção de carne suína nestes países por conta da doença e a oportunidade do aumento da exportação da carne suína brasileira, a fim de atender a demanda mundial. Tornando assim, a produção de suínos de maior interesse econômico no Brasil e conseqüentemente maior necessidade de estudos na área.

A suinocultura brasileira possui diversos sistemas de criação como os sistemas extensivo, intensivo e semi-intensivo. O sistema intensivo é dividido em sistemas confinados (SISCON) e ao ar livre (SISCAL), em que o confinado é o mais utilizado na produção de carne suína brasileira, principalmente pelo melhor aproveitamento de espaço, maior densidade de alojamento dos animais, e possibilidade de uso de instalações com controle do ambiente (Nazareno et al., 2012). Já os sistemas de criação ao ar livre, são uma opção para os pequenos e médios produtores, devido ao seu baixo custo de instalação e manutenção (Dalla Costa et al., 2001), além de proporcionar a possibilidade de expressão de comportamentos naturais dos suínos, como fuçar, tomar banhos de lama e pastejar (Hotzel et al., 2004; Mós et al., 2020a).

Baseando-se em dados da Business Benchmark on farm Animal Welfare (FAWC, 2009) a população mundial está cada vez mais exigente em relação à qualidade do produto e a preocupação com o bem-estar animal, tornando este fator fundamental para a decisão de compra de produtos de origem animal. Mós et al. (2020b) realizou um estudo com consumidores do Centro-Oeste brasileiro, que além de preferirem alimentos com rastreabilidade que garantem o bem-estar na produção, também acreditam que a produção ao ar livre seja a

ideal para os suínos, principalmente por fatores ligados a qualidade de vida do animal.

Os suínos, por serem animais homeotérmicos, dependem de um ambiente com temperatura do ar dentro de certos limites para que consigam se termorregular e manter a temperatura corporal estável (Hannas et al., 1999). Com isso, nos sistemas ao ar livre, pela incidência da irradiância solar diretamente sobre os animais e no ambiente de criação, dificilmente os animais estão expostos a termoneutralidade. No Distrito Federal o desafio se deve ao clima tropical, onde de acordo com a classificação climática de KÖPPEN, possui duas estações bem definidas, com a temperatura atingindo valores de até 29,5 °C, 43% de umidade relativa no mês de setembro; e temperatura mínima de 14,5°C e umidade relativa de 50% no mês de julho (Alvares et al., 2013). Sabendo a relação das alterações climáticas com os sistemas de produção animal, é importante estudar os sistemas de criação do DF e como afetam na transferência de calor entre os animais e o ambiente.

O uso da termografia em conjunto à avaliação meteorológica possibilita determinar a transferência de calor dos animais por mecanismos sensíveis, através da convecção, condução e radiação de ondas longas. A transferência de calor por condução ocorre quando há contato direto entre superfícies; a transferência de calor por convecção ocorre quando a transferência de energia térmica ocorre pelo deslocamento de uma massa de ar ou de algum fluido; o calor proveniente da radiação de ondas-longas se deve pela emissão de ondas eletromagnéticas de maior comprimento, proveniente das superfícies que rodeiam os animais, com seus específicos valores de emissividade. Cada mecanismo pode representar uma perda ou ganho de calor, a depender do diferencial de temperatura entre a superfície do animal e o ambiente (Da Silva e Maia et al., 2013).

A termografia é uma ferramenta de registro gráfico não invasivo, que auxilia na identificação de diferentes pontos em uma superfície, onde a temperatura radiante difere devido à elevação ou decréscimo na produção de calor, alterando a temperatura superficial e a transferência de calor para o ambiente (Leão et al. 2013).

Na produção animal a termografia é usada em diversas funções, onde a partir da temperatura superficial podem ser diagnosticadas doenças em

animais (Roberto et al, 2014), a eficiência da dissipação de calor em sistemas de produção (Leão et al. 2013), na avaliação e escolha correta de materiais para construção das instalações zootécnicas (Fiorelli et al., 2012), e na identificação e monitoramento de mastites em bovinos (Colak et al. 2008). A termografia também pode ser utilizada como uma ferramenta para auxiliar a mensurar o equilíbrio térmico dos animais, pela determinação da transferência superficial de calor sensível dos animais, juntamente com avaliações fisiológicas e comportamentais.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi mensurar a transferência de calor por mecanismos sensíveis de matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre.

2. Revisão de Literatura

2.1. Sistemas ao ar livre e os efeitos do ambiente na suinocultura

Na suinocultura existem duas categorias de criação com animais livres, sendo elas: a criação ao ar livre ou free-range, que consiste em animais mantidos em todas as fases de criação com acesso a piquetes com pastagem e água *ad libitum* (Figura 1; Australian Pork 2021); e o Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (SISCAL), onde as fases de reprodução, gestação e maternidade são ao ar livre, e nas fases de crescimento e terminação os leitões são levados para galpões com cama sobreposta (Figura 2; Dalla Costa et al., 2001).

Ambos os modelos são aderidos principalmente por produtores que não possuem capacidade de grandes investimentos iniciais ou, por criadores que visam uma produção, proporcionando condições de bem-estar aos animais (Dalla Costa et al., 2001). Nesses sistemas, as condições de bem-estar estão atreladas a expressão de comportamentos naturais da espécie, como fuçar o solo, tomar banhos de lama e pastejar (Machado Filho e Hötzel et al., 2000), conseguindo dessa forma atingir a necessidade de uma parte do mercado

consumidor que preferem animais criados livres (Mós et al., 2020b). Entretanto, animais criados ao ar livre em regiões tropicais, estão expostos a uma elevada radiação solar direta, que conseqüentemente, eleva a temperatura do ar, tornando um ambiente desafiador para os suínos. Por isso devem ser fornecidas estruturas de sombreamento para que esses animais se protejam contra a radiação (Maia et al., 2005; Mós et al., 2020a).

Os suínos são animais homeotérmicos, mas que dependem de um ambiente com temperatura nos limites da termoneutralidade, para manter sua temperatura interna constante (Hannas et al., 1999; Bícego e Gargaglioni, 2020). Em sistemas ao ar livre em condições tropicais, a termoneutralidade é difícil de ser alcançada, devido a elevada radiação solar e temperatura do ar, e com isso há dificuldade dos animais na dissipação de calor sensível, necessitando acionar outros mecanismos de termorregulação como a alteração comportamental e fisiológica, para se manter em conforto térmico (Bícego e Gargaglioni, 2020).



**Figura 1: Exemplo de criação ao ar livre, UDCAL, Fazenda Água Limpa.
Fonte: Arquivo pessoal.**



Figura 2: Exemplo de criação SISCAL. Fonte: Emater (2019).

2.2. Mecanismos de Transferência de calor

Os mecanismos de transferência de calor são responsáveis pelo transporte de energia entre o animal e o ambiente, desta forma, o suíno pode ser comparado com um sistema termodinâmico que constantemente está em transferência de energia com o ambiente (ASHRARE et al., 2001). Portanto, as alterações das variáveis meteorológicas tendem a interferir sobre as respostas fisiológicas e comportamentais do animal, pela influência na quantidade de energia por eles transferidas no balanço de calor (Baeta & Souza et al., 1997). Ocorrendo essas transferências, por mecanismos sensíveis (condução, convecção e radiação de ondas longas) e por mecanismos latentes (evaporação respiratória e cutânea); (Da Silva e Maia et al., 2013; Bícigo e Gargaglioni et al., 2020).

Os mecanismos sensíveis ocorrem constantemente no corpo do animal, apenas por estarem expostos a diferentes temperaturas, desta forma havendo constantemente fluxos e afluxos de calor por mecanismos sensíveis, devido ao diferencial de temperatura entre o ambiente e os animais, em que o sentido do fluxo de calor é da superfície ou fluido de maior temperatura para o de menor temperatura (Bícigo e Gargaglioni et al., 2020).

Santos e Nascimento (2020) descreveram que em sistemas ao ar livre, os mecanismos de maiores relevâncias para o ganho de calor de matrizes

suínas são representados pela condução e radiação de ondas longas, e a transferência de calor por convecção normalmente representa em perdas de calor para o animal, mas de pouca relevância quando comparado ao ganho pelos outros mecanismos.

3.3.1 Mecanismos de Transferência de Calor Sensível - Condução

A energia térmica se transfere por condução referente a difusão da energia térmica num corpo, provocado por um gradiente de temperatura, deslocando do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura (Bícego & Gargaglioni et al., 2020). Desta forma, observa-se o contato dos animais, com superfícies de temperaturas inferiores à temperatura superficial dos animais na intenção de diminuir a temperatura corporal por condução (Mós et al., 2020a).

A transferência de calor por condução ocorre também através da capa de cobertura de mamíferos e aves, dependendo diretamente da condutividade térmica efetiva dessa capa cobertura, a qual pode ser estimada pelo conceito de condutividade térmica efetiva (Bícego & Gargaglioni et al., 2020). E também pode haver um ganho de calor por condução pelo ar, porém representa pouca relevância nos ganhos, devido à baixa condutividade térmica do ar (Bícego & Gargaglioni et al., 2020).

Nos sistemas de confinamento, de acordo com Nääs et al. (1989), a transferência de calor por condução, está diretamente relacionada a temperatura da superfície do piso, normalmente de materiais com maior condutividade para facilitar a dissipação de calor pelos suínos deitados sob o material. Para ambientes ao ar livre, a transferência de calor por condução pode se tornar um ganho de calor para os animais deitados, pelo fato de o solo receber radiação durante todo o dia, o qual apresentará elevadas temperaturas, assim como observado por Santos e Nascimento (2020) que observaram que suínos avaliados em sistemas ao ar livre ganharam calor por condução devido a temperatura do solo ser maior que a da superfície dos animais.

3.3.2. Mecanismos de Transferência de Calor Sensível - Convecção

A transferência de calor por convecção é associada ao deslocamento de um fluido que ao entrar em contato com o animal troca de calor com ele. Podendo ser de força natural ou de forma mecânica devido a força de empuxo, sendo ventiladores um exemplo de força mecânica mais comum na prática (Bícego & Gargaglioni et al., 2020).

Convecção de força natural ocorre pela diferença de densidade do ar no ambiente; a convecção forçada se dá pelo deslocamento de massa a partir de forças ativas (Ventiladores e exaustores), ou pela força proveniente dos ventos (Da Silva e Maia et al., 2013). A velocidade do vento influencia diretamente no coeficiente de transferência de calor por convecção, portanto a transferência de calor por este mecanismo vai depender da velocidade atingida pelos ventos e de um diferencial de temperatura que possibilita a transferência de calor do animal com o ambiente.

Em sistemas ao ar livre, por se tratar de ambiente aberto, não há controle da velocidade do vento, podendo atingir grandes ou pequenos valores, de acordo com as características meteorológicas do local. A transferência de calor por convecção ao ar livre, portanto pode ser muito volátil pelo diferencial das velocidades do vento ao longo do dia e entre os dias (Maia et al., 2005). Santos e Nascimento (2020) destacaram que o mecanismo de convecção em sistemas ao ar livre resulta em perdas de calor do animal para o ambiente, porem quando comparado com outros mecanismos se torna insuficiente para resultar em perdas significativas par ao animal, devido ao elevado ganho por radiação (Maia et al., 2005).

3.3.3. Mecanismos de Transferência de Calor Sensível - Radiação de ondas longas

Todos os objetos com temperatura maior que o zero absoluto (-273,15 °C ou 0 K) emitem radiação, a radiação ocorre pela movimentação dos elétrons, e esta movimentação emite energia em forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas são capazes de transferir energia para corpos vizinhos (Bícego & Gargaglioni et al., 2020).

Em sistemas ao ar livre, a radiação de ondas curtas por ser constante e direta, influencia constantemente a temperatura das superfícies destes locais,

como consequência ocorre um ganho de radiação de ondas longas para os animais com temperatura superficial inferior que a temperatura das superfícies. Santos e Nascimento et al., (2020) observaram que em sistemas ao ar livre a radiação de ondas curtas é o mecanismo de maior relevância nos ganhos totais de calor pelos mecanismos sensíveis.

Em sistemas ao ar livre, a adoção de estruturas de sombreamento é um fator fundamental para diminuir o ganho de calor dos animais por radiação de ondas curtas. Visto que, diferentes estruturas de sombreamento possuem a capacidade de proporcionar um ambiente mais adequado para os animais, já que estas estruturas interceptam parte da radiação de ondas curtas, evitando o aquecimento de superfícies.

3.3.4. Mecanismos de Transferência de Calor - Mecanismos Latentes

Os mecanismos latentes são utilizados pelos animais quando estão em condições não termoneutras, em que as formas sensíveis passam a ser ineficientes no balanço térmico, em animais homeotérmicos, e que as mudanças comportamentais não são suficientes para a manutenção da sua temperatura corporal (Bícego & Gargaglioni et al., 2020). As formas conhecidas de transferência de calor latente são a evaporação e a condensação, nas quais os fluxos são causados por gradientes de pressão de vapor, que indica a quantidade de vapor de água contido em dado volume de ar. Em ambientes com elevadas temperaturas, os mecanismos latentes são a principal forma de dissipação de calor, visto que nesses ambientes os animais ganham calor por mecanismos sensíveis, necessitando de uma forma eficiente para dissipar calor (Bícego & Gargaglioni et al., 2020).

A ativação dos mecanismos latentes para que ocorra o equilíbrio térmico resulta em gasto de energia do animal, o que irá contribuir para a redução do seu desempenho produtivo. Portanto, a ativação dos mecanismos latentes para a transferência de calor não é desejada na produção animal por representar perda de energia que poderia ser convertida em ganho produtivo.

Quando o animal se encontra em um ambiente térmico estressante, os mecanismos latentes são acionados, uma vez que os mecanismos sensíveis deixam de ser efetivos no balanço homeotérmico. Na transferência de calor latente, há um deslocamento da água no interior do corpo animal até atingir a

epiderme, dependendo também do gradiente de pressão e vapor, posteriormente ocorre a difusão do vapor de água para o ambiente a partir da pele e pulmões. Resultando em perdas de calor pela conversão do vapor, tanto pelo suor secretado pelas glândulas da pele, quanto da umidade proveniente do trato respiratório (Bícego e Gargaglioni et al., 2020).

A taxa de sudação para suínos é inexistente, por possuírem uma capa de tecido adiposo subcutâneo e suas glândulas sudoríparas serem queratinizadas (Oliveira et al., 2016). Por isso, a evaporação por vias respiratórias é o mecanismo latente de maior relevância para dissipação de energia térmica, em suínos (Abreu et al., 2002). Por não possuir um sistema termorregulador eficiente, os suídeos encontram maior dificuldade em se adaptar aos ambientes de elevadas temperaturas (Rodrigues et al., 2010), como alternativa para essas dificuldades na termorregulação, os animais maximizam a perda de calor por outros mecanismos, como a vasodilatação periférica que maximiza a dissipação de calor através de meios sensíveis, por convecção (Oliveira et al., 2016).

Em ambientes ao ar livre, os suínos também possuem essas dificuldades em se adaptar aos ambientes de elevadas temperaturas e radiação solar, em que uma das alternativas é a partir das mudanças comportamentais, como a possibilidade de procurar locais de menores temperaturas e livres da radiação solar direta, como, por exemplo, os ambientes com disposição de sombreamento natural ou artificial, locais com acesso a banho de lama, que além de proteger a pele, favorece a perda de calor evaporativa pelo contato da lama ou água na sua pele (Huynh et al., 2006).

3.4. Termografia Infravermelha nos Sistemas ao Ar Livre

A termografia infravermelha (TIV) parte do princípio de que todo corpo emite uma determinada carga de radiação infravermelha, proporcional a sua temperatura superficial. Essa radiação pode ser capturada por um termograma expressando um gradiente térmico em padrão de cores (Eddy et al., 2001).

A TIV é usada em diversos trabalhos, como na identificação edemas articulares, diagnosticando lesões (Roberto et al., 2014), que analisam o

sombreamento e eficiência térmica de coberturas para animais (Fiorelli et al., 2012; Barnabé et al., 2015; Passini et al., 2020), também existem trabalhos que comprovam a eficiência térmica em sistemas de *free stall* e *compost barn*, na bovinocultura de leite (Leão et al., 2015).

A termografia demonstra ser uma ferramenta muito útil em estudos relacionados ao bem-estar animal, pois estima de forma efetiva a temperatura superficial de várias espécies (Kotrba et al., 2007; Montanholi et al., 2008); além disso, é uma técnica não invasiva (Stewart et al., 2005), em que não necessita realizar a contenção dos animais, com medição rápida e precisa. Desta forma a TIV, surge como alternativa para tornar mais preciso os impactos ambientais na produção animal, ajudando na tomada de decisão e promovendo saúde e bem-estar aos animais (Roberto et al., 2014).

Para sistemas ao ar livre, tecnologias que evitem a interferência do ser humano com o comportamento animal, são de grande valia, pois não há necessidade do contato humano que pode estressar os animais. Tornando a TIV, uma alternativa que diminui esse contato, principalmente quando se compara com o uso de termômetro infravermelho que necessitam de uma distância mínima e maior tempo de contato com os animais por determinar a temperatura superficial de regiões pontuais (Leão et al., 2015).

Nascimento et al. (2014), utilizou a termografia infravermelha para estimar o conforto térmico de frangos de corte, e para isso mensurou juntamente a perda de calor sensível por convecção e radiação nos aviários. A TIV, se mostrou eficiente neste trabalho possibilitando concluir quais condições dos animais e das instalações estavam associadas com o conforto térmico dos animais; e também o tipo de ventilação que proporcionou maior perda de calor pelos mecanismos sensíveis.

Com a câmera termográfica é possível registrar a temperatura do ambiente e dos animais em um determinado momento, essa ferramenta trabalhada em um software e com auxílio dos dados meteorológicos possibilita estimar a transferência de calor de suínos, por meio dos mecanismos sensíveis. O que se torna uma vantagem quando comparada com algumas outras tecnologias, como o termômetro infravermelho, já que com a TIV é possível analisar uma imagem que expressa a temperatura de toda uma área e não de apenas um ponto (Leão et al., 2015).

3.5. Respostas fisiológicas de animais criados em sistemas ao ar livre

Ambientes ao ar livre em condições tropicais tem como predominância elevadas temperaturas, tendo a radiação solar como importante fator de estresse térmico para suínos, pois influencia diretamente sobre a temperatura do ar e outras variáveis meteorológicas (Maia et al., 2015; Da Silva e Maia et al., 2013).

Adaptação fisiológica é o processo em que o animal se ajusta ao ambiente em que se encontra. A termorregulação de suínos tem como fatores importantes para sua manutenção, a frequência respiratória, temperatura superficial, temperatura retal ou temperatura corporal e os batimentos cardíacos (Barros et al., 2010).

3.5.1 Frequência respiratória

Nos suínos a dissipação de calor por evaporação é mais relevante às perdas respiratórias do que cutâneas, até por este motivo, o aumento da frequência respiratória é um dos principais sinais visíveis de estresse térmico. De acordo com Collin et al., (2001), em ambientes com elevadas temperaturas os suínos diminuem sua produção de calor corporal e aumentam a frequência respiratória, no intuito de manter sua temperatura constante, dissipando calor por evaporação.

O aumento da frequência respiratória para além de 40 movimentos por minuto é um indicativo de estresse por calor (Bjerg et al., 2020). A frequência respiratória considerada normal para estes animais em situação de conforto é entre 15 e 20 movimentos por minuto (Nunes et al., 2003; Manno et al., 2006; Silva et al., 2008).

3.5.2 Temperatura superficial

Em situações de estresse por calor, a temperatura superficial dos suínos se eleva pelo aumento da quantidade de sangue periférico, na intenção de aumentar a dissipação de calor sensível para o ambiente (Williams et al., 2009).

Em condições de baixas temperaturas, ocorre um fenômeno termorregulador denominado vasoconstrição, em que os vasos sanguíneos se contraem, evitando que o corpo perca calor para o meio externo; A vasodilatação é o processo oposto, em que ocorre a dilatação dos vasos sanguíneos, aumentando a temperatura cutânea, favorecendo a dissipação do calor por radiação e convecção para o ambiente. O que justifica temperatura mais elevadas nas regiões periféricas do animal do que em sua região central (Andersen et al., 2008).

3.5.3 Temperatura retal ou temperatura corporal interna

A temperatura retal é o resultado do ganho da energia térmica produzida e das perdas dissipadas pelos animais, portanto, o aumento desta temperatura fora da faixa considerada normal para os suínos (38,5 a 39°C; Souza et al., 2004), significa que o animal não está conseguindo dissipar calor suficientemente, ou seja, que não consegue manter sua homeotermia (Santos et al., 2006; Ferreira et al., 2002). Desta forma a temperatura corporal é um indicador de estresse térmico ou um índice de adaptação fisiológica animal (Oliveira et al., 2016).

Foi estudado o efeito do ambiente em relação a temperatura retal de 126 fêmeas suínas gestantes. Animais foram mantidos em câmeras de conforto térmico (23,3°C) e estresse por calor (32,2 a 37,8°C), observou-se que a temperatura retal dos animais mantidos em ambiente de maior temperatura foi significativamente maior do que animais mantidos em conforto (OMTVEDT et al., 1971). O que indica que os animais mantidos em condição de estresse irão ter que utilizar técnicas para diminuir a sua temperatura corporal, técnicas estas que na maioria das vezes necessitam de um gasto energético, diminuindo a potencial produtivo ano animal.

4. Material e Métodos:

4.1. Local, Período e manejo dos animais:

O experimento foi realizado no setor de gestação da Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre, localizado na Fazenda Água

Limpa da Universidade de Brasília, DF Brasil (15° 47'S, 47°56 'O e altitude de 1080 metros). As coletas ocorreram durante 13 dias não consecutivos, sendo o 1º dia no mês de novembro de 2018; 2º e 3º dias no mês de março; 4º,5º,6º e 7º dias em abril, 8º e 9º dias em maio; 10º dia em julho, ambos no ano de 2019; o 11º, 12º e 13º dias de coleta, ocorreram em fevereiro de 2020.

As coletas foram realizadas em duas etapas: a primeira nos meses mais frios (maio a julho), sendo julho o mês mais frio com temperatura mínima média de 12,5° C e temperatura máxima média de 25,3° C (INMET, 2020); A segunda etapa, nos meses mais quentes (novembro a abril), sendo fevereiro o mais quente nesse período, com temperatura máxima média de 26,9° e temperatura mínima média de 17° C (INMET, 2020).

Em cada dia foram avaliadas 5 matrizes suínas presentes no setor de gestação do sistema de criação ao ar livre, escolhidas aleatoriamente, proveniente da linhagem comercial Danbred e da raça Duroc, com peso médio igual a 282,98 kg. O setor possui 25 piquetes, com área de 1000m² por piquete, onde ocorre a criação das matrizes em sistema de pastejo rotacionado (Figura 3). Nos piquetes, os animais possuem acesso a sombreamento natural e artificial, pastagem (*Cynodon spp.* Tifton 85) e água *ad libitum* por meio de bebedouro automático do tipo concha. A alimentação é feita por ração concentrada e balanceada de acordo com a categoria, fornecida duas vezes ao dia, no período da manhã às 8:30h e no período da tarde às 16h.

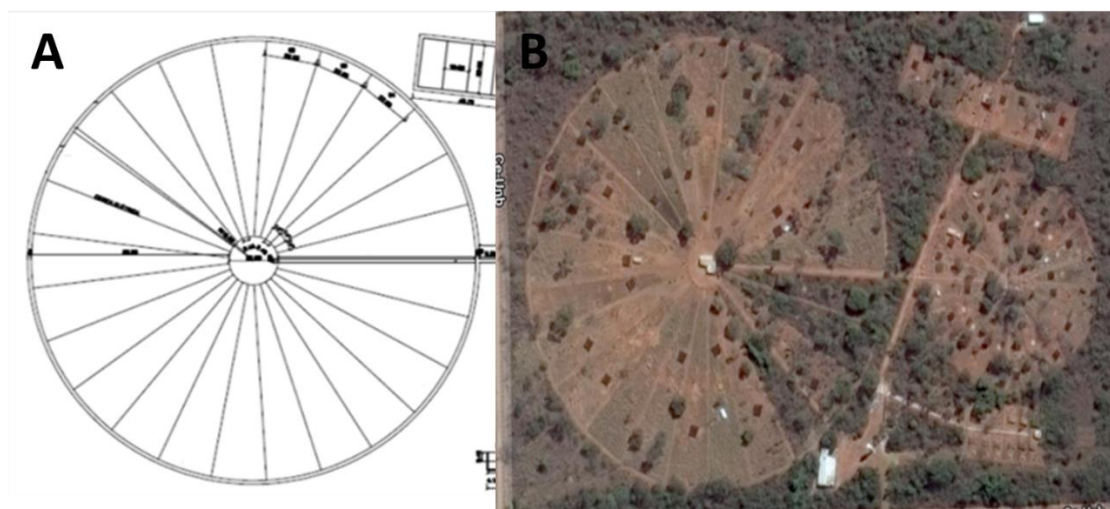


Figura 3 - A: Croqui do setor de gestação; B: Imagem do Sistema de produção feita por satélite da Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre da Fazenda Água Limpa – Brasília, DF.

4.2. Parâmetros Meteorológicos:

Foram mensuradas as seguintes variáveis meteorológicas entre 09:00h e 11:00h e entre 14:00h e 16:00h: temperatura do ar (T_{AR} , °C), a umidade relativa do ar (UR, %) com o auxílio de um termo-higrômetro (Incoterm, Brasília, Brasil); a temperatura do globo negro (TG, °C) com um termômetro de globo negro (Protemp 2, Criffer®) e a velocidade do ar (U , $m\ s^{-1}$) com auxílio de um anemômetro de hélice (TAN100, Incoterm, Brasília, Brazil), coletados em intervalos de 10 minutos durante cada dia de avaliação. O globo negro foi instalado ao sol na altura dos animais, com intuito de estimar a sensação térmica dos animais, pelo cálculo da Temperatura Radiante Média (TRM, °C).

4.3. Parâmetros Fisiológicos

Mensurou-se a temperatura superficial das matrizes (T_s , °C), determinada a partir das imagens termográficas registradas a cada 30 minutos, por meio da câmera termográfica (model 854, Testo®). A câmera possuía emissividade ajustada, com valor de 0,98 para tecidos biológicos. A distância das imagens foi padronizada em 1,5 metros do animal e 1,4 metros do solo.

Para a mensuração da temperatura superficial dos animais, determinou-se a média da temperatura superficial do animal, desconsiderando as patas e a cabeça.

Devido aos diferentes valores de emissividade das superfícies em que os animais se encontravam, foram considerados 3 diferentes tipos de superfície de contato, sendo elas: pastagem (figura 4A), poça de água (figura 4B) e solo sem cobertura (figura 4C). Considerou-se o local de acordo com a superfície que possuía maior contato direto com a superfície corporal do animal.



Figura 4: Superfícies de contato avaliadas na UDCAL/ FAL/ UnB: A - Suíno em contato corporal predominantemente com pastagem. B -Suíno em contato corporal predominantemente com a poça de água. C - Suíno em contato corporal predominantemente com solo sem cobertura.

Sabendo-se que a postura do animal tem relação significativa com os mecanismos de transferência de calor sensível, principalmente por condução, foram considerados dois tipos de postura, animal em pé (figura 5A) e animal deitado (figura 5B). Animal em pé eram caracterizados por estarem apoiados em seus quatro membros de sustentação e animais deitados eram aqueles que possuíam seu tronco ou parte dele em contato com a superfície do solo.

Todas as determinações de local e postura do animal foram feitas no momento exato da foto, a partir das imagens geradas pela câmera termográfica.

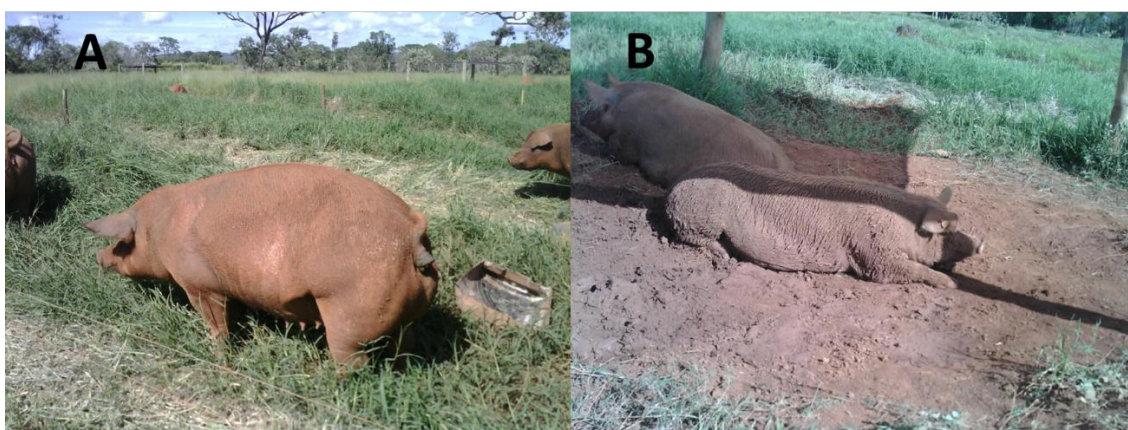


Figura 5: Posições consideradas para avaliação dos mecanismos de transferência de calor sensível das matrizes: A: Matriz suína em pé sobre

a pastagem na UDCAL da Fazenda Água Limpa. B: Matriz suína deitada sobre solo sem cobertura.

Os dados termográficos foram analisados no software Testo IRSoft. Para consideração dos cálculos e análise das imagens no software, consideramos o animal em formato cilíndrico devido à sua conformação geométrica (Figura 6) de acordo com Da Silva e Maia et al., (2013).

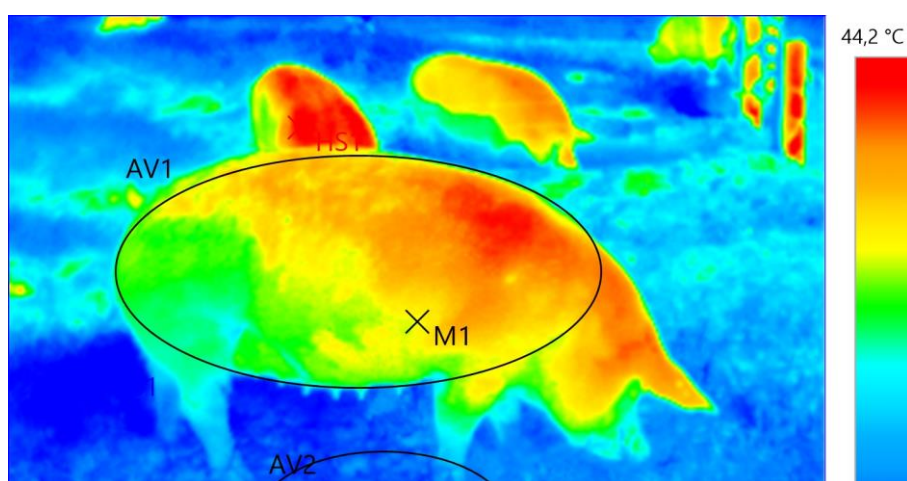


Figura 6: Demonstração da análise de uma imagem termográfica com o uso do software Testo IRSoft.

4.4. Mecanismos de transferência de calor sensível:

A partir das imagens termográficas e dos dados meteorológicos, foram calculados os fluxos por condução (q_{cond} , Wm^{-2}), convecção (q_{conv} , Wm^{-2}) e radiação de ondas longas (q_{rad} , Wm^{-2}), por meio dos cálculos descritos por Da Silva e Maia et al., (2013), de acordo com as equações 1, 2 e 3, respectivamente:

$$Q_{cond} = (Ts1 - Ts2) \frac{k}{L}, \quad Wm^{-2} \quad (1)$$

Onde: k = Condutividade térmica do solo $0,56 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$; L = Comprimento da camada superficial do solo, $0,5 \times 10^{-2} \text{ m}$; T_{s1} = Temperatura da superfície do animal, $^{\circ}\text{C}$; T_{s2} = Temperatura da superfície do solo, $^{\circ}\text{C}$.

Ressalta-se que a condução foi calculada para animais que mantinham no momento da foto a superfície corporal em contato com o solo (deitados). Já animais com apenas as patas de contato com o solo (em pé) não foram consideradas a transferência de calor por condução, devido à baixa condutividade térmica do ar.

$$Q_{conv} = hc (t_s - t_a), \quad \text{Wm}^{-2} \quad (2)$$

Onde: T_s = Temperatura superficial do animal, $^{\circ}\text{C}$; T_a = Temperatura do ar, $^{\circ}\text{C}$; hc : Coeficiente de transferência de calor por convecção, Wm^{-2} .

$$Q_{rad} = \epsilon s \sigma (T_s^4 - TRM^4), \quad \text{Wm}^{-2} \quad (3)$$

Onde: ϵs = Emissividade do animal, 0,98; σ = Constante de Stefan-Boltzman, $5,67051 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; T_s = Temperatura da superfície do animal, K; TRM = Temperatura Radiante Média, K.

A TRM (Temperatura Radiante Média) para realização do cálculo da transferência de calor por radiação de ondas longas, foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$TRM = \frac{Hg (T_{gn} - T_a) + \epsilon g \sigma T_{gn}^4}{\epsilon g \sigma}, \quad \text{Wm}^{-2} \quad (4)$$

Onde: H_g = Coeficiente de transferência de calor por convecção no globo negro, 10; T_{gn} = Temperatura do globo negro, K; T_a = Temperatura do ar, K; ϵ_g = Emissividade do Globo Negro, 0,95; σ = Constante de Stefan-Boltzman, $5,67051 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

A partir da determinação dos fluxos de transferência de calor por mecanismos sensíveis, estimou-se o balanço da transferência de calor sensível (W m^{-2}) a partir da equação 4 para animais em pé, e 5 para animais deitados:

$$Q_{conv} + Q_{rad}, \quad \text{Wm}^{-2} \quad (5)$$

$$Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad}, \quad \text{Wm}^{-2} \quad (6)$$

Vale ressaltar que todos os mecanismos podem representar um ganho ou uma perda de calor. Os ganhos de calor foram representados por valores positivos e as perdas por valores negativos, a fim de facilitar o entendimento do leitor.

4.5. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo método dos Quadrados Mínimos com o auxílio do software SAS e as médias foram desdobradas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, considerando para os dados meteorológicos o seguinte modelo:

$$Y_i = \mu + D_i + e_i$$

Onde, μ = Média paramétrica; D_i é o efeito fixo do i -ésimo dia; e e_i = ao erro aleatório.

Para os mecanismos de transferência de calor e o balanço de calor sensível utilizou-se o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + A_j + P_k + L_l + e_{ijkl}$$

Onde: μ =a Média paramétrica; D é o efeito do i-ésimo dia; A é o efeito do j-ésimo animal (j=1,..11); P é o efeito da k-ésima postura corporal (k= em pé ou deitada); L é o efeito do l-ésimo local (l= água, pasto ou solo); eijkl = ao erro aleatório.

5. Resultados e Discussão

5.1. Parâmetros meteorológicos

A umidade relativa variou entre 17% e 67%, variações consideráveis para a produção animal, apresentando uma média de 49% (Figura 7). Variações na umidade relativa interferem na produção animal e no conforto térmico, pois as perdas evaporativas, dependem de um diferencial de pressão. o suíno apresenta dificuldade para dissipar calor em ambiente de alta temperatura e umidade, pois o excesso de umidade restringe as perdas evaporativas pela respiração (PANDORFI et al. (2008), já em ambientes com baixa umidade, as perdas podem ser excessivas, resultando em desidratação. De acordo com Silva et al., (1999), o ideal para que os suínos se encontrem em um ambiente confortável é que a UR varie entre 50% a 70%.

A temperatura do ar durante a pesquisa variou entre 16°C e 31,9°C, com média igual a 26,7°C (Figura 7). Desta forma, para alguns períodos do ano a temperatura do ar estaria fora da faixa de temperatura ideal para suínos, equivalente a 22°C (Brown-Brandl et al., 2001).

Como em sistemas ao ar livre, o conforto térmico dos animais está diretamente atrelado com as variações meteorológicas (Mós et al., 2020b), uma diferença de 15,9°C da temperatura do ar entre o dia mais quente e o dia mais frio, irá resultar em diferentes valores nas transferências de calor sensível, visto que a temperatura corporal tende a permanecer constante, por serem homeotérmicos, e as diferentes temperaturas do ambiente, tendem a resultar em diferentes valores da transferência de calor sensível, neste caso principalmente, sobre a convecção, já que este mecanismo está diretamente atrelado com a temperatura do ar e a temperatura superficial dos animais.

Temperatura do ar fora da faixa ideal para os animais pode causar desconforto térmico, alteram a transferência de calor pelos mecanismos sensíveis, resultando em mudanças fisiológicas para termorregulação, caso o ganho de calor pelos mecanismos sensíveis, por exemplo, ultrapassem a temperatura crítica da zona de conforto dos animais, alterando a temperatura corporal e se as mudanças comportamentais são ineficientes na manutenção da temperatura, há a necessidade da ativação dos mecanismos latentes para sua termorregulação. De acordo com, Santos et al., (2006), um dos fatores responsáveis pela baixa produtividade animal em climas tropicais é quando os animais não conseguem dissipar o excesso de calor pelos mecanismos sensíveis e latentes, aumentando a temperatura retal acima dos valores fisiológicos, demonstrando uma situação de estresse térmico.

Em novembro observou-se a maior temperatura do ar (31,9°C), sendo a umidade relativa deste dia equivalente a 35% (Figura 7). Já julho foi o mês que apresentou a menor temperatura do ar (16°C) e com um valor de 67% de umidade relativa. Resultando em diferentes ganhos de calor para os meses mais frios e quentes (figura 8; figura 9; figura 10), e pelo valor de umidade abaixo do ideal previsto por Silva et al., (1999), as perdas evaporativas poderiam ser exageradas em novembro.

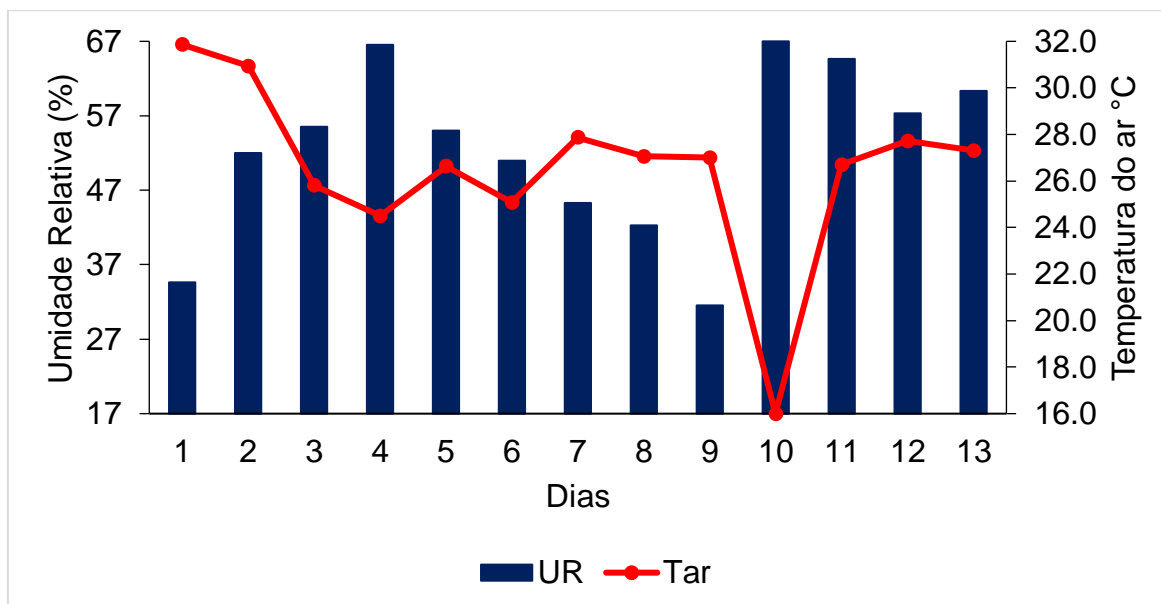


Figura 7: Médias da umidade relativa (%) e Temperatura do ar (°C) para os dias de coleta na UDCAL, da Fazenda Água Limpa.

A temperatura radiante média apresentou variação significativa ($P < 0,05$) entre os dias, o que demonstra uma variabilidade em relação à sensação térmica dos animais, em que foram observados valores acima de 60°C (Figura 8). Esses valores impactam diretamente a capacidade de transferência de calor sensível dos animais em sistemas ao ar livre, principalmente pela radiação de ondas longas, pois a quantidade de calor a ser transferida ou absorvida por radiação de ondas longas, está relacionada com a diferença entre os valores da temperatura superficial do animal e da TRM (Equação 3; Figura 10)

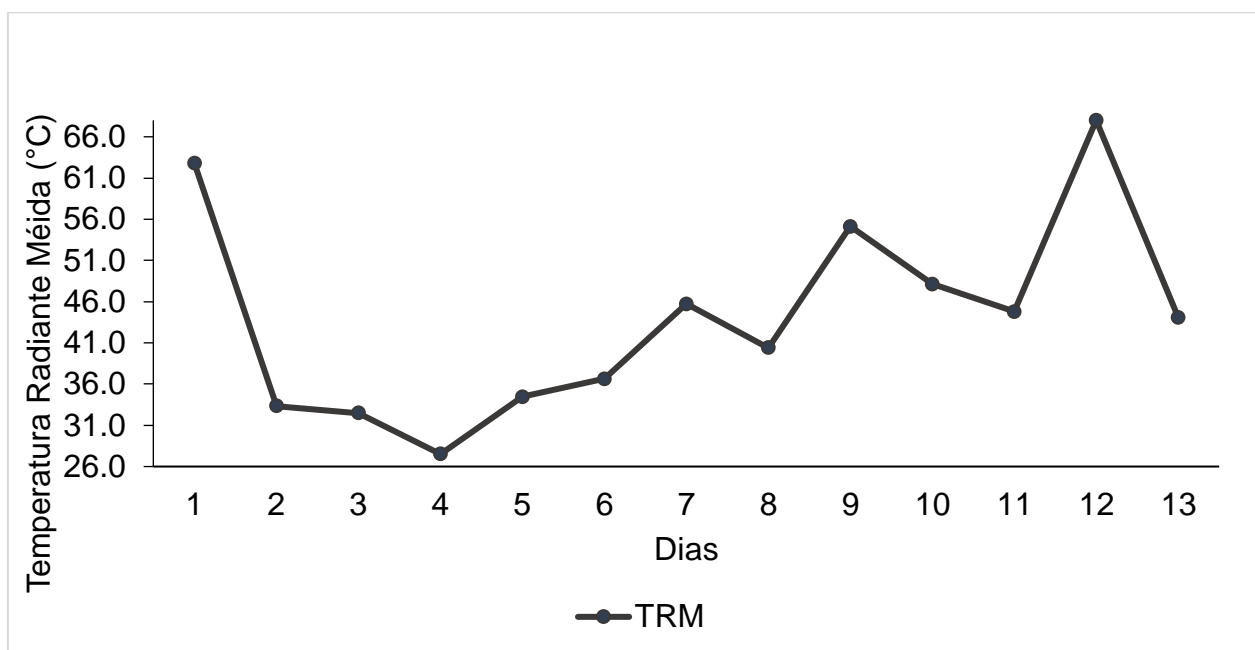


Figura 8: Médias da Temperatura Radiante Média ($^{\circ}\text{C}$) para os dias de coleta na UDCAL, da Fazenda Água Limpa.

5.2. Parâmetros meteorológicos e mecanismos de transferência de calor sensível

Ressalta-se que todos os mecanismos podem representar um ganho ou uma perda de calor: se a temperatura superficial do animal for maior do que a temperatura do ambiente indica perda de calor; se a temperatura superficial for menor que a do ambiente, indica ganho de calor, e representou-se neste trabalho os ganhos com resultados positivos e perdas com resultados negativos.

A transferência de calor por condução representou durante todo o período de coleta um ganho de calor aos animais (Figura 9), com um valor médio igual a $81,09 \text{ Wm}^{-2}$. Observou-se uma variação entre $74,84 \text{ Wm}^{-2}$ e $97,1 \text{ Wm}^{-2}$, sendo o décimo dia de menor ganho e o décimo segundo dia o de maior ganho. Para o dia de menor ganho o diferencial de temperatura entre o animal com a superfície de contato foi $8,5^{\circ}\text{C}$ e no dia de maior ganho o diferencial foi $5,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 9).

Quanto menor a diferença da temperatura corporal do animal com a temperatura da superfície, menor será a transferência de calor por condução, já que a transferência de calor entre dois corpos visa o equilíbrio térmico.

O ganho de calor por condução pode gerar um desconforto térmico ao animal, que necessita de ativar mecanismos termoregulatórios, implicando em alterações comportamentais do animal (Mós et al, 2020a). Mudar o local em que se encontra, procurar estruturas de sombreamento ou até mesmo alterar de estrutura de sombreamento, são formas de alterações comportamentais a fim de diminuir o ganho e calor com a superfície em que o animal se encontra, também envolve mudança de postura, como a postura em pé para evitar ganhos por condução (Tabela 1).

Segundo Mount et al., (1979), a condução é a forma sensível de transferência de calor que contribui menos no total de calor dissipado do animal para o ambiente. Já neste trabalho não chegou a contribuir com a dissipação de calor do animal, mas somente representou ganhos para o mesmo. Portanto, os resultados estão em concordância com o descrito por Mount et al. (1979).

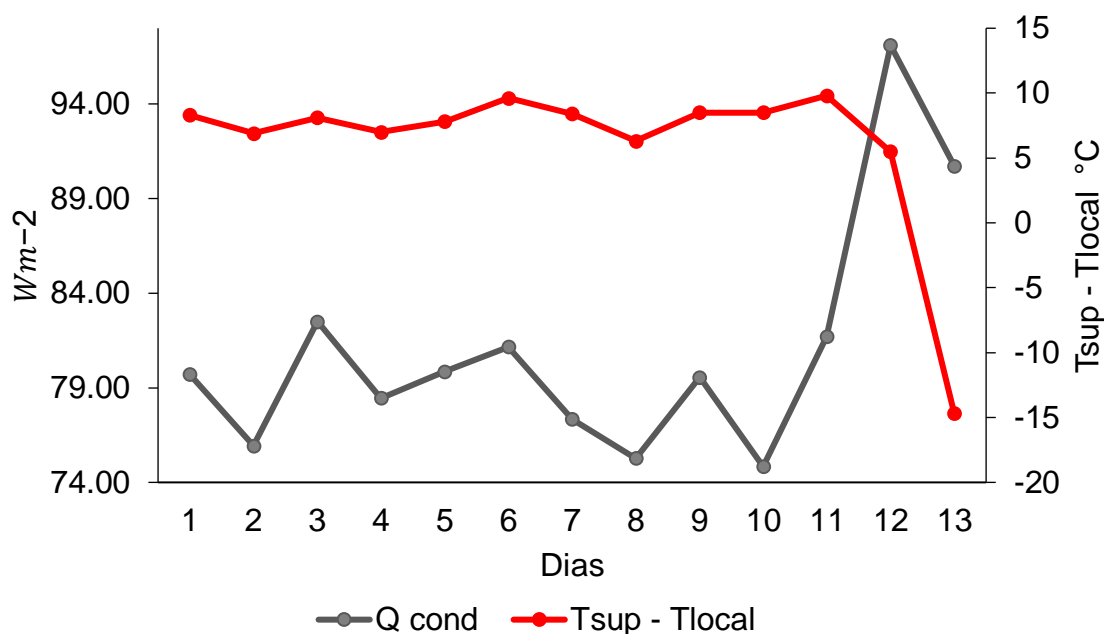


Figura 9: Transferência de calor por condução (Wm^{-2}) e diferencial entre a temperatura superficial das matrizes e o solo ($^{\circ}C$) em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa.

Para a transferência de calor por radiação de ondas longas, observou-se tanto dias em que houve fluxo (ganho de calor) quanto afluxo (perda de calor; Figura 10). destaca-se o quarto e o décimo segundo dia, cujo fluxo acompanham a mesma tendência em relação ao valor da TRM; dessa forma sendo os dias com valores extremos do fluxo de calor por radiação de ondas longas, sendo o menor valor de $-13 Wm^{-2}$, ou seja, uma perda de calor e o valor máximo de $261,22 Wm^{-2}$, resultando em um ganho de calor. O quarto dia representou o de menor valor e o décimo segundo dia o de maior valor, tanto para transferência de calor por radiação de ondas longas quanto para a Temperatura Radiante Média. O que justifica a importância de não se basear somente em valores de

Tar para estudos de transferência de calor sensível, mas também calcular a TRM para a quantificação do fluxo por radiação de ondas longas e a correlação com a transferência de calor por este mecanismo, visto que a utilização dos valores de Temperatura do ar para determinar a transferência de radiação de ondas longas resultariam somente em perdas de calor, o que na prática vimos que não resultaria em valores confiáveis (Figura 10).

Vale destacar que o dia de maior ganho de calor por radiação de ondas longas, também foi o dia de maior ganho de calor total para os animais (12º dia) e o dia que representou maior perda de calor (13º dia), foi o dia que representou menor ganho de calor total (Figura 12). Desta forma, é importante destacar o quão este mecanismo se mostrou relevante para a quantidade total de calor transferido pelo animal, em que o dia de maior ganho por radiação de ondas longas também se mostrou o dia de maior ganho total de calor para o animal e o dia de menor ganho por radiação de ondas longas, se mostrou o dia de menor ganho de calor total para o animal.

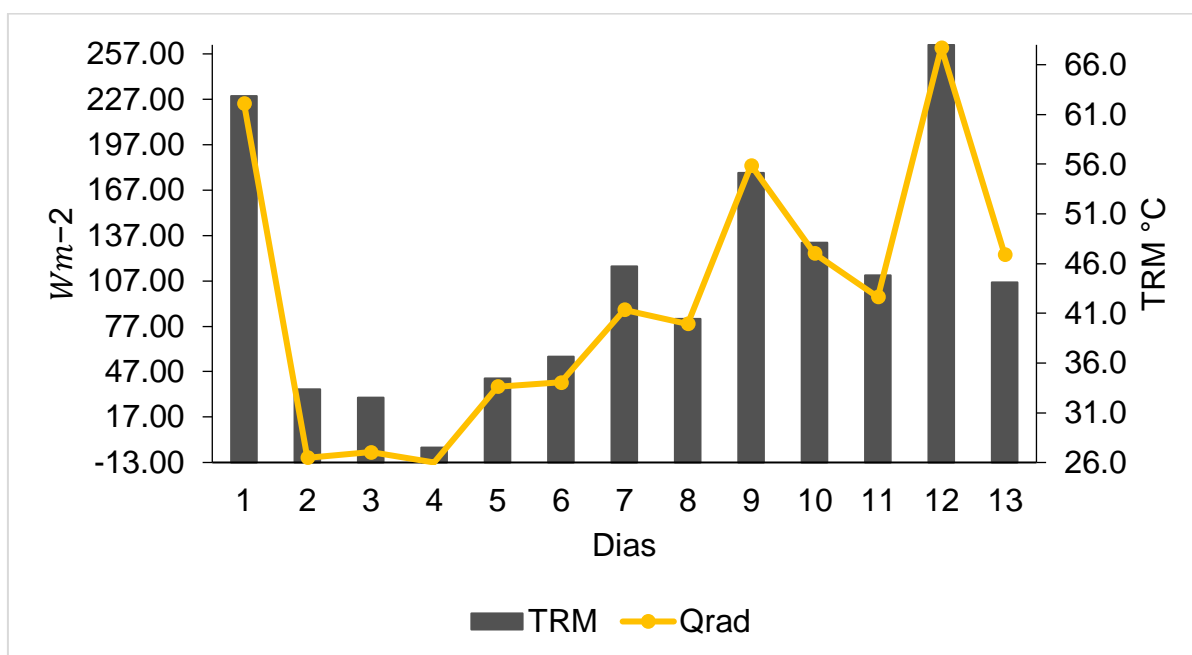


Figura 10: Temperatura Radiante Média ($^{\circ}C$) e Transferência de calor por radiação de ondas longas (Wm^{-2}) para matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa.

A convecção foi o mecanismo numericamente menos significativo para a transferência de calor das matrizes independente do dia de coleta (Figura 11). Tais resultados são justificados pela baixa velocidade do ar sobre a superfície dos animais e pela pequena diferença entre Temperatura superficial dos animais e a Temperatura do ar (Figura 11). A transferência de calor por convecção representou perda e ganho de calor dos animais durante os dias de coleta. Observou-se $10,2 \text{ Wm}^{-2}$ representando um ganho de calor no décimo terceiro dia e $-32,43 \text{ Wm}^{-2}$ no décimo dia de coleta.

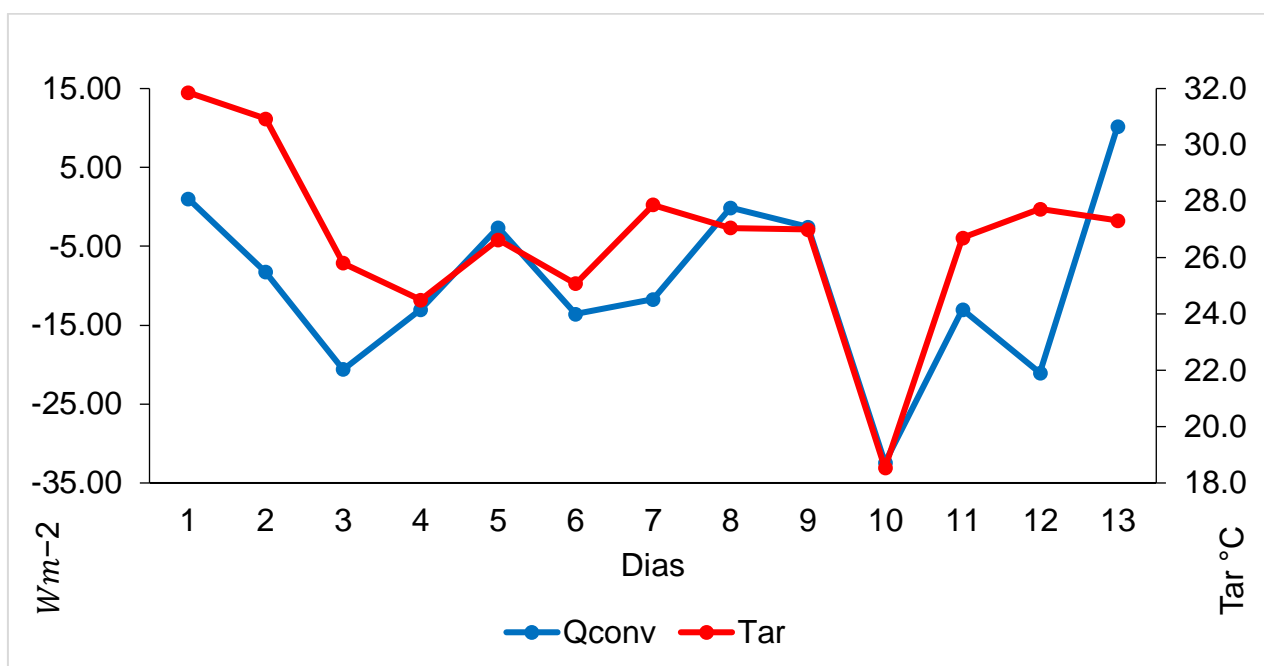


Figura 11: Transferência de calor por convecção (Wm^{-2}) para matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em relação aos dias de coleta na UDCAL da Fazenda Água Limpa.

Bruce & Clark et al., (1979), encontraram que em condições de termoneutralidade as perdas por radiação e por convecção são mais importantes para suínos confinados. Em justa posição, para suínos criados ao ar livre, a convecção é o mecanismo de maior relevância para as perdas de calor, já a radiação de ondas longas é o mecanismo de maior relevância para o ganho de calor do animal, representando maiores ganhos quando a transferência de calor por radiação de ondas longas também era maior.

Apesar da diferença estatística observada entre o balanço dos mecanismos de transferência de calor ($P < 0,05$), pondera-se que é um valor

meramente numérico, visto que para todos os dias de coleta os animais ganharam calor e estavam em desconforto térmico (Figura 12). O menor valor de balanço foi observado no quarto dia ($52,44 \text{ Wm}^{-2}$) e o maior valor foi verificado no décimo segundo dia ($337,24 \text{ Wm}^{-2}$). Esses resultados estão associados aos dias de menor e maior Temperatura Radiante Média e por consequência a de transferência de calor por radiação de ondas foi de maior influência sobre o balanço, ou seja, sobre a transferência de calor sensível total dos animais.

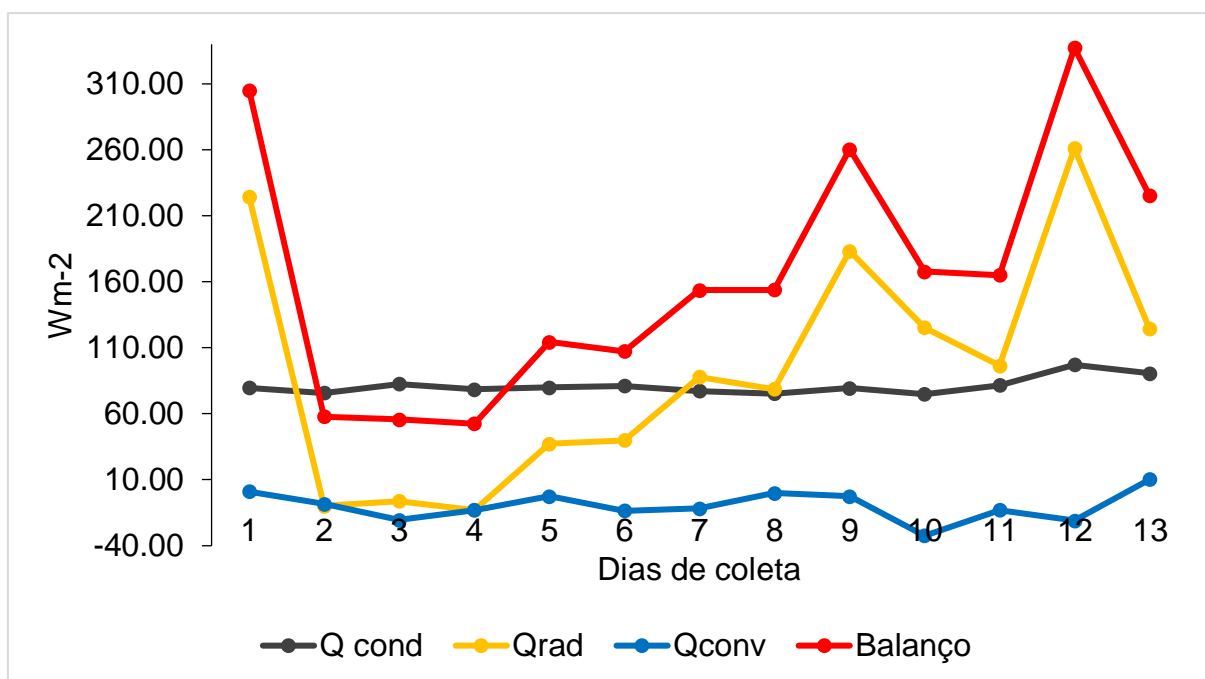


Figura 12: Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e balanço de energia (Wm^{-2}) nos dias analisados na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre.

A transferência de calor por radiação de ondas longas foi o principal mecanismo responsável pelo balanço de calor entre os dias de coleta, representando 51,56% da transferência de calor sensível total, a condução representou 43,3%, o que é bem significativo pois foi considerada para animais deitados. O mecanismo de menor contribuição para a transferência de calor foi a convecção representando 6,03% de todos os mecanismos. Isso se deve pelos baixos valores de velocidade do vento nos dias de coleta da UDCAL,

tendo como média de 0,9m/s e pelo baixo diferencial de temperatura superficial do animal com o ambiente, sendo de 6,3°C (Figura 13).

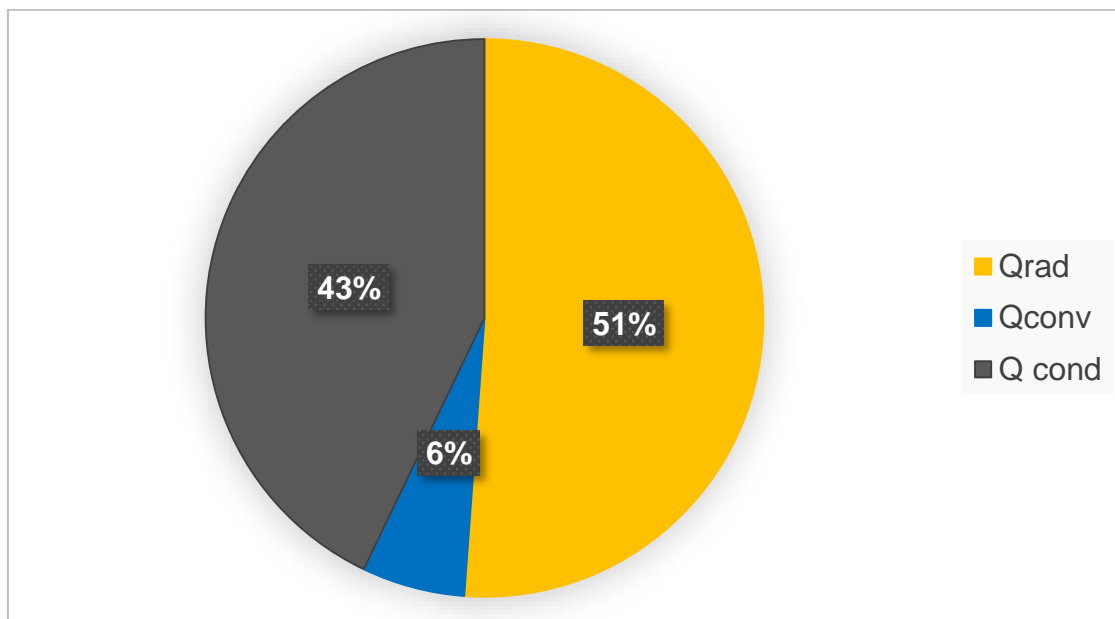


Figura 13: Contribuição dos mecanismos de transferência de calor sensível – radiação de ondas longas, convecção e condução - para o balanço da transferência de calor em suínos durante a pesquisa na UDCAL – FAL.

Em relação a postura das matrizes registrada pelas fotos termográficas, os mecanismos de transferência de calor sensível e o balanço de energia são apresentados na tabela 1. Para animais em pé desconsiderou-se a transferência de calor por condução, visto que o animal em pé tem menor superfície corporal de contato com o solo.

O ganho de calor por mecanismos sensíveis foi menor para os animais em pé, pelo fato de que para animais nesta posição evitam os elevados ganhos de calor por condução. Os suínos utilizam como primeiro mecanismo para termorregulação, as mudanças comportamentais, e por isso em sistemas ao ar livre, a fim de se evitar o ganho de calor pelo contato direto com o solo por meio da condução, os animais tendem a permanecer em pé, assim como visto por Mós et al. (2020a), ao avaliar o comportamento de matrizes suínas em sistemas de criação ao ar livre, as quais permanecem mais de 50% do seu tempo em pé. O ganho de calor por radiação de ondas longas independe em relação a postura do animal e a transferência de calor por convecção

representa uma perda de calor três vezes maior quando comparada ao animal deitado em que representa um ganho de calor.

Posição	Deitada	Em pé
Condução	183,15	-
Radiação de ondas longas	122,22	66,94
Convecção	8,43	-28,09
Balanco total	313,79	38,85

Tabela 1: Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e o balanço de energia (Wm^{-2}) em relação à posição que o animal se encontrava na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre.

Para os mecanismos de transferência de calor, não houve diferença estatística dos fluxos de radiação de ondas longas e afluxos por convecção para nenhum dos locais, água, pasto e solo ($P > 0.05$, Tabela 2). Já para o fluxo de calor por condução houve diferença estatística entre a água e o solo ($P < 0.05$).

Portanto, independentemente dos locais avaliados, mensurou-se ganho de calor por mecanismos sensíveis, tendo como a água o local de menor ganho e o solo o local de maior ganho de calor por mecanismos sensíveis, sendo a transferência de calor por condução o principal mecanismo responsável. Esses resultados justificam o comportamento dos animais em fuçarem o solo, a fim de buscar regiões de menores temperaturas do solo (Barbosa et al., 2017) e desta forma diminuir o ganho de calor por condução.

Local	Água	Pasto	Solo
--------------	-------------	--------------	-------------

Condução	59,97	79,58	103,70
Radiação de ondas longas	91,84	91,19	100,70
Convecção	-10,91	-12,29	-6,29
<hr/>			
Balanco total	140,90	158,48	198,11

Tabela 2: Mecanismos de transferência de calor (Wm^{-2}) e o balanço de energia (Wm^{-2}) em relação aos locais na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre.

6. Conclusão

Os mecanismos com maior importância para suínos em sistemas ao ar livre são a radiação de ondas longas e condução (para animais deitados). A radiação de ondas longas é o mecanismo que mais tem relevância para o ganho de calor de matrizes suínas em sistemas ao ar livre. A transferência de calor por condução representou um ganho para o animal, independentemente da situação analisada. A transferência de calor por convecção é o mecanismo de menor relevância nos ganhos ou perdas do animal.

Estruturas de sombreamento são fundamentais neste tipo de sistema, principalmente em locais com solo sem cobertura pois possuem a capacidade de diminuir a temperatura do solo, conseqüentemente diminuir os ganhos principalmente por condução, mas também pelos outros mecanismos. Diminuem também a temperatura superficial do animal que reflete em alterações na transferência de calor sensível.

Estruturas de sombreamento podem influenciar também na postura dos animais, visto que os animais tendem a permanecer em pé pelo ganho por condução e em menor degradação do solo em sistemas ao ar livre, por

proporcionar menores temperaturas do solo evitando o revolvimento do mesmo por parte dos animais, em busca de temperaturas mais amenas.

A presença de sombreamento tem a capacidade de diminuir a carga térmica radiante do ambiente com sobra projetada, conseqüentemente o ambiente irá transferir uma menor quantidade de calor por radiação de ondas longas, resultando em menores ganhos do animal por este mecanismo.

7. Referências

ABREU, M. L. T. et al. Nutrição em climas quentes. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 1., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s. n.], 2002. p. 200-217.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G.; Climate classification map for Brazil Köppen's. **Meteorologische Zeitschrift**. V.22, p.711-728, 2013.

ANDERSEN, H. M. L.; The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 113, p.43-56, 2008.

ASHRARE. Thermal Comfort. **ASHRARE. Fundamentals**. Chapter 8. Atlanta, 2001.

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

BARBOSA, A.J. de S.; GOMES, P.M.; CABRAL, A.R.R.; DA SILVA, K.M.; da SILVA, F.L.; de PAIVA, J. N.; SOARES, F. H.; da SILVA; C.P.; CASTRO, J.; BRETHEL, S.; PERINI, J. E. G. N.; SANTANA, A. P.; e MURATA, L.S.; Argola nasal em suínas reprodutoras criadas ao ar livre. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v.18, p.1-12, 2017.

BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.481-488, 2015.

BARROS, P. C. et al. Aspectos práticos da termorregulação em suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, v.7, n. 3, p.1248-1253, 2010.

BÍCEGO, K. C.; GARGAGLIONI, L.H. Fisiologia Térmica de Vertebrados. **Cultura acadêmica**, 1. Jaboticabal, São Paulo. 2020. p. 363.

BJERG, B.; BRANDT, P.; PEDERSEN, P.; ZHANG, G.; Sows' responses to increased heat load – A review. **Journal of Thermal Biology**. v.94, p.102-758, 2020.

BRUCE, J.M.; CLARK, J.J.; Models of heat production and critical temperature for growing pigs. **Anim. Prod**, v.28, p.363-369, 1979.

COLAK, A.; POLAT, B.; OKUMUS, Z.; Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.91, p.4.244-4.248, 2008.

COLLIN, A.; Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. 1849-1857, 2001.

CURTIS, S.E.; Environmental management in animal agriculture. **Ames: The Iowa State University Press**, 1983. 409p.

DA SILVA, R.G.; MAIA A.S.C. **Principles of animal biometeorology**. 1.e.d. Springer, Dordrecht. 2013. 264 p.

DA SILVA, R.G.; MAIA A.S.C. **Principles of animal biometeorology**. Springer, New York, NY. 2013
LEÃO, J. M.; LIMA, J. A. M.; PÔSSAS, F. P.; PEREIRA, L. G. R.; Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, n. 79, p. 97-109, 2015.

DALLA COSTA, O.A., DIESE, R., LOPES, E.C., HOLDEFER, C., COLOMBO, S.; Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre - SISCAL: Cabanas de maternidade. **Embrapa Suínos e Aves**, ct.283, p.1–11, 2001.

DAVIS, L. B.; BIRKEBAK, R. C. On the transfer of energy in layers of fur. **Biophysical Journal**. v.14, p.249-268, 1974

EDDY, A. L., VAN HOOGMOED, L. M. and SNYDER, J. R. The role of thermography in the management of equine lameness. **Veterinary Journal**, v. 162, p..172–181. 2001.

FAWC. (2009). *Farm animal welfare in Great Britain: Past, present and future*. England: **Farm Animal Welfare Council**, 2009.

FERREIRA, R. A.; Criação de suínos em clima quente. In: SEMANA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA, 2., e SEMANA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO SUDOESTE DA BAHIA, 2., 2002, Itapetinga. **Anais...** Itapetinga: UESB, 2002. v.1, p. 73-101.

FIORELLI, J.; SCHMIDT, R.; KAWABATA, C.Y.; Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. **Ciência Rural**, Pirassununga, v.42, p.64-67, 2012.

HANNAS, M.I.; Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: **SILVA, I.J.O. Ambiente e Qualidade na Produção Industrial de Suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.01-33,1999.

HOTZEL, M.J.; FILHO, L.C.P.M. Bem-estar Animal na Agricultura do século XXI. **Revista de Etologia**. v.6. n. 1. p. 3-15, 2004.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK, A. J. A.; TRUONG, C. T.; KEMP, B.; VERSTEGEN, M. W. A. Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. **Livestock Science**, v.104, p.278-291, 2006.

KOTRBA, R., KNÍZKOVÁ, I., KUNC, P., BARTOS, L. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 32, p. 355–359, 2007.

MACHADO FILHO, P.L.F.; HOTZEL, M.J.; Bem-estar dos suínos. In: Seminário internacional de Suinocultura, 5., 2000. **Anais...** São Paulo, SP, 2000, p.70–82.

MAIA, A.S.C., DA SILVA, R.G., NASCIMENTO, S.T.; THERMOREGULATORY responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**. V.59, p.1025–1033, 2015.

MANNO, M. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, W. P.; VIEIRA VAZ, R. G. M.; SILVA, B. A. N.; SARAIVA, E. P.; LIMA, K. R. S.; Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.471-477, 2006.

MONTANHOLI, Y. R., ODONGO, N. E., SWANSON, K.C., SCHENKEL, F.S., MCBRIDE, B.W., MILLER, S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468–475, 2008.

MÓS, J.V.N.; NASCIMENTO, S.T.; MURATA, L.S.; SANTOS, V.M. dos; STEIDLE NETO, A.J.; OLIVEIRA, E.M. de; LISBOA, A.S.; SILVA, L.F. Thermal Comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. **Journal of Thermal Biology**. v. 88, p.102-489, 2020a.

MÓS. J.V.N; OLIVEIRA. E.M.; SANTOS. V.M.; MURATA L.S.; NASCIMENTO S.T.; Percepção dos cidadãos do Centro-Oeste acerca do conforto térmico de suínos. **SuinoBrasil**. Brasília, 2020b. 17p.

MOUNT, L.E.; **Adaptation to thermal environment- man and his productive animals**. Baltimore, Maryland, University Park Press, 1979. p. 333.

NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183p.

NAZARENO, A.C.; SILVA I.O.; NUNES M.A.; CASTRO, A.C; MIRANDA, K.S.; TRABACHINI, A.; Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.3, p.314–319, 2012.

NUNES, C. G. V.; COSTA, E. P.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; NUNES, R. V.; CARVALHO, G. R.; Efeito do acondicionamento térmico ambiental sobre o desempenho reprodutivo da fêmea suína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.854-863, 2003.

OLIVEIRA, R.F; FERREIRA, R.A.; **Estresse por calor em suínos machos castrados**. 2016, 130 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OMTVEDT, I.T. et al. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. **Journal of Animal Science**, v.32, p.312-317. 1971

PANDORFI, H.; Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, P.326-332, 2008.

PASSINI, R.; DE ALMEIDA, E.A.; NERI, S.C.M.; AKAMINE, L.A.; NASCIMENTO, S.T. Thermal environment in mobile shelters with diferente cover types used for chicken housing at the semi-extensive rearing system. **International Journal of Biometeorology**, v.64, p.1947–1955, 2020.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.; FURTADO, D.A.; DELFINO, L.J.B.; MAQUES, B.A.A.; Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Campus de Patos, v.2, n.3, p.73-84, 2014.

RODRIGUES, N. E. B.; Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. Revista **Eletrônica Nutritime**. Viçosa, v. 7, p. 1197-1211, 2010.

SANTOS, A.S; NASCIMENTO, S.T.; Termografia como ferramenta na avaliação do conforto térmico de suínos em sistema de criação ao ar livre. In: Congresso de Iniciação Científica do Distrito Federal, 17., 2020, **Anais...** Brasília: CNPQ, 2020, p.1-12.

SANTOS, J. R. S.; SOUZA, B.B.; SOUZA, W.H.; CEZAR, M.F.; TAVARES, G.P.; Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das raças Santa Inês, Morada Nova e de seus cruzamentos com a raça Dorper às condições do semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n.5, p.995-1001, 2006.

SILVA, I.J.O.; Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: Seminário internacional de suinocultura, 4., 1999, **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1999, p. 108-121.

SILVA, I. J. O; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S.; Influência do sistema de alojamento no comportamento e bem-estar de matrizes suínas em gestação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37, p.1319-1329, 2008.

SOUZA, P.; **Suínos e climas quentes**: como promover o bem-estar aos animais? - Conforto térmico e bem estar na suinocultura. Lavras: UFLA, 2004. 69 p.

STEWART, M.; WEBSTER, J.R.; SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; SCOTT, S.L.; (2005) Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**. v.14 p.319-325, 2005..

WILLIAMS, A. M.; **Effects of heat stress on reproduction and productivity of primiparous sows and their piglets performance**. 2009. 136 p. Thesis (Master of Science) - University of Missouri, Columbia, 2009.