

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JUCEMARA APARECIDA RÖSLER**

**AUTOMAÇÃO DA VENTILAÇÃO EM SISTEMA *COMPOST BARN*:  
IMPLICAÇÕES NO COMPORTAMENTO E FISIOLOGIA TÉRMICA  
DE VACAS LEITEIRAS**

**DOIS VIZINHOS 2021**

JUCEMARA APARECIDA RÖSLER

**AUTOMAÇÃO DA VENTILAÇÃO EM SISTEMA *COMPOST BARN*:  
IMPLICAÇÕES NO COMPORTAMENTO E FISIOLOGIA TÉRMICA  
DE VACAS LEITEIRAS**

**Automated Ventilation in Compost Bedded Pack Barn System: Impacts on  
Behaviour and Thermal Physiology of Dairy Cows**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Zootecnia da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador: Frederico Márcio Corrêa Vieira.

Coorientador: Katia Atoji-Henrique

**DOIS VIZINHOS**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao (s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Dois Vizinhos



JUCEMARA APARECIDA ROSLER

**AUTOMAÇÃO DA VENTILAÇÃO EM SISTEMA COMPOST BARN: IMPLICAÇÕES NO COMPORTAMENTO E FISIOLÓGIA TÉRMICA DE VACAS LEITEIRAS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Zootecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Produção Animal.

Data de aprovação: 01 de Julho de 2021

Prof Frederico Marcio Correa Vieira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Ana Luiza Bachmann Schogor, Doutorado - Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc)

Prof Matteo Barbari, Doutorado - Università Degli Studi Di Firenze (Unifi)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/07/2021.

Dedico este trabalho a todos que fazem parte da minha vida e reconhecem minha luta. Esses compartilharão da minha glória, pois me mostram a cada dia que bons frutos vêm de boas sementes plantadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a vida e forças para conseguir alcançar meu objetivo, ao que cada dia me oferecer novas oportunidades de crescer e restaurar meus erros, na busca de evolução.

Agradeço ao meu esposo Marco que durante a minha trajetória sempre estiveram ao meu lado, me erguendo e motivando a continuar.

Agradeço a minha família por ter me incentivado, aos meus pais Cleusa e Adolfo e aos meus irmãos João, Juliane e Joana.

Agradeço aos meus orientadores Frederico e Katia, por toda contribuição neste trabalho e para meu desenvolvimento, pessoal e profissional.

Agradeço a família Pagnussat por ter cedido a sua fazenda para que este trabalho fosse executado.

Agradeço aos colaboradores da fazenda Itacir e Keila por toda ajuda e paciência durante a execução do experimento.

Agradeço ao professor Marco Possentti, pela contribuição de conhecimento na instalação dos equipamentos necessários para a execução do experimento.

Agradeço a Leigado pela ajuda e apoio no desenvolvimento dos equipamentos e aplicativo Karina, Giandro, Alisson, Eduany e Rafaela.

Agradecimento a CAPES, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“O Sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.  
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas  
admiráveis.”

José de Alencar

## RESUMO

RÖSLER, Jucemara Aparecida. **Automação da ventilação em sistema *compost barn*: implicações no comportamento e fisiologia térmica de vacas leiteiras.** 2021. 102p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

A adesão ao sistema *compost barn* na produção leiteira é crescente na região Sul do país. Todavia, os sistemas de climatização ainda consistem em ventiladores acionados manualmente, o que resulta em variadas condições térmicas para as vacas em lactação. São escassas as pesquisas que envolvem automatização e avaliação dos parâmetros térmicos de acionamento destes sistemas. Com base no exposto, objetivou-se por meio do presente trabalho avaliar se diferentes programas de ventilação, com base em temperatura e umidade do ar, influenciam no microclima, conforto térmico e comportamento de vacas em lactação em sistema *compost barn*. O experimento foi realizado entre os meses de fevereiro e março de 2020, em um sistema de *compost barn* localizado no município de São Jorge D'Oeste, Paraná. Neste experimento foram avaliadas 26 vacas em lactação, as quais foram submetidas a quatro tratamentos de ventilação, onde o sistema era acionado automaticamente quando atingiam o limite de temperatura e umidade estabelecidos. Os tratamentos estudados foram: 25 °C/70% (temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente), 25 °C/50%, 23 °C/70% e 23 °C/50%. Cada um dos tratamentos teve duração de uma semana. Durante este período foram registradas: temperatura, umidade e velocidade do vento interna e externa do *compost barn*, índices de conforto térmico (Índice de Temperatura e umidade - ITU, Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade - ITGU e Carga Térmica Radiante - CTR). Para a qualidade de cama foram avaliadas a temperatura interna, superficial e umidade da cama. Também foram aferidas: temperatura corporal superficial, frequência respiratória e produção de leite. Também foi avaliado o comportamento dos animais, por meio de filmagem com duração de 24 horas. Quanto ao ambiente térmico, os tratamentos 25 °C/70% apresentaram menor CTR ( $470 \text{ W m}^{-2}$ ). Nenhum tratamento reduziu a temperatura interna em relação à externa e não reduziram a umidade relativa nos períodos mais quentes. Para as respostas fisiológicas, o tratamento 23 °C/70% apresentou respostas fisiológicas que indicavam estresse térmico com temperatura da superficial corporal média acima de 35 °C e frequência respiratória acima de 70 mov.  $\text{min}^{-1}$ . No tratamento 25 °C/70% foi registrada menor temperatura superficial da cama (22 °C) e menor temperatura interna da cama (45 °C). No que se refere às respostas comportamentais, no tratamento 25 °C/70% as vacas ficaram mais tempo ruminado deitadas na parte da noite (probabilidade 0,8) e na parte da tarde (duração de 50 minutos). Para os outros tratamentos 25 °C/50% (probabilidade 0,3), 23 °C/70% (probabilidade 0,2) e 23 °C/50% (probabilidade 0,3) observamos mais comportamento em pé, o que consistem em indicativo de estresse térmico. Concluímos que os programas de ventilação interferem no microclima, variáveis da cama, termorregulação e comportamento das vacas alojadas em *compost barn*, sendo o tratamento que apresentou resultados mais favoráveis quanto ao conforto térmico dos animais foi o tratamento 25 °C/70%.

**Palavras chaves:** Sistema de ventilação. Zootecnia de precisão. Automação  
Biometeorologia

## ABSTRACT

RÖSLER, Jucemara Aparecida. **Automated Ventilation in Compost Bedded Pack Barn System: Impacts on Behaviour and Thermal Physiology of Dairy Cows.** 2021.102p. Dissertation (Master in Animal Science) – Federal University of Technology - Paraná, Campus Dois Vizinhos, 2021.

Compost bedded pack barn (*compost barn*) system has been increasingly used for milk production in the south region of Brazil. However, acclimatizing systems are still consisted of manual activation of ventilators, which results in variations of the thermal conditions to lactating cows. Research involving automation and evaluations of thermal parameters to activate these systems are scarce. Based on the exposed, the aim of this work was to evaluate if different ventilation programs, based on temperature and air humidity, have influence on microclimate, thermal comfort and behaviour of lactating cows in *compost barn* system. Experiment was performed between February and March 2020, in a milk production unit located in São Jorge D'Oeste Municipality, Paraná State. In this experiment, 26 lactating cows were evaluated, submitted to four ventilation treatments, in which the system was activated automatically when temperature and air humidity thresholds were reached. Studied treatments were 25 °C/70% (temperature/air relative humidity), 25 °C/50%, 23 °C/70% e 23 °C/50%. Each treatment lasted one week, and during this time data was collected about temperature, humidity, wind speed inside and outside of the *compost barn*, thermal comfort indexes (Temperature-Humidity Index – ITU, Black Globe Temperature-Humidity Index – ITGU, and Radiant Heat Load – CTR). The quality of bedding was evaluated with its internal and superficial temperature, and humidity. Cows were evaluated regarding their superficial body temperature, respiratory rate, and milk production. Their behaviour was evaluated by video recordings for 24 hours. As for the thermal environment, treatment 25 °C/70% resulted in lower CTR (470 W m<sup>-2</sup>). Treatment 23 °C/70% was efficient to reduce internal air temperature after 18 hours, but no treatment reduced the internal temperature when compared to the external temperature, and none reduced relative humidity in the warmest times. Physiological responses were observed in treatment 23 °C/70%, indicating thermal stress with average superficial body temperature above 35 °C and respiratory rate above 70 mov. min<sup>-1</sup>. The lower superficial bedding temperature (22 °C) and the lower internal bedding temperature (45 °C) were registered in treatment 25 °C/70%. Behavioural responses in treatment 25 °C/70% resulted in cows ruminating while laying down longer during the night time (probability 0,8) and the afternoon time (lasting 50 minutes). Other treatments 25 °C/50% (probability 0,3), 23 °C/70% (probability 0,2) and 23 °C/50% (probability 0,3) resulted in more standing behaviour, which indicates thermal stress. We concluded that the ventilation systems interfere on the microclimate, bedding variables, thermo-regulation and behaviour of cows housed in *compost barn*, and treatment 25 °C/70% presented the most favourable results regarding thermal comfort of dairy cows.

**Keywords:** Ventilation systems. Precision livestock farming. Automation. Biometeorology

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1-Localização geográfica da unidade experimental.....	28
Fotografia 2- Pista de alimentação e adendos do local.....	29
Fotografia 3- Cama de maravalha utilizado como acomodação; B= Equipamento utilizado para revolvimento de cama de maravalha.....	30
Fotografia 4-Ilustração da disposição dos ventilador utilizado para compor o sistema de ventilação .....	30
Fotografia 5-Marcação nos animais, onde: A=animal marcado com tinta descolorante; B=animal marcado com tinta preta .....	33
Fotografia - 6-A= Estrutura do sensor. Legenda: a) sensor; b) node MCU; c) aplicativo; interruptor; e) sistema de ventilação B= Aplicativo usado para programar o sistema .....	34
Fotografia 7-Protótipo de sensor de umidade e temperatura, onde: A= hardware; B= sensor .....	35
Fotografia 8-Câmeras de vídeo da marca Intelbras; B) DVR da marca Intelbras .....	35
Fotografia 9-A) Data loggers Hobo U12-013 (Onset) utilizado para medição das variáveis; B) Globo negro.....	37
Fotografia 10-A- Anemômetro digital portátil (Mastech); B- uso do anemômetro digital .....	38
Fotografia 11-Pontos em que o termômetro foi posicionado no animal.....	40
Fotografia 12-Termômetro tipo espeto (A) e termômetro infravermelho com mira a laser (Flir, USA) (B).....	41
Figura 1-Disposição das câmeras para avaliação do comportamento .....	36
Figura 2 - Pontos fixos de coleta de cama, aferição de temperatura e velocidade do vento (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J).....	41
Gráfico 1 - Condições meteorológicas externas do galpão, A) Temperatura do ar, B) Umidade relativa do ar .....	49
Gráfico 2 - <i>Box-plot</i> da temperatura do ar (a), umidade do ar (b) e velocidade do vento (c) no sistema Compost Barn, nos períodos diários (manhã, tarde e noite ou horas) e tratamentos (programas de ventilação). Pontos pretos dentro da caixa simbolizam a .....	50
Gráfico 3- <i>Box-plot</i> do índice de temperatura e umidade (ITU) (a), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (b), carga térmica radiante (CTR) (c) no sistema compost barn, durante os períodos diários e tratamentos (programas de ventilação). Pontos preto .....	52
Gráfico 4-Variação da temperatura do ar dentro do sistema compost barn, em função das horas do dia (a) e entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão) (b). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )... ..	54
Gráfico 5-Variação da diferença entre a temperatura do ar (a), variação da umidade relativa do ar (b) e variação da diferença entre a umidade relativa (c). Diferença foi calculada usando os valores das variáveis interno e externo do compost barn em função das horas .....	55
Gráfico 6-Variação da velocidade do vento (a), variação do índice de temperatura e umidade (ITU) (b) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (c), em função das horas do dia .....	57

<b>Gráfico 7-Varição da carga térmica radiante dentro do sistema compost barn, em função das horas do dia (a) e entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão) (b). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p &lt; 0,05)</b>	58
<b>Gráfico 8-Box-plot da temperatura superficial da cama (a), temperatura interna da cama (b) e umidade relativa da cama (c) no sistema compost barn, durante os períodos diários e tratamentos (programas de ventilação)</b>	60
<b>Gráfico 9-Varição da temperatura da superfície da cama (a) e variação da temperatura interna da cama (b) em sistema compost barn, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)</b>	62
<b>Gráfico 10-Varição da umidade relativa da cama em sistema compost barn entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p &lt; 0,05)</b>	64
<b>Gráfico 11-Box-plot da temperatura superficial média (a), frequência respiratória (b) e produção de leite (c) das vacas leiteiras no sistema compost barn, em duas ordenhas diárias e tratamentos programas de ventilação</b>	65
<b>Gráfico 12-Varição da temperatura superficial média (a) e variação da frequência respiratória (b) das vacas leiteiras no sistema compost barn, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)</b>	67
<b>Gráfico 13-Probabilidade de ocorrência dos comportamentos ruminar em pé (a), ingerir água (b) e alimentação (c) ao longo dos horários de avaliação</b>	72
<b>Gráfico 14-Varição da probabilidade de ocorrência de ruminar deitado em sistema compost barn (a) e variação da duração da ruminação deitada (b)</b>	75
<b>Gráfico 15-Varição da duração da ruminação em pé (a) e variação da probabilidade de ocorrência de ócio em pé (b) em função das horas</b>	77
<b>Quadro 1-Etograma dos comportamentos avaliados, conforme Endres e Barberg (2007)</b>	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características zootécnicas dos animais avaliados (média ± desvio-padrão)	31
Tabela 2 – Dieta alimentar fornecida as vacas durante o estudo	32
Tabela 3- Condições meteorológicas externas ao sistema Compost Barn para vacas leiteiras durante o período experimental	48
Tabela 4-Análise de <i>deviance</i> da temperatura do ar (TAR), diferença da temperatura do ar (Diferença TAR), umidade relativa (UR), diferença da umidade relativa (Diferença UR), velocidade do vento (VV), índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), Carga térmica radiante (CTR)	53
Tabela 5 - Análise de <i>deviance</i> da temperatura de superfície da cama (TS), temperatura de profundidade da cama (TI) e Teor de umidade da cama (UC), de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período	61
Tabela 6-Análise de <i>deviance</i> da temperatura superficial média (TSM), frequência respiratória (FR) e produção de leite (PROD), de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período	66
Tabela 7-Médias de quadrados mínimos e erro-padrão da média de produção de leite das vacas em sistema compost barn, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)	68
Tabela 8-Proporção (%) de ocorrência dos comportamentos avaliados nas vacas leiteiras, em função dos tratamentos avaliados	69
Tabela 9 - Estatísticas descritivas da duração (minutos) dos comportamentos avaliados nas vacas leiteiras durante o período experimental	70
Tabela 10-Análise de <i>deviance</i> da probabilidade de ocorrência dos comportamentos de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período	71
Tabela 11-Análise de <i>deviance</i> da duração (minutos) dos comportamentos de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período	72
Tabela 12 - Tabela resumo com os principais resultados	78

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2.	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1.	Objetivo geral .....	16
2.2.	Objetivos específicos.....	16
3.	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
3.1.	Sistemas de produção leiteira no Brasil.....	17
3.2.	<i>Compost Barn</i> .....	18
3.3.	Ambiência e termorregulação de bovinos leiteiros .....	20
3.4.	Comportamento.....	23
3.5.	Automação de climatização em sistemas confinados.....	25
4.	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
4.1.	Descrição Geral .....	27
4.2.	Descrição das instalações do experimento ( <i>compost barn</i> ).....	28
4.3.	Descrição da Cama .....	29
4.4.	Descrição do sistema de ventilação .....	30
4.5.	Descrição dos animais.....	31
4.5.1.	Identificação dos animais .....	32
4.6.	Descrição dos Tratamentos.....	33
4.7.	Sensor de acionamento automático do sistema de ventilação .....	34
4.8.	Comportamento.....	35
4.9.	Variáveis microclimáticas.....	36
4.9.1.	Índices de conforto térmico.....	38
4.9.2.	Termorregulação .....	39
4.9.3.	Variáveis da cama.....	40
5.	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	42
5.1.	Microclima e índices de conforto térmico .....	42
5.2.	Temperatura da cama .....	44
5.3.	Termorregulação e produção de leite .....	44
5.4.	Umidade da cama.....	45
5.5.	Comportamento animal .....	45
5.5.1.	Probabilidade de ocorrência dos comportamentos .....	46
5.5.2.	Tempo de duração dos comportamentos .....	47
6.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48

6.1.	<b>Ambiente térmico do sistema <i>compost barn</i> .....</b>	<b>48</b>
6.2.	<b>Temperatura e umidade relativa da cama.....</b>	<b>59</b>
6.3.	<b>Termorregulação e produção de leite .....</b>	<b>64</b>
6.4.	<b>Comportamento animal .....</b>	<b>69</b>
7.	<b>TABELA RESUMO .....</b>	<b>78</b>
8.	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>79</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXO A – Planta baixa do <i>compost barn</i> usado como unidade experimental .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente térmico pode afetar negativamente a produção de leite, especialmente em animais de alto mérito genético (NARDONE *et al.*, 2010), e uma alternativa é confinar os animais com o objetivo de fornecer um ambiente climatizado. O sistema de *compost barn* é um tipo de confinamento para vacas de leite que, quando projetado e manejado dentro das recomendações técnicas possibilita que o microclima interno seja controlado (SKUCE *et al.*, 2013). Isso é possível com a instalação de ventiladores e climatizadores, que auxiliam devido à redução da temperatura ambiente, para que a mesma fique dentro da zona de termo neutralidade de bovinos com aptidão leiteira, que é entre de -5 a 25°C (NARONGSAK, 2012).

Dentro da zona termoneutra, as vacas são possibilitadas de realizar a troca de calor com o ambiente e não necessitam acionar mecanismos termorregulatórios, proporcionando conforto e bem-estar aos animais. Quando expostas a altas temperaturas, as vacas entram em estresse térmico, e no intuito de manter a integridade corporal respostas fisiológicas adversas são emitidas, comprometendo a produção, a sanidade e nutrição (BAUMGARD; RHOADS; 2013).

Dentre as respostas podemos citar redução de produção, ocasionadas pela redução de consumo de ração (WEST, 2003) e morte de células produtoras de leite, devido a hipertermia (COLLIER *et al.*, 2008). Além de afetar a imunidade (AZEVEDO, 2009) e expor os animais a enfermidades. Problemas reprodutivos são relatados junto a baixa fertilidade (PEREIRA *et al.*, 2013). O estresse térmico ocasiona diversas alterações fisiológicas, comportamentais, produtivas e reprodutivas (NEGRÓN-PÉREZ *et al.*, 2019), sugerindo a necessidade de disponibilizar um ambiente mais confortável e assim reduzir os efeitos colaterais ocasionados pelo microclima desfavorável, os quais podem ser alcançados com o uso de sistemas de ventilação.

Os autores Black *et al.* (2013) e Galama *et al.* (2014), relataram a importância da utilização de sistemas mecânicos de ventilação para promover uma boa circulação de ar, retirar o excesso de calor, gases e odores que podem prejudicar a saúde dos animais. O uso de ventiladores pode reduzir a magnitude do estresse térmico que afeta a vaca e melhorar a termorregulação e aumentar a produção de leite (HENSEN; FUQUAY, 2020).

Atualmente os sistemas de ventilação oferecidos aos rebanhos leiteiros apresentam acionamento de forma manual ou então por sensor de temperatura (PILATTI; VIEIRA, 2017; DANELUZ, 2020) e sensores com acionamento automático por meio de temperatura e umidade. Kaufmann *et al.* (2020) enfatizam o uso da automação de sistema de ventilação, e observaram redução de temperatura retal e vaginal, além de reduzir frequência respiratória de vacas em sistemas com ventilação de acionamento automático. Levit *et al.* (2021), enfatizam o uso de *bolus* para identificar a temperatura corporal e determinar o plano de resfriamento, conforme valores de temperatura corporal obtidos, mas não enfatizam a automatização dos sistemas de ventilação.

Embora os trabalhos que tenham avaliado o sistema de *compost barn* com foco em ambiência (ALMEIDA *et al.*, 2010), qualidade da cama (VIEIRA *et al.*, 2021), comportamento de vacas em lactação (PILATTI *et al.*, 2019; PILATTI *et al.*, 2021), eles pouco enfatizam o controle térmico automatizado. Enquanto Norton *et al.* (2019) enfatizou a importância da zootecnia de precisão para impactar positivamente no bem-estar e na saúde animal.

O presente estudo objetiva avaliar se diferentes programas de ventilação, com base na temperatura e umidade ar, influenciam o microclima de sistemas *compost barn*. Além de contribuir com a sociedade científica, espera-se com este trabalho, avaliar-se diferentes programas de acionamento automáticos, favorecerem o microclima dentro do sistema de confinamento *compost barn*, e seus efeitos sobre o comportamento e termorregulação das vacas em lactação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Objetiva-se por meio deste projeto avaliar se diferentes programas de ventilação, com base em temperatura e umidade do ar, influenciam no microclima, conforto térmico e comportamento de vacas em lactação em sistema *compost barn*.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar se os programas de ventilação, com base na variação de temperatura e umidade, interferem no microclima de sistemas *compost barn*;
- Avaliar se os programas de ventilação, com base na temperatura e umidade do ar interferem nas características térmicas da cama;
- Analisar se os programas de ventilação, com base na temperatura e umidade do ar interferem no comportamento e termorregulação dos animais.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sistemas de produção leiteira no Brasil

No Brasil, mais de um milhão de estabelecimentos rurais produzem leite (IBGE, 2017), distribuídos em todos os estados, exercendo a atividade em três principais sistemas: extensivo, semi-intensivo e intensivo, com grande variação quanto ao nível tecnológico. O sistema com maior ocorrência é o extensivo, no qual os animais são mantidos em pastagem com adoção de poucos recursos tecnológicos (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Segundo Kismul *et al.* (2019) produzir leite a pasto é mais barato quando comparado a sistemas que utilizam forragens conservadas. No entanto manter vacas de alta produção somente em pastagem resultam em redução de produção de leite, uma vez que apresentam maior exigência de nutrientes (SPÖRNDLLY; KARLSSON, 2015), fazendo-se necessário suplementar com forragem conservada a medida que os rebanhos aumentam e tornam-se mais produtivos (HUYGHE *et al.*, 2017), transitando para sistemas semi-intensivos.

Os sistemas semi-intensivos trazem uma proposta de inovação tecnológica, nos quais se aplicam recursos, como melhorias de alimentos, seleção genética, estruturas e sistemas de resfriamento para melhorar a produtividade (SIMÕES *et al.*, 2009). Esse sistema sai de uma proposta de produção a pasto e se inclui alimentação conservada como silagem ou até mesmo concentrados, que são opções que podem ser utilizadas em períodos de sazonalidades, garantindo a produção (SANTOS *et al.*, 2011). Conforme aumenta a produção a tendência é que o sistema a pasto seja deixado de lado.

Nos sistemas intensivos, os animais permanecem confinados em um determinado espaço e recebem os recursos básicos de manejo, tais como: os alimentos, água, ventilação artificial e até mesmo aspersão. De acordo com Zanin *et al.* (2015) confinar as vacas é uma alternativa para elevar a produção de leite dos rebanhos, proporcionando condições de conforto e bem-estar para os animais destinados a produzir leite.

Os sistemas intensivos frequentemente observados no Brasil são o *free stall* e o *compost barn*, com objetivo de intensificar a produção e ao mesmo tempo favorecer o manejo dos animais, proporcionando um ambiente mais confortável. O *free stall* foi o primeiro sistema de confinamento utilizado no Brasil, mas, desde 2012 o sistema de *compost barn* vem conquistando o seu espaço. Estes sistemas

apresentam o mesmo objetivo de manter os animais alojados, recebendo água e comida, com pista de alimentação e área de descanso se diferenciando principalmente pelas camas, sendo individuais no sistema *free stall* de material orgânico ou sintético (FULWIDER *et al.*, 2007), enquanto no *compost barn*, a cama é apenas de material orgânico e os animais podem escolher o espaço para descanso (BLACK *et al.*, 2014). Estes sistemas, quando bem manejados possibilitam melhor controle microclimático, oferecendo condições para que os animais tenham conforto.

### **3.2. Compost Barn**

O *compost barn* é um sistema de confinamento relativamente novo, que tem o objetivo de proporcionar maior conforto higiene e controle sanitário as vacas leiteiras (LESO *et al.*, 2020), e conseqüentemente aumento de produção, a saúde e longevidade das vacas em lactação (NORRING *et al.*, 2010; DAMASCENO, 2012). A estrutura do sistema possui diferentes formas em todo o mundo, adaptando-se conforme a condição climática e disponibilidade de material para a composição da cama (AHN *et al.*, 2020).

A estrutura básica compreende uma pista de alimentação com acesso livre a água, dispendo de ventilação e cama de material orgânico, sem limitação por baias (BLACK *et al.*, 2014). Os animais permanecem a maior parte do tempo dentro do galpão com liberdade para percorrer todo o espaço da cama, se alimentando e ingerindo água conforme suas necessidades, saindo apenas para a ordenha (BEWLEY *et al.*, 2017).

Os primeiros relatos do sistema de *compost barn* ocorreram por volta de 1990, nos Estados Unidos, no estado da Virginia. A primeira estrutura tinha baias livres com chão batido coberto por uma camada de serragem onde as vacas poderiam deitar-se, esse material orgânico era revolvido com os dejetos das vacas e ocorria fermentação, gerando calor pela decomposição do material orgânico (SCHOPER, 2004). Em 2001, os irmãos Portner reproduziram este novo conceito no estado de Minnesota, seguido de muitos outros aos redores do estado (MACDONALD *et al.*, 2005). Em 2006 a primeira estrutura foi construída em Israel, mas com um conceito um pouco diferente, devido ao clima seco, não se tinha necessidade de usar outro tipo de material para incorporar a umidade dos dejetos e os animais permaneciam deitados sobre seu próprio esterco (KLAAS *et al.*, 2010).

Em 2007 foi relatado a primeira instalação na Holanda, ganhando muitos adeptos em países vizinhos, como Itália e Áustria (GALAMA *et al.*, 2011). Em 2009 o sistema se instalava na Argentina (SAMMARTINO, 2015), com o mesmo conceito de Israel, mas, como as condições climáticas não eram favoráveis foi necessário modificar o sistema, passando ao sistema original em que se tinha produção de calor e uso de material orgânico para reter e umidade da cama. No Brasil a primeira estrutura foi construída em 2012 no estado de São Paulo (SILANO; SANTOS, 2015), e desde então o sistema tornou-se objeto de estudos científicos, buscando conhecimento para adaptá-lo às condições de clima e manejo do Brasil.

Um dos primeiros pontos a serem levados em consideração quando se projeta este sistema de *compost barn* é o espaço disponibilizado aos animais. Apesar dos sistemas apresentarem um espaço de descanso mais amplo em que os animais podem percorrer e deitar-se onde desejarem, a área mínima por animal deve ser respeitada. Janni *et al.* (2007) sugerem 7,4 m<sup>2</sup>/vaca para a raça Holandesa (540 kg); para as vacas Jersey (410 kg) 6,0 m<sup>2</sup>/vaca, permitindo que todas as vacas possam deitar ao mesmo tempo. Para Endres (2009), a taxa de lotação ideal deve ser em torno de 9,4 m<sup>2</sup> por animal, para vacas Holandesas devem ser 7,2 m<sup>2</sup>/vaca e para vacas Jersey 6,1 m<sup>2</sup>/vaca.

As sugestões quanto ao espaço por vaca apresentam variações influenciadas pelas condições climáticas, umidade e fluxo de vento, diretamente ligadas a reposição de cama nova (JANNI *et al.*, 2007). Em regiões mais quentes pode-se reduzir um pouco o espaçamento, enquanto em regiões mais frias e úmidas o dimensionamento por vacas deve ser maior. Em Minnesota (EUA), a densidade recomendada é de 7,5 m<sup>2</sup> por vacas (ENDRES *et al.*, 2007). No estado da Virginia (EUA) a recomendação é de área em torno de 9,3 m<sup>2</sup> (BARBERG *et al.*, 2007). Conforme estudo realizado por Oliveira *et al.* (2019), o dimensionamento médio dos *compost barn* para a região Oeste do Brasil é de 10,4 m<sup>2</sup> por vaca alojada, enquanto Radavelli *et al.*, (2020) encontrou em sua pesquisa uma média de 15,2 m<sup>2</sup> no Sul do Brasil.

A taxa de lotação do sistema irá influenciar no processo de compostagem. Quando superlotado, ou seja, a área por animal fica menor do que o recomendado para o tipo de sistema usado, no caso do sistema com geração de calor o mínimo recomendado é 7,4 m<sup>2</sup> /vaca alojada (ENDRES *et al.*, 2007), quando não respeitado o processo de secagem da cama é dificuldade devido ao excesso de dejetos.

Segundo Black *et al.* (2014) área de cama menor que 8 m<sup>2</sup>/vaca tem a umidade aumenta em 34% e quando a área da cama é maior que 11 m<sup>2</sup>/vaca se teve uma redução de 38% na umidade da cama. Outros fatores também podem afetar a compostagem como: clima (ECKELKAMP *et al.*, 2016), temperatura, umidade do ar e velocidade do vento (BLACK *et al.*, 2013), material da cama e evaporação (LESO *et al.*, 2020).

O processo de compostagem deve ocorrer na faixa de temperatura entre 55 °C e 65 °C (JENNI *et al.*, 2007). Essa faixa irá garantir o controle de microrganismos patógenos contribuindo com a secagem da cama (RADAVELLI *et al.*, 2017). Em estudo realizado por Bewley *et al.* (2013) foi observado a faixa de temperatura interna da cama entre 43,3 °C a 65,2 °C, próximo ao recomendado por Jenni *et al.* (2007). Vieira *et al.* (2021) encontraram valores entre 20,7 e 49,8 °C no Sul do Brasil, não atingindo a temperatura necessária para sanitização do material da cama. Segundo Leso *et al.* (2020) a temperatura da cama afetara a umidade da mesma, conforme aumenta a temperatura ocorre evaporação de água, reduzindo a umidade.

A umidade da cama é outro fator determinante para a compostagem. Esta deve se encontrar entre 40 e 60% de umidade, o que permite uma ótima compostagem (BEWLEY *et al.*, 2013), pois a cama com baixa umidade (30 e 35%) inibe a atividade microbiana (RICHARD *et al.*, 2002). O excesso de umidade (acima de 60%) inibe a capacidade de aeração, predispondo a compactação, prejudicando a atividade microbiana e consequente compostagem (VALENTE *et al.*, 2009).

Para que as características adequadas da cama do *compost barn* sejam mantidas dentro das recomendações, é necessário que este tenha um sistema de ventilação mecânica instalado, auxiliando na retirada de umidade do ambiente e secagem da cama (BLACK *et al.*, 2013). Além de possibilitar a redução de temperatura dentro do sistema, auxilia na termorregulação dos bovinos (LESO *et al.*, 2020).

### **3.3. Ambiência e termorregulação de bovinos leiteiros**

Gauly e Ammer (2020) afirmaram que até 2050 o planeta passará por mudanças climáticas e se tem previsto um aumento de 1,5 °C a 2,0 °C na temperatura média desde a revolução industrial. Essa mudança climática poderá ser um desafio para a pecuária leiteira, uma vez que os animais necessitam de

adaptação fisiológica, comportamental e metabólica para se sobressair ao estresse térmico. O estresse térmico é caracterizado pelo aumento de temperatura corporal (BERNABUCCI *et al.*, 2014), exigindo resposta fisiológica, ocasionado por agentes externos, seja eles provenientes da radiação solar ou falta de ventilação (DIKMEN; HANSEN, 2009), podendo causar grandes perdas econômicas para o setor leiteiro.

Bovinos são mamíferos endotérmicos homeotérmicos, ou seja, têm a capacidade de manter constantemente a temperatura corporal, independente da condição climática que se encontram (CASTELLINI, 2009). Isso só é possível devido aos termorreceptores espalhados pelo corpo e no caso destes animais, termorreceptores de calor se encontram na área escrotal e inguinal, enquanto os de frio situam-se ao redor do rosto. Termorreceptores encontram-se nas células sensoriais primárias, com uma alta concentração de mitocôndrias e de glicogênio. Juntos, estes termorreceptores permitem a termorregulação, cuja função é adequar a temperatura corporal frente as necessidades metabólicas quando houver variações de temperatura ambiental (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Segundo Bergman *et al.* (2011), a transferência de calor é o deslocamento de energia que ocorre devido a diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente ou então pela geração de energia interna. A transferência de calor entre o corpo do animal e o ambiente em que ele se encontra pode ocorrer de forma sensível por meio condução, convecção e radiação (BATISTA *et al.*, 2015). Outra forma de perder calor é por meio da evaporação como forma de calor latente. Está é a rota de perda de calor mais eficiente quando a temperatura do meio ambiente for maior a temperatura corporal (COLLIER *et al.*, 2006).

A condução é a forma de transferência de energia térmica por meio de contato físico. Poucas pesquisas foram feitas avaliando a eficácia do resfriamento condutivo em vacas leiteiras, principalmente porque elas têm apenas 20% de sua superfície disponível para troca de calor via condução (COLLIER, 2013).

A convecção ocorre quando o calor é transferido usando ar ou água como meio condutor. Portanto, a transferência de calor por convecção aumenta à medida que o a velocidade ar aumenta (MONDOCA; CHOI, 2016).

A radiação é o movimento de calor por liberação eletromagnética do corpo para o ambiente sem necessidade de contato (CASTELLINI, 2009). Esse tipo de troca de calor causa grandes alterações nos mecanismos fisiológicos de mamíferos como, a elevação de temperatura corporal e aumento da frequência respiratória

(PINHEIRO *et al.*, 2015). Alguns animais têm maior capacidade de emitir e absorver calor, como os corpos de cor escura, portanto animais com pelagem escuras tem maior interferência por mecanismos de radiação (FERREIRA, 2010; SILVA *et al.*, 2010). Segundo Azêvedo e Alves (2009), os animais destinados a produção de leite tem alta sensibilidade a radiação solar.

A faixa de conforto térmico para bovinos da raça holandesa é entre  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (NARONGSAK, 2012) e entre 60 a 80% de umidade relativa (WEST, 2003). Esta faixa de temperatura ambiente é chamada de zona de termoneutralidade (HANSEN, 2004). Nesta faixa de temperatura, os animais utilizam ao mínimo os mecanismos termorregulatórios (AARIF; MAHAPATRA, 2013). Quando as temperaturas ambientais estão abaixo ou acima da zona termo neutra, as vacas entram no estado de estresse pelo frio ou pelo calor, ativando mecanismos termorregulatórios por meio de termoreceptores (MORTOLA *et al.*, 2020). Em condições térmicas adversas, o animal pode dissipar o calor do corpo principalmente por meio do aumento da taxa de respiração e suor.

Vacas leiteiras submetidas ao estresse térmico podem apresentar mudanças comportamentais e fisiológicas. Conforme estudo realizado por Cai-yun *et al.* (2019), vacas submetidas ao estresse térmico (ITU de 81) produziram 10 kg de leite por dia a menos do que vacas que não sofreram estresse térmico (ITU de 47). Estudos realizados por Smith *et al.* (2013) e por Bernabucci *et al.* (2014) mostraram que ocorre uma redução na quantidade de proteína no leite das vacas durante o verão quando comparadas com amostras de leite analisadas no inverno. O consumo de matéria seca e ração também é afetada negativamente (GANAIE *et al.*, 2013; CAI-YUN *et al.*, 2019) contribuindo para a redução de produção.

Outro efeito observado é a dificuldade de detecção do estro em vacas, impactando negativamente a fertilidade e reduzindo a capacidade reprodutiva por afetar a eficácia da inseminação (HANSEN; FUQUAY, 2020). García-Ispuerto *et al.* (2007) observaram uma redução na taxa de fertilidade de 23% em animais expostos ao estresse térmico. Pereira *et al.* (2013) relatou uma redução de 21 para 15% na taxa de concepção em vacas que apresentavam temperatura retal de  $39,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

O estresse térmico também pode afetar o sistema imunológico (AZEVEDO; ALVES, 2009), tornando os animais susceptíveis às doenças clínicas, como mastite e metrite. O sistema imunológico é o primeiro mecanismo a ser afetado pelo estresse térmico (DAS *et al.*, 2016). Um estudo *in vitro* mostrou que as células epiteliais da

glândula mamárias bovinas exibem maior riscos de morte quando os animais são expostos a altas temperaturas ambientes (LI *et al.*, 2016; TAO *et al.*, 2018). Quando ocorre a morte das células epiteliais, a diminuição de leite é explicada, observada em vacas em lactação com estresse térmico (TAO *et al.*, 2018).

As estratégias de enfrentamento comportamentais incluem aumento do tempo em pé, busca de sombra e diminuição da atividade e do movimento (RENSIS; SCARAMUZZI, 2006; SCHUTZ *et al.*, 2009). Tendo conhecimento que as ondas de calor interferem no bem-estar e na produtividade das vacas leiteiras (COOK *et al.*, 2005; PALO *et al.*, 2006; HERBUT *et al.*, 2018), medidas preventivas devem ser tomadas para que a produção não seja tão afetada.

### **3.4. Comportamento**

Alterações fisiológicas ocorrem quando as vacas passam longos períodos expostas a temperaturas fora da sua zona de termo neutralidade, as quais podem afetar o bem-estar, ocasionando frustração e alteração de comportamento (POLSKY; VON KEYSERLINGK, 2017). Essas alterações variam conforme características físicas, fisiológicas e emocionais, além da influência do ambiente e manejo que recebem (BROOM; MOLENTO, 2004).

O ambiente pode influenciar no comportamento expressado e no nível de bem-estar em que os animais se encontram. Animais estressados e com comportamentos atípicos reduzem produtividade e estão mais vulneráveis a problemas sanitários. Seja extensivo ou intensivo, o sistema adotado deve proporcionar liberdade de movimento, possibilitando o deslocamento dentro da instalação e a escolha do local para deitar (ENDRES; BARBERG, 2007) indicando bem-estar.

Quando os animais têm opção de escolher onde andar e onde deitar irão buscar o espaço adequado e que lhe proporcione maior conforto. Em uma pesquisa realizada no Reino Unido por Charlton *et al.* (2011), em que as vacas leiteiras tiveram liberdade para escolher entre ambiente confinado ou a pasto apresentam preferência pelo local fechado em determinadas horas do dia. Neste mesmo estudo constatou se que, os animais desenvolveram uma adaptação aos locais fechados, devido à disponibilidade de condições necessárias para a sua sobrevivência. Por meio deste trabalho, os autores evidenciaram que os animais têm grande capacidade de

adaptação e que os sistemas de confinamento têm ambientes confortáveis, permitindo que expressem comportamentos adequados.

Com a tecnificação dos sistemas de produção de leite, pesquisas com comportamento dos bovinos ganharam espaço. Vários estudos recentes abordaram diferentes comportamentos, tais como o de deitar (DIRKEN *et al.*, 2020; SHEPLEY *et al.*, 2019; HENDRIKS *et al.*, 2019), comportamento de ruminção (MUNKSGAARDEN *et al.*, 2020) e comportamento alimentar (HENRIKSEN *et al.*, 2019; SHEN *et al.*, 2020; MENSING *et al.*, 2020). Desta forma, mudanças no comportamento podem indicar sinais de doença ou de bem-estar (MASELYNE *et al.*, 2017; VASSEUR, 2017) possibilitando compreender os animais e melhorar os manejos de rotina.

Conhecer como as vacas se comportam ao ingerir alimentos proporciona mais eficiência nutricional (SHEN *et al.*, 2020). Este comportamento pode ser afetado pelo comportamento de dominância dos rebanhos, como observado por Pillati *et al.* (2019), em que vacas primíparas tendem a se alimentar com mais frequência na parte da noite e na parte da tarde, quando as vacas dominantes não estão no espaço de alimentação. Endres e Barberg (2007) sugere que barreiras físicas na pista de alimentação, influenciam a frequência em que os animais se deslocam para a pista de alimentação, influenciando no consumo.

As vacas passam se alimentando em torno de cinco horas por dia (BROOM; FRASER, 2015) e este comportamento está correlacionado com a ingestão de água, que também é influenciada pelas condições climáticas e tipo de alimento. Segundo Coimbra *et al.* (2012), as idas aos bebedouros são determinadas pela temperatura e a umidade relativa do ambiente. Comprovado por Pereyra *et al.* (2010) que observaram um aumento significativo nas idas aos bebedouros conforme o aumento da temperatura ao longo dos dias estudados, mostrando que conforme aumenta o estresse térmico, os animais visitam com mais frequência os bebedouros. De acordo com Bavera (2011), os animais em estresse térmico passam até 8 horas do dia nas proximidades do bebedouro, ingerindo água e ruminando.

Se os animais passam mais tempo visitando bebedouros em determinados dias, o comportamento de deitar é afetado e ele é um indicador de bem-estar confiável (RAMALHOSA *et al.*, 2012; NEAVE *et al.*, 2017). Este comportamento foi reconhecido por Keyserlingk *et al.* (2012) como um indicador de saúde, pois, pode

estar associado a lesões graves (ZAMBELIS *et al.*, 2018), mastites e (DEVRIES *et al.*, 2010) e claudicação (BOUFFARD *et al.*, 2017).

Enquanto passar longos períodos deitado podem indicar problemas de saúde, passar menos horas deitadas, reduzem consumo e reduzem produção (MUNKSGAARD *et al.*, 2005). Segundo Kull *et al.* (2019), as vacas necessitam ter três a quatro horas de sono ao dia e quando esse tempo é reduzido podem ter a saúde e a produtividade prejudicadas. Vacas passam em média 10 a 12 horas do dia deitadas (TUKER *et al.* 2021). O material da cama também pode afetar o tempo que as vacas permanecem deitadas, pois segundo Haley *et al.* (2001), os animais passam mais tempo deitados em cama de aparas de madeira.

A qualidade e o tipo de material da cama podem afetar o comportamento de descanso induzindo que as mesmas passem mais tempo de pé, indicando anormalidades. Pilatti *et al.* (2019) observaram que os comportamentos ruminando em pé e ócio em pé ocorreram com maior frequência com o aumento da temperatura do ar ao longo do dia. Em busca de facilitar as trocas de calor por outros meios, as vacas ficam em pé com o objetivo de expor maior área corporal a trocas de calor por convecção, radiação e evaporação (ALLEN *et al.*, 2015). O mesmo autor relata que vacas dissipam calor corporal em pé. Nourdlound *et al.* (2019) encontrou uma redução de 0,25 °C na temperatura corporal das vacas quando estas estavam em pé.

O estresse térmico afeta o comportamento de repouso, sendo necessário fazer algumas acomodações adicionais, como sistemas de ventilação para melhorar as condições ambientais, proporcionando bem-estar as vacas destinadas a produção de leite.

### **3.5. Automação de climatização em sistemas confinados**

Com a intensificação da atividade leiteira, também aumenta a preocupação com o bem-estar e saúde animal (CHARLATON; RUTTER, 2017), tanto por parte dos criadores, quanto do mercado consumidor. Junto com essa crescente preocupação também surge muitas inovações inteligentes que tem objetivo de aumentar os acertos e tonar a criação intensiva menos agressiva aos animais, favorecendo o bem-estar e garantindo um produto com maior qualidade. Berckmans

(2017) afirma que, a automação se destaca possibilitando controle individual dos animais em sistemas intensivos, o que não seria possível sem a automação.

A cadeia leiteira tem histórico de automação na década de 70, quando surgiu o primeiro medidor de leite automatizado (VOGELAUER, 1970). Em 1980 foi desenvolvido o primeiro alimentador automático (IPEMA, 1980) e logo em seguida foi criado um sistema de ordenha automatizado (ROSSING *et al.*, 1985), com o primeiro uso em fazendas comerciais no início de 1990. A partir, houve intensificação quanto ao uso de sensores que possibilitam amenizar perdas (NÄÄS; ARCARO, 2001).

A tecnologia de sensores e biosensores tem objetivo de auxiliar no bem-estar (SILVA *et al.*, 2010) contribuindo para o monitoramento dos rebanhos em tempo real, possibilitando a identificação com precocidade, precisão e assertividade (NEETHIRAJAN; KEMP, 2021). Com identificação de estro (SAULS *et al.*, 2017; MAYO *et al.*, 2019), identificação de mastite (ZHANG *et al.*, 2020; PAUDYAL *et al.*, 2020), sensores para medir comportamento (GIARETTA *et al.*, 2020; HENDRIKS *et al.*, 2020), *bolus* para detecção de temperatura corporal e bem-estar (KOVACS *et al.*, 2017; LEVIT *et al.*, 2021), sensores para terminação de temperatura ambiental (GERNAND *et al.*, 2019). Todos esses exemplos possibilitam a obtenção de informações relacionadas a sanidade e bem-estar animal em tempo real, possibilitando intervenção precoce, garantindo conforto.

A automação tem a função de monitorar adequadamente fatores que possam otimizar a produção e reduzir perdas de produtividade (SILVA *et al.*, 2010). Magrini *et al.* (2017) avaliaram bovinos expostos a dois tipos de sistemas de ventilação, com acionamento automático e acionamento manual e observaram que o tempo de ruminação aumentou nos animais do grupo da ventilação automática, quando comparado com os animais que cujo sistema de ventilação não era acionado. Ortiz *et al.* (2019) observaram redução de temperatura corporal quando o sistema ficou acionado por 24 horas. Levit *et al.* (2019) testaram *bulos* implantados no retículo dos animais, os quais enviavam dados ao sistema de computadores que determinavam o acionamento do sistema de ventilação, onde concluíram que os animais que estavam no grupo em que a ventilação era acionada por meio das informações de temperatura corporal emitidas pelos *bulos*, apresentaram menor tempo em estresse térmico.

Mesmo encontrando pesquisas que enfatizam a climatização para amenizar o estresse térmico dos rebanhos leiteiros, ainda são poucos relatos que enfatizam a importância de se automatizar o acionamento de sistemas de ventilação. O conceito de ambiente ideal para produção animal está ligado aos princípios de conforto térmico, com a utilização de ambientes controlados portanto no caso dos sistemas de confinamento, com o objetivo de encontrar medidas que favoreçam o conforto dos animais em confinamento (PERISSINOTTO *et al.*, 2004).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Descrição Geral**

O estudo foi realizado em uma propriedade comercial com o sistema *compost barn* implantado, situado no município de São Jorge D'Oeste (Fotografia 1), na região Sudoeste do Estado do Paraná (Lat. -25°69'90.13", Long. -52°92'30.72", 520 metros acima do nível do mar). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é considerado subtropical úmido (Cfa), com precipitação anual média de 2045 mm, temperaturas médias de -3 °C a 18 °C nos meses frios e temperaturas médias em torno dos 22 °C nos meses quentes (ALVARES *et al.*, 2013).

A unidade experimental tinha o sistema de *compost barn* implantado desde 20 de outubro de 2017. Também dispunha de pontos importantes para que o experimento fosse realizado como o sistema de ventilação funcionando adequadamente. Outro ponto importante era o manejo, respeitando o bem-estar dos animais. O experimento teve duração de quatro semanas, iniciado no dia 23 de fevereiro de 2020 e encerrado no dia 20 de março de 2020.

**Fotografia 1-Localização geográfica da unidade experimental**

Fonte: Google Earth, 2021

#### **4.2. Descrição das instalações do experimento (*compost barn*)**

O sistema *compost barn* possui orientação Leste-Oeste e dispõe de dois lotes, separados pela pista de alimentação (Fotografia 2), com aberturas para o acesso dos animais à alimentação e aos bebedouros, conforme planta baixa (Anexo A). O galpão era cercado por uma mureta de 0,9 m de altura, possui pé direito de 4,5 metros de altura, largura de 30 x 30 metros, totalizando uma área total de 900 m<sup>2</sup>. Desta área total, 750 m<sup>2</sup> eram destinados a área de descanso e a pista de alimentação para as vacas em lactação. Os outros 150 m<sup>2</sup> eram destinados aos lotes de vacas secas e pré-parto. O sistema era todo de pré-moldado, com telhado de aluzinco com caimento de 15° e lanternim, com abertura de 1,2 metros e altura de 0,6 metros. O galpão também possuía aberturas laterais para saída de animais e entrada de máquinas, com 3,90 metros de largura.

Cada lote tinha sua pista de alimentação medindo 30 x 3,90 m, o que refletia em 2,90 m<sup>2</sup> para cada vaca alojada. Na pista de alimentação, cada vaca tinha seu canzil com largura de 0,70 m, o qual fechava automaticamente quando o animal inseria a cabeça para acessar o alimento, permanecendo presas durante a alimentação, saindo assim que o criador liberasse, durante o restante do dia elas ficavam soltas com livre acesso a alimentação.

Os cochos de água, no total de quatro unidades, ficavam dispostos na divisória entre a pista de repouso e a pista de alimentação, com acesso apenas pela

pista de alimentação. O material era inox com dimensionamento 2,15 x 0,46 x 0,62 m com alta vazão de água (tubulação de  $\frac{3}{4}$ ). A partir da pista de alimentação as vacas tinham acesso direto a pista de repouso separadas por um degrau de 10 cm de altura.

O lote 1 abrigava um total de 38 vacas em lactação, cada uma tinha disponível um espaço de 11,84 m<sup>2</sup>. No lote 2 havia um total de 25 vacas em lactação com disponibilidade de 12 m<sup>2</sup> por vaca alojada.

**Fotografia 2- Pista de alimentação e adendos do local**



Fonte: Autoria própria (2020)

#### 4.3. Descrição da Cama

O material utilizado para a cama era maravalha, na sua maior proporção de pinus, em certas épocas era repostado com maravalha de eucalipto, variando conforme a disponibilidade do material (Fotografia 3a). A profundidade da cama era de 0,65 m. No lote 1 havia 292,5 m<sup>3</sup> e no lote 2 havia 195 m<sup>3</sup> de cama.

A cama estava instalada desde 2017, desde então não se retirou cama, somente foi adicionado. O critério usado para a reposição da cama era a umidade, durante o período experimental não foi realizado adição. O revolvimento era realizado duas vezes ao dia, manhã e tarde (8 e 20 horas), com o auxílio de equipamento especializado (Fotografia 3b), por meio de uma enxada rotativa (Bed Mixer, modelo BM 2000) com alcance de 35 cm de profundidade.

**Fotografia 3- Cama de maravalha utilizado como acomodação; B= Equipamento utilizado para revolvimento de cama de maravalha**

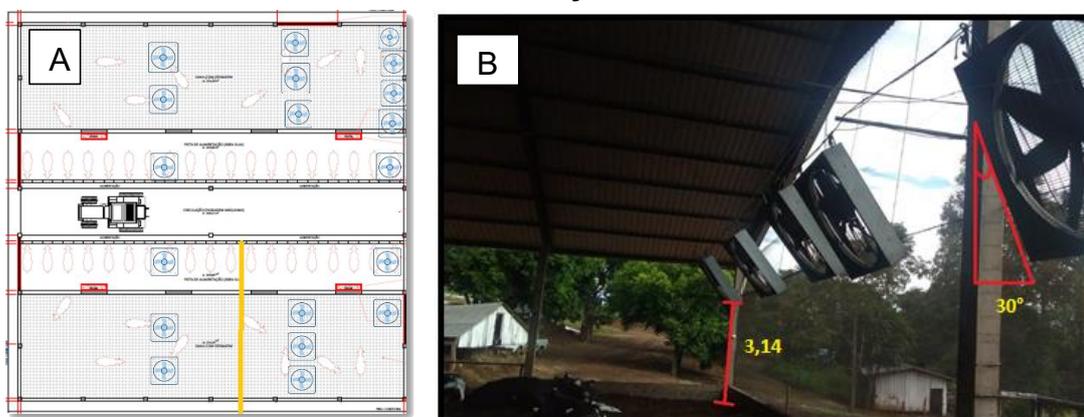


Fonte: Autoria própria (2020)

#### 4.4. Descrição do sistema de ventilação

Foram usados 19 ventiladores trifásicos de 380 V, tipo YSF-80,0 com 0,75 W de potência, frequência de 0,9 Hz, e 1660 RPM/min (Weifang Yihe Electrical Appliance Co. LTDA, distribuídos pela DeLaval®). Cada ventilador possuía 6 pás, com 1,36 m de largura, 1,36 m de altura e 0,23 m de profundidade, e peso aproximado de 45 kg, com capacidade de fluxo de ar de 34.000 m<sup>3</sup>/h. O posicionamento dos ventiladores formava um ângulo de 15 graus com a cama (Fotografia 4b), a uma altura de 3,14 m de altura da cama, fixados em um cabo de aço, com distância entre linhas de 10 m e entre ventiladores 5 m (Fotografia 4a).

**Fotografia 4-Ilustração da disposição dos ventilador utilizado para compor o sistema de ventilação**



Fonte: Autoria própria (2020)

#### 4.5. Descrição dos animais

As unidades experimentais estudadas foram 26 vacas da raça Holandesa preta e branca (HPB), todas no lote de lactação. A produção média das vacas avaliadas era de  $27,64 \pm 9,7$  litros de leite/dia, durante o período experimental. Inicialmente foram selecionadas 40 vacas aleatoriamente, e após foram avaliadas as características zootécnicas: dias em lactação (DEL), idade, peso, número de partos e produção de leite, para que desta forma tivesse animais com características zootécnicas parecidas, homogeneizando a amostra experimental (Tabela 1). Com base nestas informações foram selecionadas apenas 30 vacas para serem avaliados no experimento. Animais que tiveram complicações sanitárias, como mastites e torção de abomaso foram excluídas das avaliações e no final do experimento foram avaliados dados de 26 vacas.

**Tabela 1- Características zootécnicas dos animais avaliados (média  $\pm$  desvio-padrão)**

Tratamentos*	Produção	Idade**	Dias em lactação	Média de parto
25°C/70%	27,81 $\pm$ 8,2	45,5 $\pm$ 20	157 $\pm$ 131,4	2,0 $\pm$ 1,4
25°C/50%	26,33 $\pm$ 8,0	45,5 $\pm$ 20	162 $\pm$ 131,4	2,0 $\pm$ 1,4
23°C/70%	29,12 $\pm$ 8,1	45,5 $\pm$ 20	168 $\pm$ 131,4	2,0 $\pm$ 1,4
23°C/50%	27,31 $\pm$ 9,7	45,5 $\pm$ 20	175 $\pm$ 131,4	2,0 $\pm$ 1,4

Legenda: \*temperatura / umidade relativa de acionamento da ventilação. \*\* em meses

Observação: Os valores de Idade, Dias em lactação e média de parto estão expressos em média na semana da avaliação para cada tratamento.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

As vacas eram alimentadas três vezes ao dia, sendo às 6 horas da manhã, às 13 horas e às 18 horas. Os alimentos eram fornecidos com uso de desinsiladeira, conforme proporção descrito na Tabela 2.

**Tabela 2 – Dieta alimentar fornecida as vacas durante o estudo**

Produto	Quantidade de alimento fornecida (kg MN/dia)	
	Lote 1	Lote 2
Farelo de soja	5,5	3,5
Milho moído	6,0	3,0
Caroço de algodão	2,0	1,0
Casca de soja	2,0	1,0
Bicarbonato de sódio	0,2	0,2
Sal mineral	0,6	0,5
Feno de capim vaqueiro	0,5	0,5
Silagem de milho	35,0	35,0
Total (kg de matéria natural)	51,8	44,7

Fonte: Autoria própria (2020)

As vacas avaliadas eram ordenhadas duas vezes ao dia no turno vespertino às 6 horas e no turno matutino às 18 horas, para a ordenha era utilizado ordenha canalizadas linha alta (45 a 48 kPa) com medidores de produção de leite eletrônicos e extratores de ordenha (DeLaval®). Antes de cada ordenha era realizada o *pré-dipping* com produto à base de ácido salicílico e ácido láctico. Após a ordenha era realizado o *pós-dipping* com produtos base de ácido láctico e *Aloe vera* (L.).

#### 4.5.1. Identificação dos animais

Todos os animais avaliados possuíam brincos de identificação na orelha direita, porém, para melhorar a visualização, a numeração foi marcada no corpo dos animais, de uma forma que ficasse visível, sem necessitar ficar muito próximo do animal para o identificar. A marcação foi feita com tintura de cabelo de uso humano, com auxílio de um pincel, cuja marcação era conforme o número do brinco de identificação (Fotografia 5). Assim, os animais de pelagem branca foram marcados com tinta de cabelo da cor preta da marca Cor & Ton nº 2 (Niely) (Fotografia 5b). Nos animais de pelagem preta, foi utilizado pó descolorante da marca Yama (Fotografia 5a). O preparo das tinturas foi realizado conforme a recomendação dos fabricantes. A marcação foi realizada na região torácica (lado direito e esquerdo) e na região lombar de forma que ficasse visível nas filmagens e para aferição de temperatura corporal e de frequência cardíaca.

Fotografia 5-Marcação nos animais, onde: A=animal marcado com tinta descolorante; B=animal marcado com tinta preta



Fonte: Autoria própria (2020)

#### 4.6. Descrição dos Tratamentos

Os tratamentos consistiram em diferentes faixas de temperatura e umidade relativa do ar para acionamento dos ventiladores da instalação. Desta forma, as faixas utilizadas foram:

- **Tratamento 23 °C/50%:** Acionamento automático do sistema de ventilação para temperatura do ar de 23 °C e a umidade relativa do ar de 50%;
- **Tratamento 23 °C/70%:** Acionamento automático do sistema de ventilação para temperatura do ar de 23 °C e a umidade relativa do ar de 70%;
- **Tratamento 25 °C/50%:** Acionamento automático do sistema de ventilação para temperatura do ar de 25 °C e a umidade relativa do ar de 50%;
- **Tratamento 25 °C/70%:** Acionamento automático do sistema de ventilação quando temperatura do ar de 25 °C e a umidade relativa do ar de 70%.

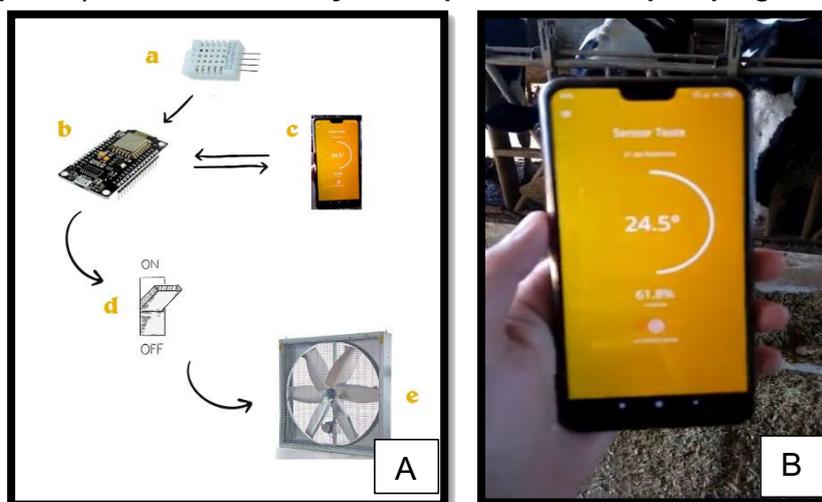
Cada um dos tratamentos separadamente tiveram a duração de uma semana (sete dias). A adaptação ao tratamento de acionamento de ventilação e temperatura ocorria às sextas-feiras, sábados e domingos; as filmagens para avaliação de comportamento tinham início na segunda-feira às 20 horas e se encerravam às 20 horas da terça-feira (duração de 24 horas). As avaliações para a termorregulação e umidade da cama ocorriam na quarta e na quinta-feira.

#### 4.7. Sensor de acionamento automático do sistema de ventilação

Neste projeto foi utilizado um protótipo de sensor de umidade e temperatura do ar, desenvolvido exclusivamente para este trabalho. O sistema, um IoT (internet das coisas) utilizava a tecnologia embarcada no *hardware* para envio de mensagens do sensor para o servidor. Essa tecnologia foi implantada com o objetivo de se obter informações e dados em tempo real transmitido pelo *software*. Este sensor, acoplado ao comando do sistema de ventilação, permitiu o acionamento automático dos ventiladores conforme faixa de temperatura e a umidade do ar pré-estabelecidas (tratamentos) (Fotografia 7). A partir deste sensor, dados eram enviados a um aplicativo instalado em um *smartphone* (Fotografia 6b). Além disso, permitia acionamento a distância e consulta de temperatura e umidade ao longo do dia e programação dos tratamentos utilizados.

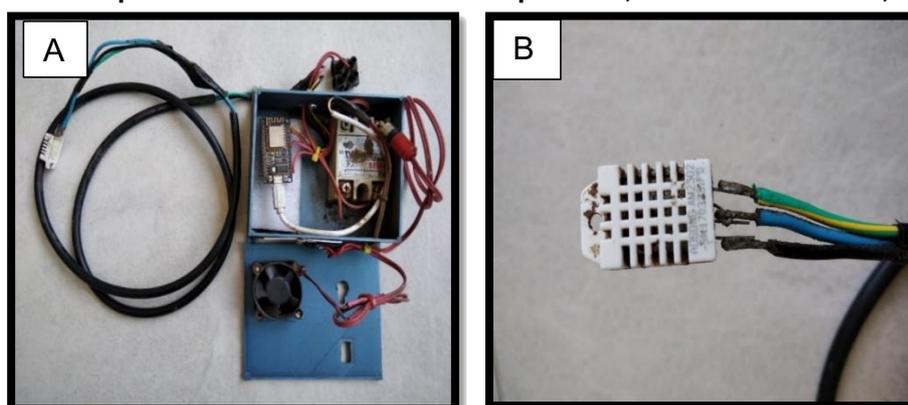
O sensor da marca Aoson, modelo AM2302, tensão 3-5,5VDC, faixa de umidade 0-100%± 2,0% faixa de temperatura de -40° a +80°C ± 0,5 °C, corrente: 2,5mA em uso, em stand by de 100 uA a 150 uA, resolução: 0,1 e tempo de resposta 2s. O sensor foi instalado na região central do *compost barn* a uma altura de 3,14 metros de altura, para que o mesmo ficasse na mesma altura dos *data loggers*, na mesma linha do sistema de ventilação e ligado ao painel que acionava o sistema de ventilação ao qual foi interligado (Fotografia 6a).

**Fotografia - 6-A= Estrutura do sensor. Legenda: a) sensor; b) node MCU; c) aplicativo; interruptor; e) sistema de ventilação B= Aplicativo usado para programar o sistema**



Fonte: Aatoria própria (2020)

**Fotografia 7-Protótipo de sensor de umidade e temperatura, onde: A= hardware; B= sensor**



Fonte: Aatoria própria (2020)

#### 4.8. Comportamento

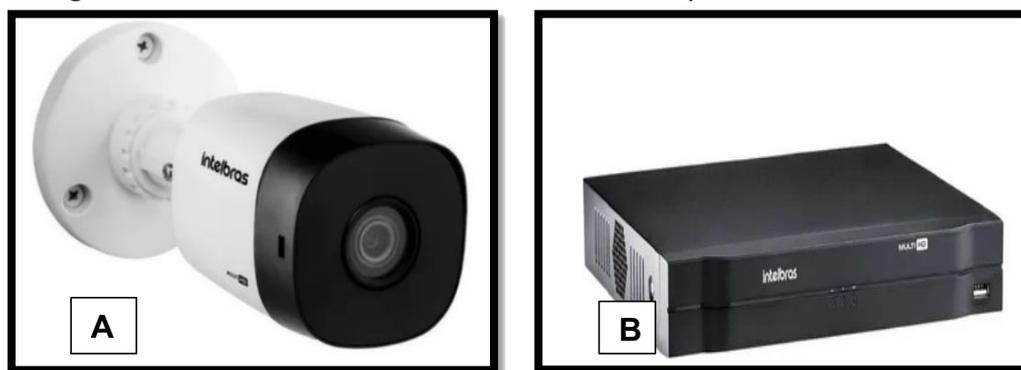
As avaliações de comportamento foram realizadas por meio de análise de vídeo, captadas por câmeras (Intelbras®) com infravermelho e captação de até 20 metros (Fotografia 8a). Elas foram dispostas no galpão à 2,2 metros de altura da cama. Para o lote 1 foram instaladas três câmeras, e para o lote 2, duas câmeras (Figura 1). As avaliações foram realizadas durante 24 horas contínuas, as imagens armazenadas em HD externo (Fotografia 8b), por meio de visualização da ocorrência do comportamento e o tempo (minutos) em que os animais expressavam o comportamento. Para avaliação deste experimento foram considerados apenas os animais que estavam no lote 2, devido a um problema com as imagens obtidas do lote 1. Os comportamentos foram avaliados conforme o método proposto por Endres e Barberg (2007), descrito a seguir na Quadro 1.

**Quadro 1-Etograma dos comportamentos avaliados, conforme Endres e Barberg (2007)**

Comportamento	Descrição
<b>Ingerindo água</b>	Animal ingerindo água nos bebedouros;
<b>Alimentando</b>	Animal consumindo alimento;
<b>Ócio em pé</b>	Os animais se mantem em pé, sem realizar, qualquer outra atividade;
<b>Ócio deitado</b>	Animal deitado, sem realizar qualquer atividade (ruminando, comendo, etc.);
<b>Ruminando em pé</b>	Animal em pé, regurgitando ou remastigando os alimentos;
<b>Ruminando deitado</b>	Animal deitado, regurgitando ou remastigando os alimentos;
Afugentar	O animal expressa comportamento de dominância intimidando os demais.

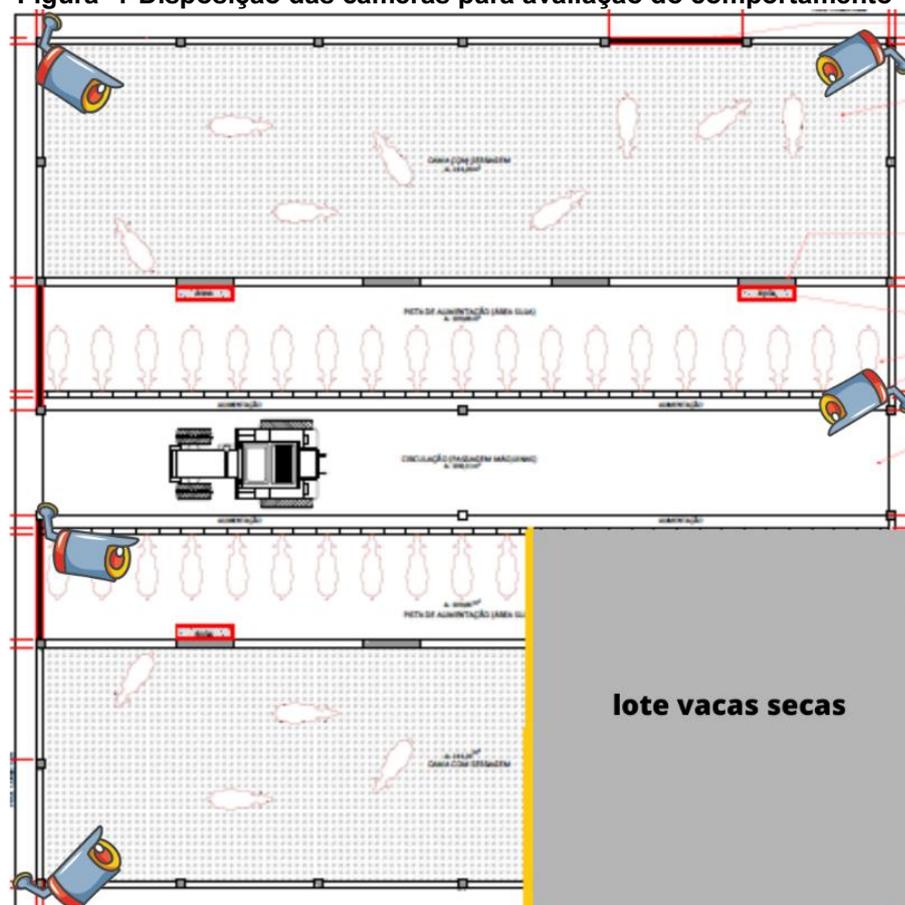
Fonte: Endres e Barberg (2007)

Fotografia 8-Câmeras de vídeo da marca Intelbras; B) DVR da marca Intelbras



Fonte: Intelbras, 2021

Figura 1-Disposição das câmeras para avaliação do comportamento



Fonte: Autoria própria (2021)

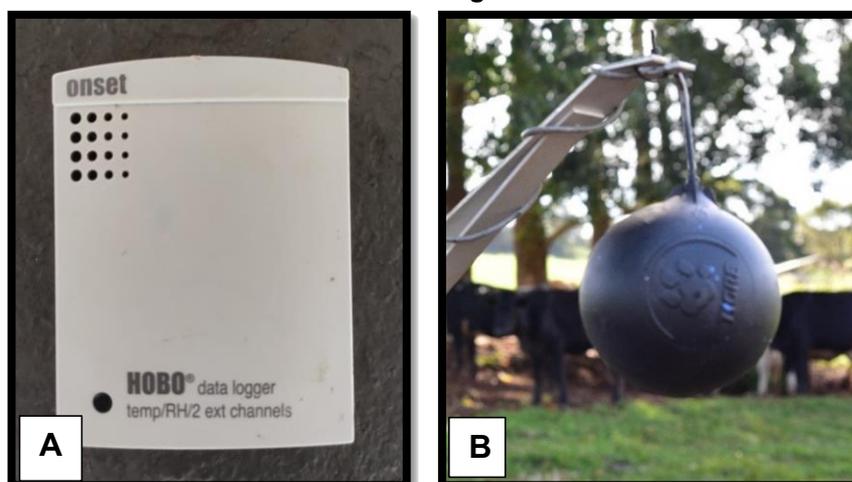
#### 4.9. Variáveis microclimáticas

As variáveis microclimáticas do ambiente interno e externo foram avaliadas no período de 24 horas, durante os sete dias de cada tratamento. Foram analisadas, interna e externamente ao galpão, as seguintes variáveis: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%), e velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ). A temperatura do ponto de

orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura do globo negro foram realizadas somente no ambiente interno.

Para determinação das variáveis umidade do ar e temperatura, foram utilizados cinco *data loggers* HOBO U12-013 (*Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA*). Este possuía medição de temperatura dentro da faixa de  $-20$  a  $70$   $^{\circ}\text{C}$  e de 5 a 95% de umidade relativa do ar, com precisão para medição de temperatura de  $\pm 0,35$   $^{\circ}\text{C}$  de 0 a  $50$   $^{\circ}\text{C}$  e para umidade do ar de  $\pm 2,5\%$  de 10 a 90% até o máximo de  $\pm 3,5\%$ . Os *data loggers* possuíam dois canais externos, sendo que em um deles foi acoplado o sensor termopar em uma esfera oca de polietileno pintado de preto fosco com 15 cm de diâmetro. Foram instalados dois *data loggers* em cada lote e um na região central do *compost barn* todos ficaram a uma altura de 3,14 metros da cama, posicionados na linha dos ventiladores (Fotografia 9).

**Fotografia 9-A) Data loggers Hobo U12-013 (Onset) utilizado para medição das variáveis; B) Globo negro**



Fonte: Autoria própria (2020)

Para determinação da velocidade do vento, foi utilizado um anemômetro de hélice, digital, portátil, modelo MS6252A (Mastech, Guangdong Province, China), com precisão de  $\pm 3,0\%$  de  $0,4$  a  $30$   $\text{m s}^{-1}$  (Fotografia 10a). O equipamento era posicionado pelo avaliador à  $1,55$  metros acima da cama, na linha dos animais, voltado para a direção oeste, onde foram aferidos em 16 pontos interno e externo do galpão.

Fotografia 10-A- Anemômetro digital portátil (Mastech); B- uso do anemômetro digital



Fonte: Autoria própria (2020)

#### 4.9.1. Índices de conforto térmico

Após obtenção dos dados referentes ao microclima do *compost barn* foram calculados alguns índices de conforto térmico, para avaliar se os animais estavam dentro da faixa de conforto térmico para referida espécie nos respectivos tratamentos.

Por meio de dados coletados foi calculado o índice de temperatura e umidade (ITU) por meio da equação de Hahn (1999; eq. 1):

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

Em que:

$T_a$ : Temperatura do ar (°C);

$T_{po}$ : Temperatura do ponto de orvalho (°C);

Para o cálculo do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) utilizou-se a fórmula descrita por Buffington *et al.* (1981; eq. 2):

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

Onde:

$T_g$  - temperatura do termômetro de globo negro (°C);

$T_{po}$  - temperatura de ponto de orvalho (°C).

As trocas térmicas por radiação entre o animal e ambiente foram determinadas pela carga térmica radiante (CTR), através da equação descrita por Esmay (1978; eq. 3):

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

Onde:

CTR = carga térmica radiante, em  $W m^{-2}$

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ )

TRM = temperatura radiante média, K.

A temperatura radiante média (TRM) é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, para eliminar o efeito da reflexão com a qual o corpo (globo negro) troca quantidade de energia quanto à do ambiente considerado (BUFFINGTON *et al.*, 1981). A TRM foi obtida por meio da equação a seguir (eq. 4):

$$TRM = 100 \times \sqrt[4]{\left\{ \left[ 2,51 \times \sqrt{v} \times (T_{gn} - T_a) \right] + \left[ \left( \frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right] \right\}} \quad (4)$$

Onde:

TRM: temperatura radiante média, em K;

v: velocidade do vento em  $m s^{-1}$ ;

T<sub>gn</sub>: temperatura do globo negro, em °C;

T<sub>a</sub>: temperatura do ar, em °C.

#### 4.9.2. Termorregulação

As medidas de temperatura superficial das vacas, foram realizadas com auxílio de termômetro infravermelho com mira laser (TG165, Flir, USA) com escala de -50° a 380°C com precisão de  $\pm 0,95$ , posicionado a 1 metro dos animais. O termômetro foi posicionado, em cinco pontos distintos do corpo de cada animal (cabeça, pescoço, flanco, barriga e úbere) (Fotografia 11) e posteriormente foi realizado temperatura corporal média dos pontos aferidos (PILATTI, 2017).

Fotografia 11-Pontos em que o termômetro foi posicionado no animal



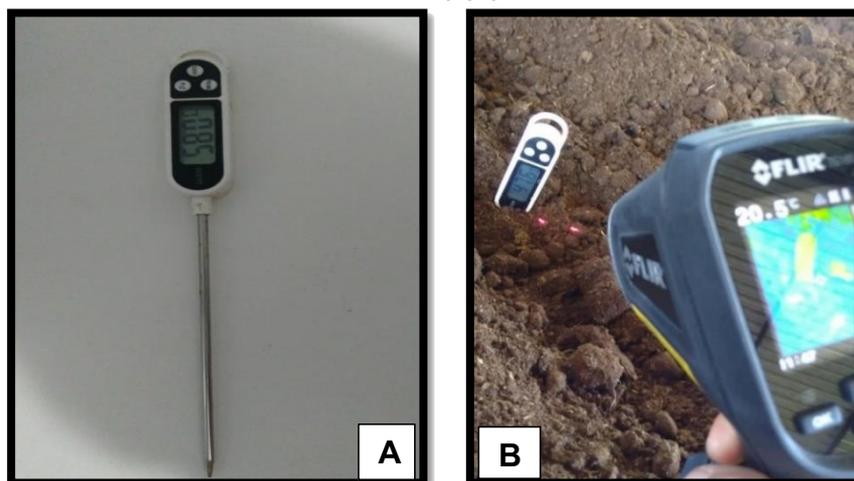
Fonte: Autoria própria (2020)

A frequência respiratória (mov./min.) foi determinada por meio de observação visual e contagem dos movimentos do flanco, durante 30 segundos e posteriormente multiplicado por 2 para se obter a frequência por minuto, de acordo com Martello *et al.* (2010).

#### 4.9.3. Variáveis da cama

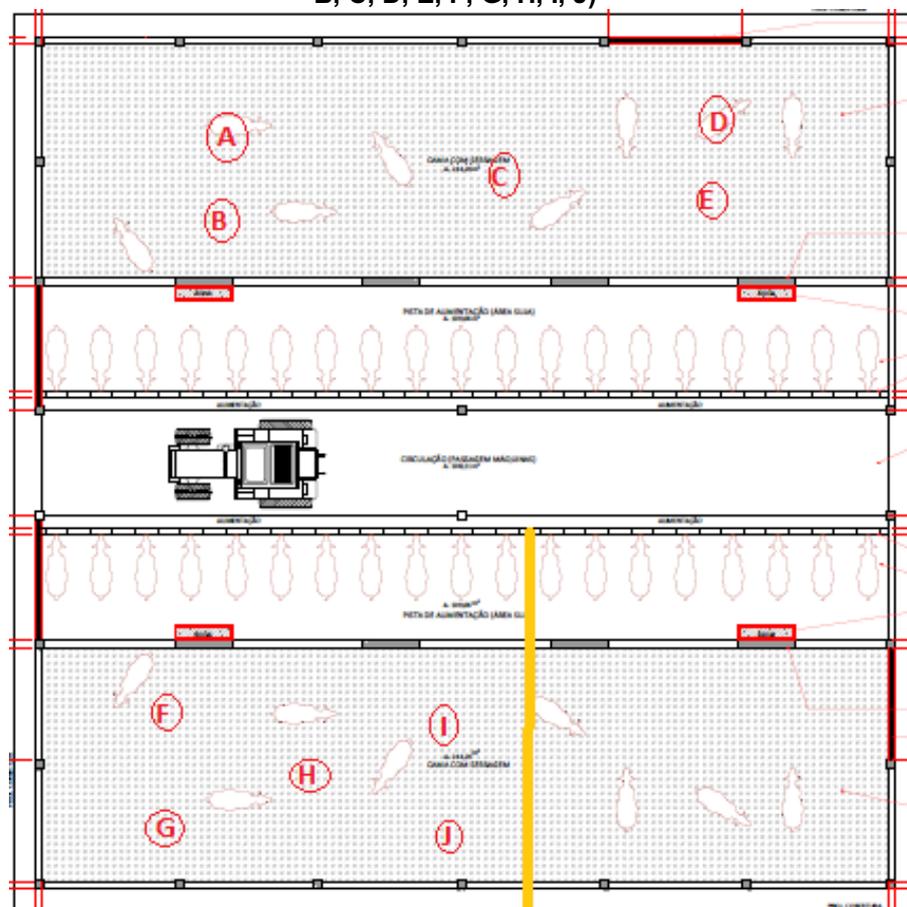
As variáveis analisadas relacionadas à cama foram: temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura em profundidade ( $^{\circ}\text{C}$ ) e teor de umidade da cama (%). A temperatura em profundidade da cama foi mensurada por meio de um termômetro digital do tipo espeto marca Agrozootec (TP300, China; Fotografia 12a), com faixa de medição de  $-50$  a  $300^{\circ}\text{C}$ , sendo inserido a uma profundidade de 30 cm da cama, sem revolvimento da cama para a inserção do sensor, visando não liberar calor do interior da cama. A temperatura superficial foi mensurada utilizando termômetro infravermelho com mira a laser (Flir TG165, USA) com escala de  $-50^{\circ}$  a  $380^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 0,95$ , posicionado a 1 metro da cama, no mesmo ponto em que se mediu a temperatura interna (Fotografia 12b). As informações de temperatura foram coletadas em cinco pontos fixos (Figura 2), distribuídos aleatoriamente no galpão e após, foi calculada a média para determinar a temperatura em cada um dos horários.

Fotografia 12-Termômetro tipo espeto (A) e termômetro infravermelho com mira a laser (Flir, USA) (B)



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 2 - Pontos fixos de coleta de cama, aferição de temperatura e velocidade do vento (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)



Fonte: Autoria própria (2021)

Para avaliação da umidade da cama, as amostras foram coletadas em cinco pontos diferentes de cada lote, duas vezes ao dia, no início da avaliação pela manhã (8 horas) e no último horário de avaliação (17 horas). Foram coletadas

aproximadamente 100 g de amostra a 10 cm de profundidade, as quais eram identificadas e armazenadas em embalagens plásticas. As amostras eram pesadas em Balança Digital SF-400 Alta com precisão entre 1 g a 5 kg. Logo após a anotação do peso, as amostras eram armazenadas em caixa de isopor com gelo, ali permanecendo até serem armazenadas em congelador e posteriormente determinado teor de umidade de acordo com a metodologia de Shane *et al.* (2010). Ao término do experimento as amostras foram encaminhadas para determinação de matéria seca (MS), sendo primeiramente submetidas à pré-secagem em estufa de ar forçado localizada na Unidade Experimental de Bovinocultura de Corte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos (UTFPR), por 72 horas. Após este período, foram pesadas com a mesma balança utilizada para a pesagem inicial e, em seguida, encaminhadas para o laboratório de Bromatologia da UTFPR, para determinação da MS em estufa a 105 °C conforme protocolo descrito no Método 967.03 (AOAC, 1998).

## **5. ANÁLISE ESTATÍSTICA**

O delineamento experimental adotado neste trabalho foi o inteiramente casualizado, com medidas repetidas ao longo do tempo (horas e dias). Inicialmente foi realizada uma análise descritiva, com as medidas de posição e dispersão, bem como gráficos de dispersão ao longo do tempo, visando facilitar a exploração dos dados gerais.

A abordagem matemática utilizada para a análise dos dados foi a modelagem mista, com efeitos aleatórios e fixos. Quanto aos lotes (1 e 2), embora os animais separados em lotes no presente estudo, este fator não foi considerado tratamento no presente estudo. Foi considerado como covariável em alguns modelos, visto não ter sido objetivo a contribuição dos lotes, mas apenas como controle local. A descrição pormenorizada dos modelos segundo a classe de variáveis é descrita a seguir.

### **5.1. Microclima e índices de conforto térmico**

Para as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e os índices de conforto térmico (ITU, ITGU e CTR), foi trabalhado o seguinte modelo linear de efeito misto (eq. 5):

$$y_{ijk} = \mu\theta_j + \vartheta_k + \epsilon_{ijk} \quad (5)$$

onde:

$y_{ijk}$  é a medida obtida no k-ésimo dia, no ambiente submetido ao j-ésimo programa e na i-ésima hora do dia;

$\mu$  é o efeito fixo da hora do dia, representado por um polinômio de segundo grau:  $\alpha + \beta x_i + \gamma x_i^2$ ;

$x_i$  se refere à i-ésima hora do dia em que foi realizada a medição.

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa ao qual o animal k estava submetido no momento da medição;

$\vartheta_k$  é o efeito aleatório do k-ésimo dia e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e variância  $\tau_u^2$ ;

$\epsilon_{ijk}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

A análise do modelo Gaussiano de efeitos mistos seguiu a mesma lógica de uma análise tradicional com todos os efeitos fixos, apenas com algumas particularidades:

- Ajuste do modelo pelo método da máxima verossimilhança restrita (no modelo de efeitos fixos, isto é feito por mínimos quadrados ordinários);
- Teste dos efeitos dos tratamentos e da interação pelo teste de Wald (WALD, 1943), também conhecida como análise de deviança (na modelagem tradicional de efeito fixo isto é feito pela ANOVA);
- Teste de Tukey para comparação de médias, caso haja efeito do tratamento de ventilação;
- Confecção de gráficos dos valores preditos usando o modelo ajustado, caso haja efeito isolado de horas do dia.

Em caso de interação significativa, os efeitos de hora foram desdobrados dentro de cada programa de ventilação e os efeitos de programa de ventilação foram desdobrados em cada uma das horas de medição. Todas as análises estatísticas foram feitas no software estatístico R (R CORE TEAM, 2020) usando os pacotes lme4 (BATES *et al.*, 2015) e emmeans (LENTH, 2020).

## 5.2. Temperatura da cama

Para as variáveis de temperatura da cama (temperatura de profundidade e temperatura superficial da cama) foram adotadas as mesmas abordagens do item anterior, apenas diferindo o modelo em um dos parâmetros, conforme evidenciado a seguir (eq. 6):

$$y_{ijkl} = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l]} + \epsilon_{ijkl} \quad (6)$$

onde:

$y_{ijkl}$  é a medida obtida no l-ésimo lote no k-ésimo dia, no ambiente submetido ao j-ésimo programa e na i-ésima hora do dia;

$\mu$  é o efeito fixo da hora do dia, representado por um polinômio de segundo grau:  $\alpha + \beta x_i + \gamma x_i^2$ ;

$x_i$  se refere à i-ésima hora do dia em que foi realizada a medição.

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa ao qual o animal k estava submetido no momento da medição;

$\vartheta_{k[l]}$  é o efeito aleatório do l-ésimo lote dentro do k-ésimo dia de medição e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e variância  $\tau_u^2$ ;

$\epsilon_{ijkl}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

## 5.3. Termorregulação e produção de leite

Para as variáveis de termorregulação (frequência respiratória e temperatura superficial média), bem como a produção de leite dos animais em função dos tratamentos, foram adotadas as mesmas abordagens do item anterior, apenas diferindo o modelo em um dos parâmetros, conforme evidenciado a seguir (eq. 7):

$$y_{ijklm} = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l[m]]} + \epsilon_{ijkl} \quad (7)$$

onde:

$y_{ijklm}$  é a medida obtida no m-ésimo animal pertencente ao l-ésimo lote, no k-ésimo dia, no ambiente submetido ao j-ésimo programa e na i-ésima hora do dia;

$\mu$  é o efeito fixo da hora do dia (ou turno do dia, no caso da produção de leite), representado por um polinômio de segundo grau:  $\alpha + \beta x_i + \gamma x_i^2$ ;

$x_i$  se refere à i-ésima hora do dia em que foi realizada a medição (somente para variáveis de termorregulação).

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa ao qual o animal m estava submetido no momento da medição;

$\vartheta_{k[l[m]]}$  é o efeito aleatório do m-ésimo animal dentro do l-ésimo lote dentro do k-ésimo dia de medição e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e variância  $\tau_u^2$ ;

$\epsilon_{ijklm}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

#### 5.4. Umidade da cama

Para a variável umidade da cama foram adotadas as mesmas abordagens do item anterior, apenas diferindo o modelo em um dos parâmetros, conforme evidenciado a seguir (eq. 8):

$$y_{ijklm} = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l[m]]} + \epsilon_{ijkl} \quad (8)$$

onde:

$y_{ijklm}$  é a medida obtida no m-ésimo ponto pertencente ao l-ésimo lote, no k-ésimo dia, no ambiente submetido ao j-ésimo programa e no i-ésimo turno;

$\mu$  é o efeito fixo de turno do dia (manhã ou tarde);

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa;

$\vartheta_{k[l[m]]}$  é o efeito aleatório do m-ésimo ponto dentro do l-ésimo lote dentro do k-ésimo dia de medição e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e variância  $\tau_u^2$ ;

$\epsilon_{ijklm}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

#### 5.5. Comportamento animal

Por meio do estudo do comportamento animal, objetivou-se:

- Analisar a probabilidade de os animais apresentarem certo comportamento em relação as horas do dia e submetidos a diferentes programas de

ventilação (variável binária, ou seja, houve ou não o comportamento no período do dia e tratamento avaliado);

- Analisar o tempo que o animal permaneceu realizando o referido comportamento nos respectivos tratamentos.

Para tanto, foi realizada uma modelagem em dois estágios, sendo um primeiro estágio binário (apresentar ou não o comportamento) e um segundo estágio contínuo (dado que apresentou o comportamento qual foi o tempo de permanência neste comportamento).

### 5.5.1. Probabilidade de ocorrência dos comportamentos

Na primeira parte, tem-se uma variável resposta binomial ( $y$ ) que pode ser descrita por um modelo linear generalizado (McCULLAGH; NELDER, 1983); eq. 9 e 10):

$$E(y_{ijkl}) = \pi_{ijkl} \quad (9)$$

$$\text{logit}(\pi_{ijkl}) = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l]} + \epsilon_{ijkl} \quad (10)$$

Uma possível interpretação do modelo acima é afirmar que existe uma pontuação subjacente à variável observada, de forma que (eq. 11):

$$y_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{se } y_{ijkl}^* > 0 \\ 0, & \text{se } y_{ijkl}^* \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Reescrevendo o modelo, temos (eq. 12):

$$y_{ijkl}^* = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l]} + \epsilon_{ijkl} \quad (12)$$

onde:

$y_{ijkl}^*$  é a observação do comportamento do  $k$ -ésimo animal no  $l$ -ésimo dia, submetido ao  $j$ -ésimo programa na  $i$ -ésima hora do dia;

$\mu$  é o efeito fixo da hora do dia, representado por um polinômio de segundo grau:  $\alpha + \beta x_i + \gamma x_i^2$ ;

$x_{ik}$  se refere à  $i$ -ésima hora do dia em que foi observado certo comportamento do animal  $k$ ;

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa ao qual o animal k estava submetido no momento da medição;

$\vartheta_{k[l]}$  é o efeito aleatório do k-ésimo animal dentro do l-ésimo dia de medição e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e variância  $\tau_u^2$ ;

$\epsilon_{ijkl}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e desvio padrão  $\sigma$ .

Uma vez que os mesmos animais foram submetidos a todos os j programas, nos l dias sucessivos, o efeito aleatório aninhado  $\vartheta_{k[l]}$  teve que ser incluído no modelo.

### 5.5.2. Tempo de duração dos comportamentos

Na segunda parte, tem-se uma variável resposta contínua, que também pode ser descrita por um modelo linear generalizado, mas agora com distribuição Normal (eq. 13). Os demais procedimentos foram os mesmos das variáveis anteriores:

$$y_{ijkl} = \mu\theta_j + \vartheta_{k[l]} + \epsilon_{ijkl} \quad (8)$$

Onde:

$y_{ijkl}$  é o tempo de duração de certo comportamento pelo k-ésimo animal no l-ésimo mês, submetido ao j-ésimo programa na i-ésima hora do dia;

$\mu$  é o efeito fixo da hora do dia representado por um polinômio de segundo grau:  $\alpha + \beta x_{ik} + \gamma x_{ik}^2$ ;

$x_{ik}$  se refere à i-ésima hora do dia em que foi observado certo comportamento do animal k.

$\theta_j$  é a covariável que representa o j-ésimo programa ao qual o animal k estava submetido no momento da medição;

$\vartheta_{k[l]}$  é o efeito aleatório do k-ésimo animal dentro do dia de mês e foi considerado como tendo distribuição normal com média zero e desvio padrão  $1/\tau_u$ ;

$\epsilon_{ijkl}$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Ambiente térmico do sistema *compost barn*

A temperatura média e a umidade relativa do ar externas mantiveram-se dentro na zona de termoneutralidade para bovinos leiteiros que, segundo Narongsak, (2012) está entre -5 a 25 °C. A velocidade média do vento e o acúmulo de chuvas podem ter contribuído para a manutenção da temperatura e umidade do ar observados durante o período experimental (Tabela 3).

No Brasil as instalações de *compost barn* tem as laterais abertas possibilitando que a ventilação natural adentre a instalação contribuindo com o microclima. Porém, em dias chuvosos, não se pode conter a entrada de umidade natural e isto contribui para a alteração psicrométrica do microclima interno. Em regiões mais úmidas e chuvosas se faz-se o uso de cortinas nas laterais para se banir a umidade externa (DAMASCENO; BRANDÃO, 2020)

**Tabela 3- Condições meteorológicas externas ao sistema *Compost Barn* para vacas leiteiras durante o período experimental**

Variáveis	Parâmetros					
	Média ± erro-padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Temperatura do ar (°C)	23,6 ± 0,17	13,3	20,2	23,0	27,2	34,5
Umidade relativa do ar (%)	71 ± 0,71	24	54	74	88	99
Velocidade do vento (m/s)	1,0 ± 0,09	0,0	0,6	1,1	1,5	1,9
Precipitação pluvial (mm) - acumulado			89,6			

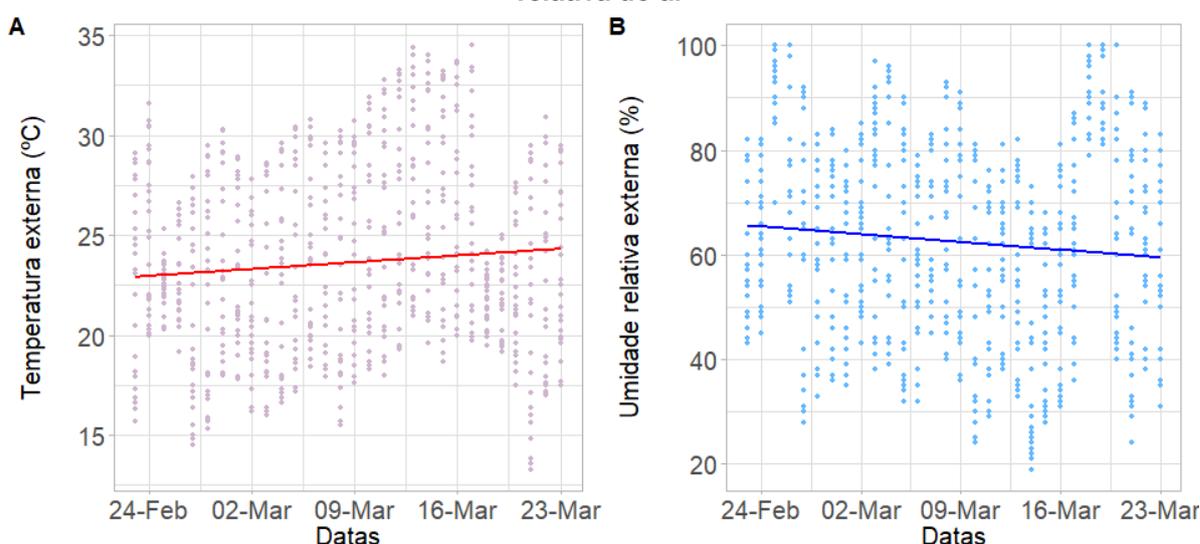
**Fonte: Autoria própria (2020)**

A umidade do ar mais elevada no início do experimento (Gráfico 1b) coincide com o acúmulo de precipitação pluvial observada no mês de fevereiro (64,6 mm) e na segunda quinzena do mês de março (25 mm). Entretanto, observando a linha de tendência nos gráficos de temperatura (Gráfico 1a) e umidade relativa do ar, pouca

variação ao longo do tempo foi observada no ambiente externo, configurando-se os meses de fevereiro e março como quentes e úmidos característicos do verão subtropical úmido.

As temperaturas foram elevadas para todos os tratamentos no período da tarde, mantendo-se entre 22 e 36 °C (Gráfico 2a). A umidade relativa foi mais elevada entre manhã e noite (variando entre 60 e 80%; Gráfico 2b) e a velocidade do vento chegou a 3 m s<sup>-1</sup> nos tratamentos 25 °C/70% e 25 °C/50%, e atingiu 5 m s<sup>-1</sup> nos tratamentos 23 °C/70% e 23 °C/50% (Gráfico 2c).

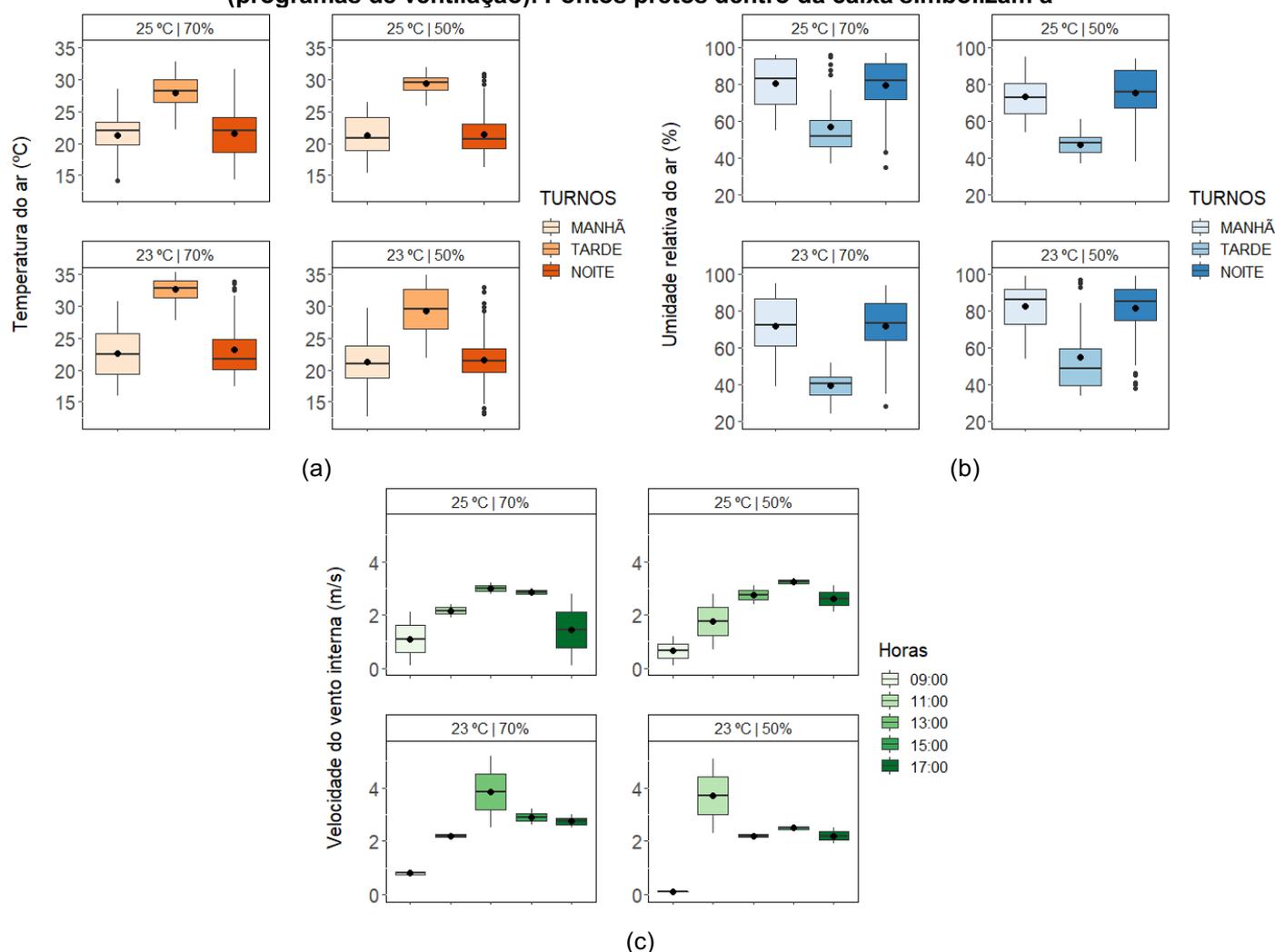
**Gráfico 1 - Condições meteorológicas externas do galpão, A) Temperatura do ar, B) Umidade relativa do ar**



Fonte: Autoria própria (2020)

Nota-se variação de temperatura do ar no Gráfico 2a expressa pelo tamanho da caixa do gráfico *box-plot*, durante o período da tarde, exceto para o tratamento 23 °C/50%. Isto indica que neste período a dispersão dos dados foi homogênea, caracterizando a quantidade elevada de energia térmica neste horário. Observa-se que a temperatura neste período mais quente foi acima de 30 °C nos tratamentos 23 °C/70% e 23 °C/50%. Os demais mantiveram-se entre 26 °C e 30 °C.

**Gráfico 2 - Box-plot da temperatura do ar (a), umidade do ar (b) e velocidade do vento (c) no sistema *Compost Barn*, nos períodos diários (manhã, tarde e noite ou horas) e tratamentos (programas de ventilação). Pontos pretos dentro da caixa simbolizam a**



Fonte: Autoria própria (2020)

Em geral, as faixas de temperatura foram acima da zona de conforto dos animais, com possível exigência de dissipação de calor para as faixas acima de 30 °C. Sendo assim, os animais estariam utilizando os mecanismos de regulação de temperatura durante este período, o que ocasionaria alterações fisiológicas (DAS *et al.*, 2016), imunológicas (AZEVEDO, 2009), produtivas (TAO *et al.*, 2018) e reprodutivas (PEREIRA *et al.*, 2013).

Os valores de umidade interna do galpão (Gráfico 2b) foram maiores e com mais variação no período da manhã e da noite para todos os tratamentos (média de 81%), enquanto na parte da tarde observou-se a menor média (48%). O tratamento 23° C/50% foi o único em que a umidade relativa máxima atingiu 100%, valor que ultrapassa a faixa de conforto dos bovinos para umidade do ar, conforme Park e Lindenberg (2006) fica entre 60 a 80%, neste caso, o estresse é inevitável para as

vacas expostas a esta faixa de umidade (KADZERE, 2002). No tratamento 23°C/50%, os ventiladores ligavam com temperatura e umidade mais baixas, mesmo nos horários mais quentes do dia, quando comparada aos outros tratamentos. Isto possivelmente contribuiu para a redução da umidade do ambiente, porém neste mesmo período foram registradas precipitações de 20 mm, sendo uma provável justificativa para os valores elevados.

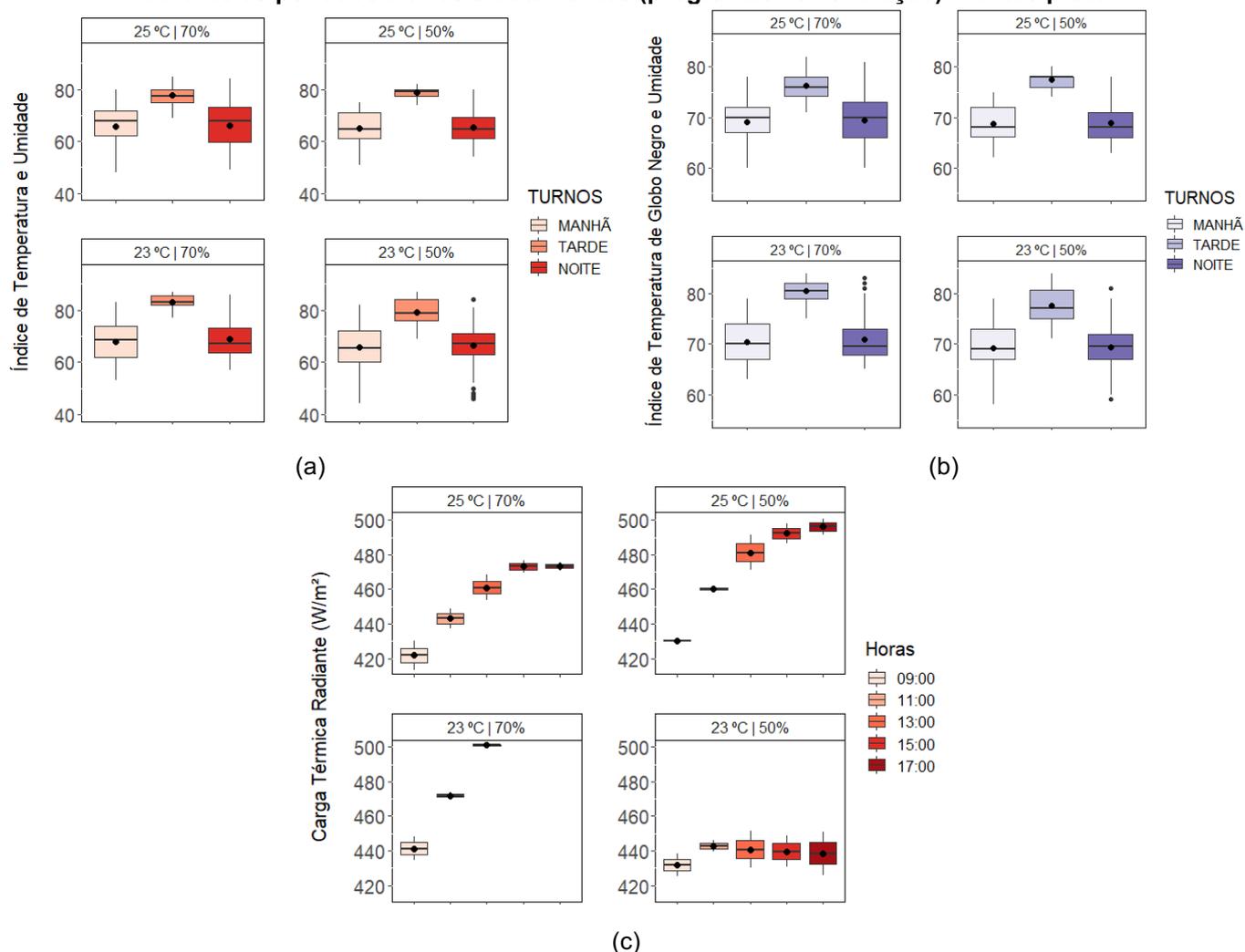
A velocidade do vento (Gráfico 2c) apresentou maior variação no tratamento 25°C/70% às 17 horas (0 a 3 m s<sup>-1</sup>). Este resultado pode ser explicado pelo momento da aferição, pois neste exato momento, o sistema de ventilação pode ter atingido a temperatura e a umidade estipulada para o tratamento e os ventiladores desligaram. Outro ponto a ser observado foi que nos tratamentos 23°C/70% e 23°C/50%, a velocidade do vento foi registrada acima do que se espera dentro do sistema (3,0 e 5,0 m s<sup>-1</sup>). Como este sistema de *compost barn* não apresentava barreiras laterais, o vento externo pode ter influenciado nestes resultados. A velocidade do vento ideal seria entre 2,5 e 3,5 m s<sup>-1</sup>, cujos valores acima dessa faixa pode causar estresse aos animais (FERREIRA; DAMASCENO, 2020). O vento é um dos agentes responsáveis pela redução de temperatura dos animais por meios convectivos auxiliando na troca térmica, mesmo não reduzindo a temperatura do ar (COLLIER *et al.*, 2006).

Quanto aos índices de conforto térmico, o índice de temperatura e umidade (ITU; Gráfico 3a), índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU; Gráfico 3b) e carga térmica radiante (CTR; Gráfico 3c) apresentaram valores que indicam alerta durante o período da tarde para todos os tratamentos.

O ITU (índice de temperatura e umidade) é um bom indicador de estresse térmico (MADER *et al.*, 2006) de acordo com Hahn (1999) são classificadas como normal até 70; preocupante entre 71 e 74; emergência entre 75 e 84. Em todos os tratamentos foram encontrados valores acima de 71 no período da tarde, sendo que o tratamento 23°C/70% os valores superaram 80 (Gráfico 3a), índice considerado de emergência, que se agravaram no período da tarde e da noite.

Para o ITGU (Gráfico 3b) os valores permaneceram entre 57 e 84 durante todo o período de avaliação.

**Gráfico 3-Box-plot do índice de temperatura e umidade (ITU) (a), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (b), carga térmica radiante (CTR) (c) no sistema *compost barn*, durante os períodos diários e tratamentos (programas de ventilação). Pontos preto**



Fonte: Autoria própria (2020)

Segundo Baêta e Souza, (2010), valores de ITGU menor que 74 indica conforto, entre 75 e 78, alerta, entre 79 e 84, perigoso, e acima de 84, emergência. Apenas no tratamento 23 °C/70% foram registrados valores acima de 80 no período da tarde, período também com registro de maiores temperaturas e umidade relativa reduzida. O ITGU de 79 indica uma situação de estresse térmico para o gado de leite (BAÊTA; SOUZA, 2010). Estes valores foram observados em todos os tratamentos no período da tarde e da noite, mas no tratamento 23 °C/70% e 23 °C/50% foram observados no período da manhã. Possivelmente, ao longo do período experimental os animais passaram por estresse térmico.

A carga radiante térmica (CTR) é um indicador de conforto térmico e determina a quantidade de energia térmica trocada pelo animal através da radiação com o meio ao seu redor (SILVA, 2000). Segundo Baêta e Souza (1997) faixas de

CTR até  $450 \text{ W m}^{-2}$  proporcionariam conforto aos animais. Os resultados encontrados para CTR foram entre  $410$  e  $520 \text{ W m}^{-2}$  (Gráfico 3c) durante todo o período experimental. Os valores obtidos foram semelhantes aos valores encontrado por Soares (2019) durante experimento realizado em *compost barn* entre primavera e verão de 2017, para a mesma localização geográfica desta pesquisa, foi na faixa de  $415$  e  $480 \text{ W m}^{-2}$ . Houve interação entre tratamentos e períodos para as variáveis diferença entre temperatura interna e externa ( $P = 0,0013$ ), umidade relativa do ar ( $P = 0,0437$ ) e diferença entre umidade relativa interna e externa ( $P < 0,001$ ; Tabela 4).

**Tabela 4-Análise de *deviance* da temperatura do ar (TAR), diferença da temperatura do ar (Diferença TAR), umidade relativa (UR), diferença da umidade relativa (Diferença UR), velocidade do vento (VV), índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), Carga térmica radiante (CTR)**

Variáveis	Média $\pm$ erro-padrão	P-valor		
		Tratamento	Período <sup>3</sup>	Tratamento x período <sup>4</sup>
TAR (°C)	23,8 $\pm$ 0,19	0,0079	< 0,001	0,1638
Diferença TAR (°C) <sup>1</sup>	0,18 $\pm$ 0,06	0,1446	< 0,001	0,0013
UR (%)	63 $\pm$ 0,73	0,0233	< 0,001	0,0437
Diferença UR (%) <sup>2</sup>	11 $\pm$ 0,74	0,0013	< 0,001	< 0,001
VV ( $\text{m s}^{-1}$ )	2,23 $\pm$ 0,19	0,8270	< 0,001	0,9351
ITU	70 $\pm$ 0,34	0,1304	< 0,001	0,6893
ITGU	72 $\pm$ 0,21	0,0748	< 0,001	0,3450
CTR ( $\text{W m}^{-2}$ )	463,2 $\pm$ 4,56	0,0017	< 0,001	0,3278

<sup>1</sup>Diferença entre a temperatura interna do galpão e a externa; <sup>2</sup>Diferença entre a umidade relativa interna do galpão e a externa; <sup>3</sup>Foi considerado efeito quadrático de período do dia; <sup>4</sup>Interação entre tratamento  $\times$  período

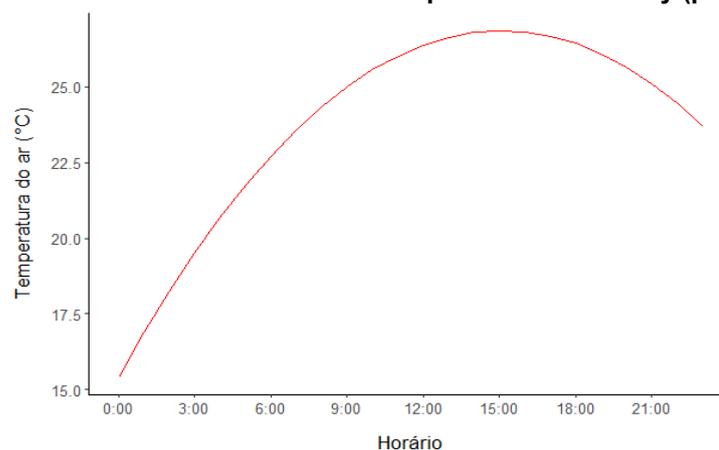
**Fonte: Autoria própria (2020)**

A média da diferença da umidade relativa do ar interna e externa foi de 11% (Tabela 4), o que significa que a parte interna do galpão apresentou maior umidade, pois os próprios animais geram umidade, por meio de transpiração, fezes e urina, além da contribuição do ter de umidade da cama. Todas as variáveis analisadas

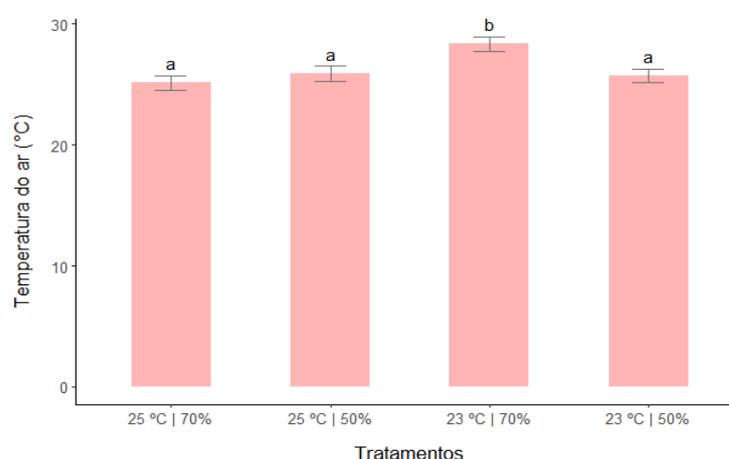
apresentaram efeito quadrático isolado de período, enquanto foi observado efeito isolado de tratamento para as variáveis TAR (temperatura do ar), Diferença UR (diferença umidade relativa) e CTR (carga térmica radiante). Ou seja, não apenas o efeito de tratamento afetou o resultado da análise, mas, variáveis as quais não tínhamos controle, como chuvas.

A temperatura do ar foi crescente ao longo do período matutino, com valores acima de 25 °C entre 12:00 e 15:00, seguido de decréscimo após as 17:00 (Gráfico 4a).

**Gráfico 4-Variação da temperatura do ar dentro do sistema *compost barn*, em função das horas do dia (a) e entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão) (b). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )**



(a)



(b)

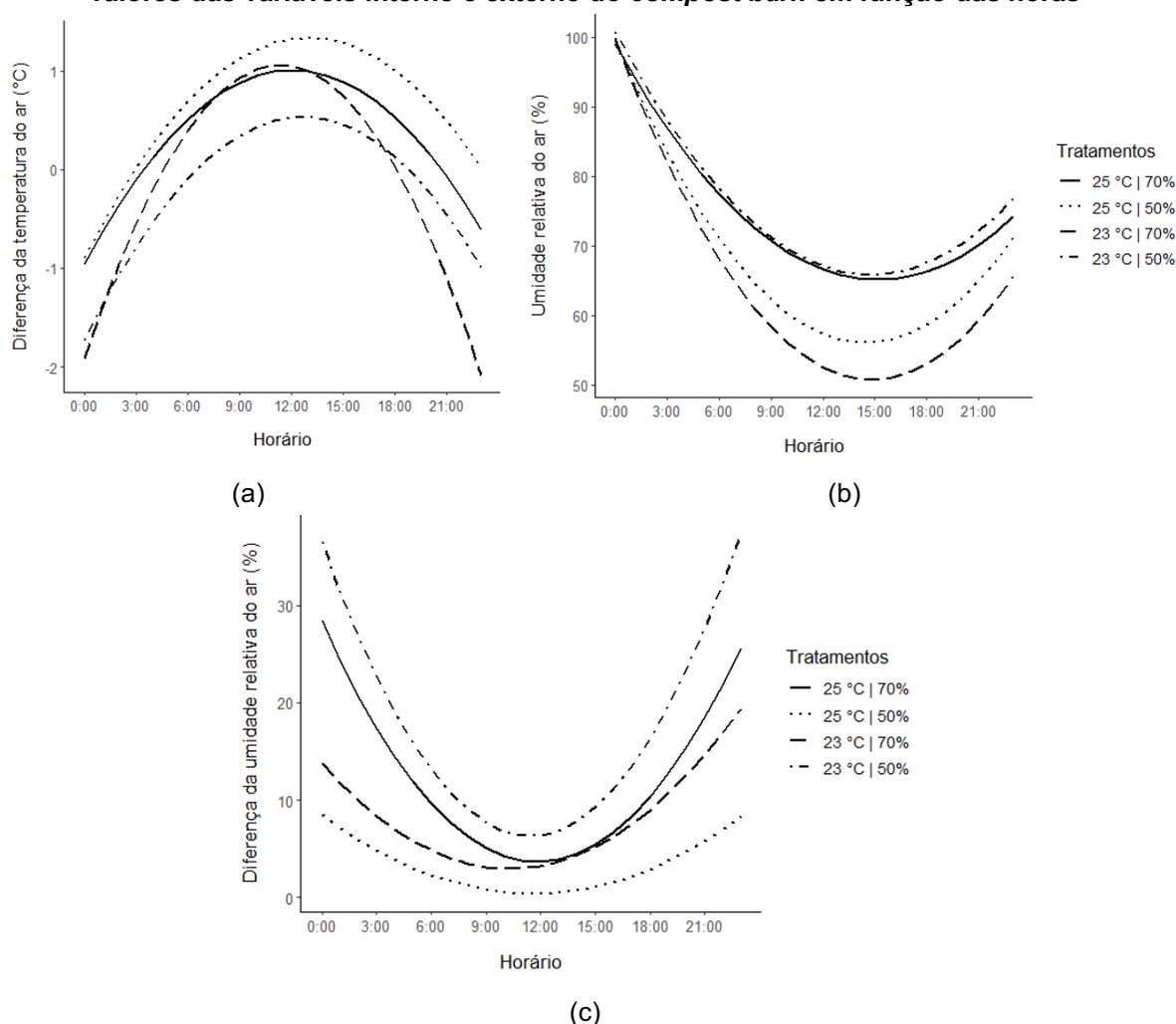
Fonte: Autoria própria (2020)

Considerando a interação entre tratamento e período, o comportamento das curvas da diferença TAR, UR e da diferença UR ao longo das horas do dia (Gráfico

5), demonstram a eficiência do sistema de resfriamento em manter o microclima interno.

Analisando a diferença TAR (diferença temperatura do ar) (Gráfico 5a), não houve diferença entre tratamentos das 0:00 às 18:00. No período das 19:00 às 22:00 foi observada diferença entre os tratamentos 23 °C/70% e 25 °C/50%, sendo que o primeiro apresentou diferença menor entre o ambiente interno e externo (0 a -2°C). Os tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% não apresentaram diferença dentre os demais. Das 23:00 às 0:00 o tratamento 23 °C/70% diferiu dos tratamentos 25 °C/70% e 25 °C/50%, enquanto o tratamento 23 °C/50% não diferiu dos demais.

**Gráfico 5-Varição da diferença entre a temperatura do ar (a), variação da umidade relativa do ar (b) e variação da diferença entre a umidade relativa (c). Diferença foi calculada usando os valores das variáveis interno e externo do *compost barn* em função das horas**



Fonte: Autoria própria (2020)

Nota-se que a maior eficiência em reduzir a temperatura do ambiente interno só foi observada entre as 21:00 e 0:00 pelo tratamento 23 °C/70%. Após às 18:00,

no tratamento 23 °C/70% e 23 °C/50% a diferença entre temperatura interna e externa foi negativa, indicando redução da carga térmica interna do galpão. Depois das 0:00 todos os tratamentos apresentaram valores negativos. Embora tais resultados apontem melhor eficiência para o tratamento 23 °C/70% no período noturno, nenhum dos tratamentos promoveu redução de temperatura em relação ao ambiente externo nos horários mais quentes (entre 12:00 e 16:00). As vacas passam o dia estocando calor, e quando se encontram em uma temperatura que seja possível de realizar trocas de calor, as mesmas retomam ao estado de conforto térmico (BEEDE; COLLIER, 1986).

Os tratamentos apresentaram uma mesma tendência para umidade relativa do ar com relação às horas de avaliação (Gráfico 5b). Observou-se valores para umidade relativa do ar mais elevada durante a noite (100%), que diminuiu a partir das 3:00, atingindo valores mínimos (51%) às 15:00 e aumentando a partir das 18:00. Vieira *et al.* (2021) também encontraram resultados de umidade relativa mais baixa às 15:00, para a época de primavera e verão para a mesma região geográfica do estudo, sendo de 59 a 65% neste horário a temperatura do ar variou entre 26,5 a 28,3 ° C. Não se observou diferença entre os tratamentos nos horários das 22:00 às 07:00. Entre 08:00 e 21:00 o tratamento 23 °C/70% apresentou menor umidade relativa 51% diferindo-se dos tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50%, enquanto o tratamento 2 (25 °C/50%) não diferiu dos demais.

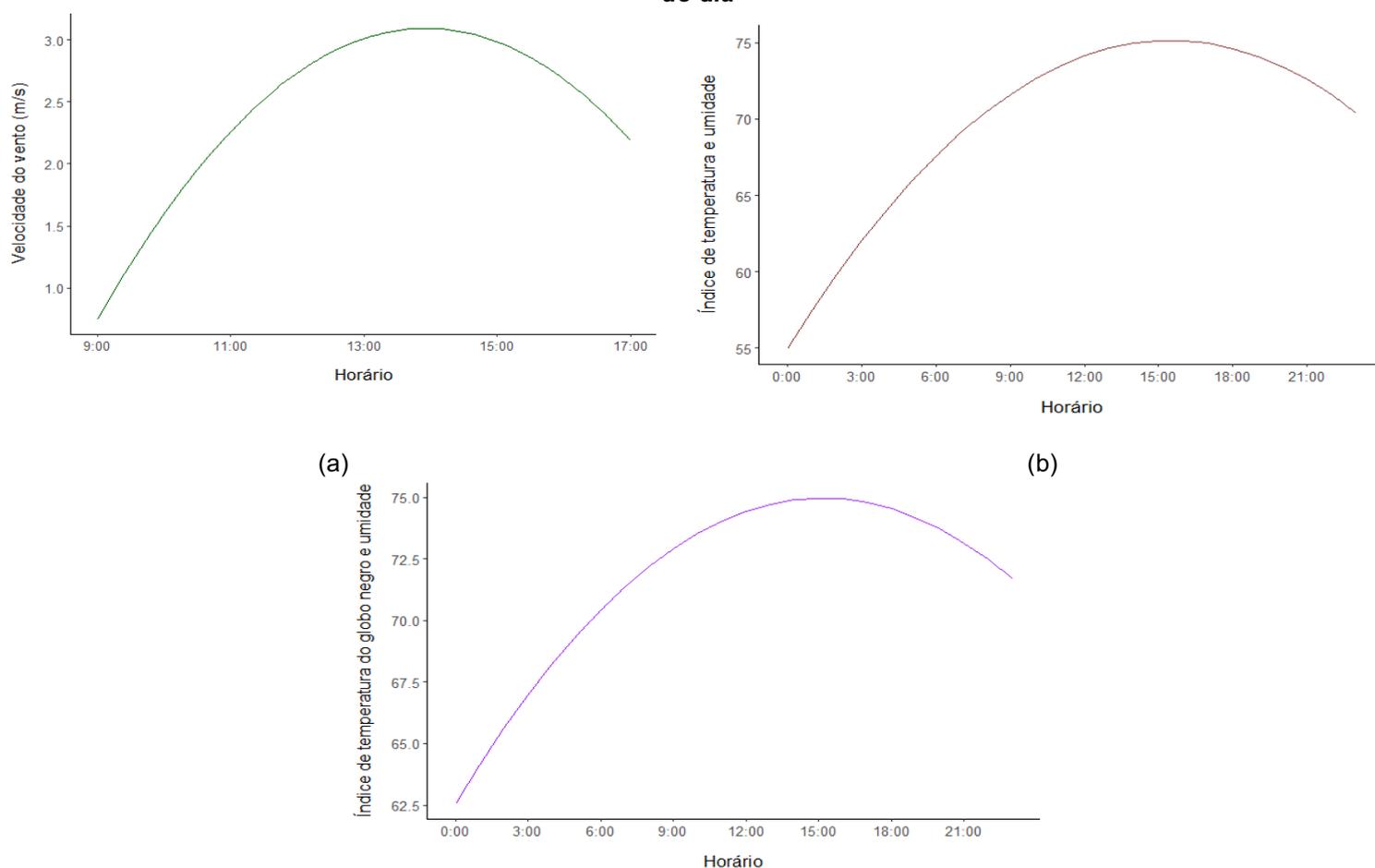
Quanto à diferença de umidade relativa entre o ambiente interno e externo (Gráfico 5c), não foram observadas diferenças entre os tratamentos entre 06:00 e 16:00. Todavia, entre 17:00 e 05:00, o tratamento 25 °C/50% apresentou maior diferença em relação ao tratamento 23°C/50% (cerca de 20% de diferença entre tratamentos). Os demais tratamentos não diferiram entre si. O desejável é que a ventilação auxilie na redução da umidade gerada pelos animais, fezes e urina, auxiliando nas perdas evaporativas e redução de temperatura corporal dos animais. Neste estudo, nenhum dos tratamentos promoveram redução (valores negativos) de umidade relativa do ar em relação ao ambiente externo.

Considerando as variações para velocidade do vento e os índices de conforto térmico estudados, foi observado um aumento ao longo do período matutino, chegando aos valores máximos entre 13:00 e 15:00 (Gráfico 6). Para a velocidade do vento no interior do *compost barn* (Gráfico 6a) foi registrado um pico entre 13:00 e 15:00 (3 m s<sup>-1</sup>) e próximo às 9:00 observa-se uma velocidade média

nula ( $0 \text{ m s}^{-1}$ ). Este fato pode ser explicado pela desativação dos ventiladores neste momento, pois há uma coincidência entre o horário e as temperaturas mais baixas.

Quanto aos índices ITU e ITGU (Gráfico 6b e 6c), foram encontrados maiores valores entre as 12:00 e 18:00, sendo estes próximos a 75, isto é, acima da faixa de conforto dos animais, como já discutido anteriormente.

**Gráfico 6-Variação da velocidade do vento (a), variação do índice de temperatura e umidade (ITU) (b) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (c), em função das horas do dia**



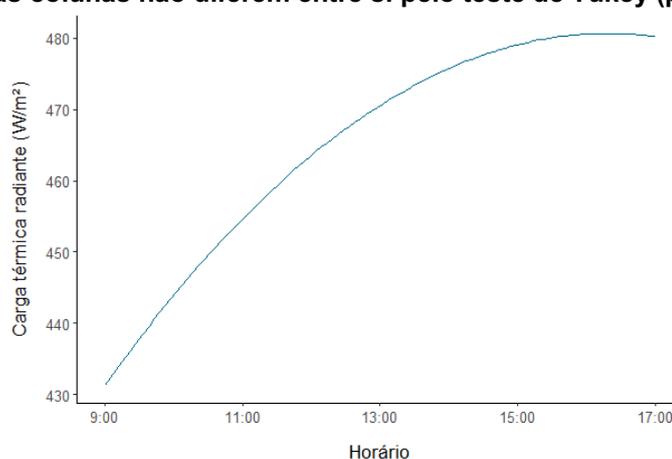
(c)  
**Fonte: Autoria própria (2020)**

No presente estudo foram registrados valores para carga térmica radiante (CTR) acima de  $470 \text{ W m}^2$  a partir das 13:00, chegando ao pico de  $480 \text{ W m}^2$  às 16:00 (Gráfico 7a).

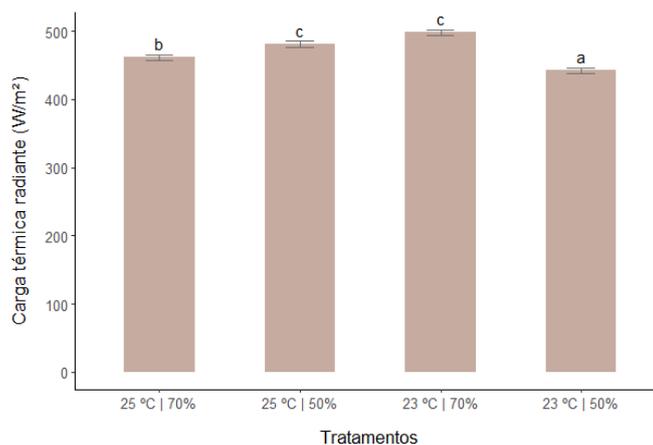
Com relação aos efeitos isolados de tratamentos (Gráfico 7b), os tratamentos  $25 \text{ °C}/50\%$  e  $23 \text{ °C}/70\%$  apresentaram maiores valores de CTR em relação aos demais tratamentos, com valores entre  $480$  e  $500 \text{ W m}^2$  respectivamente.

O tratamento 25 °C/70% apresentou diferença dentre todos os tratamentos, bem como o tratamento 23 °C/50%, com CTR máxima em torno de 450 W m<sup>2</sup>, menor que os demais. Considerando que valores abaixo de 450 W m<sup>2</sup> são indicadores de conforto térmico para os animais (BAÊTA; SOUZA, 1997), nota-se que os tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% proporcionaram um ambiente que favorecem as trocas térmicas sensíveis para os animais no sistema *compost barn*. Embora tenha reduzido a temperatura interna em relação à externa no tratamento 23 °C/70%, este tratamento não foi eficiente para reduzir a carga térmica durante os horários mais quentes, o que favoreceria os animais no que tange à dissipação de calor interno. Ou seja, a eficiência na redução da carga térmica se dá quando o tratamento altera as variáveis térmicas em conjunto, possibilitando ao animal a adequada termorregulação nos horários críticos.

**Gráfico 7-Variação da carga térmica radiante dentro do sistema *compost barn*, em função das horas do dia (a) e entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão) (b). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )**



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020)

O tratamento 23 °C/70% apresentou ITU maior que 80 indicando situação crítica de estresse térmico. Os tratamentos 23 °C/70% e 23 °C/50% tiveram ITGU maior que 79, indicando desconforto ainda na parte da manhã. No período da manhã tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% apresentaram menor CTR. Embora o tratamento 23 °C/70% foi eficiente para reduzir a temperatura no período noturno, nenhum tratamento reduziu a temperatura interna em relação à externa e não reduziram a umidade relativa. O tratamento 23 °C/70% também apresentou menor umidade relativa entre os demais. As demais variáveis a seguir discutidas elucidarão melhor a situação do ambiente térmico e as respostas dos animais aos tratamentos.

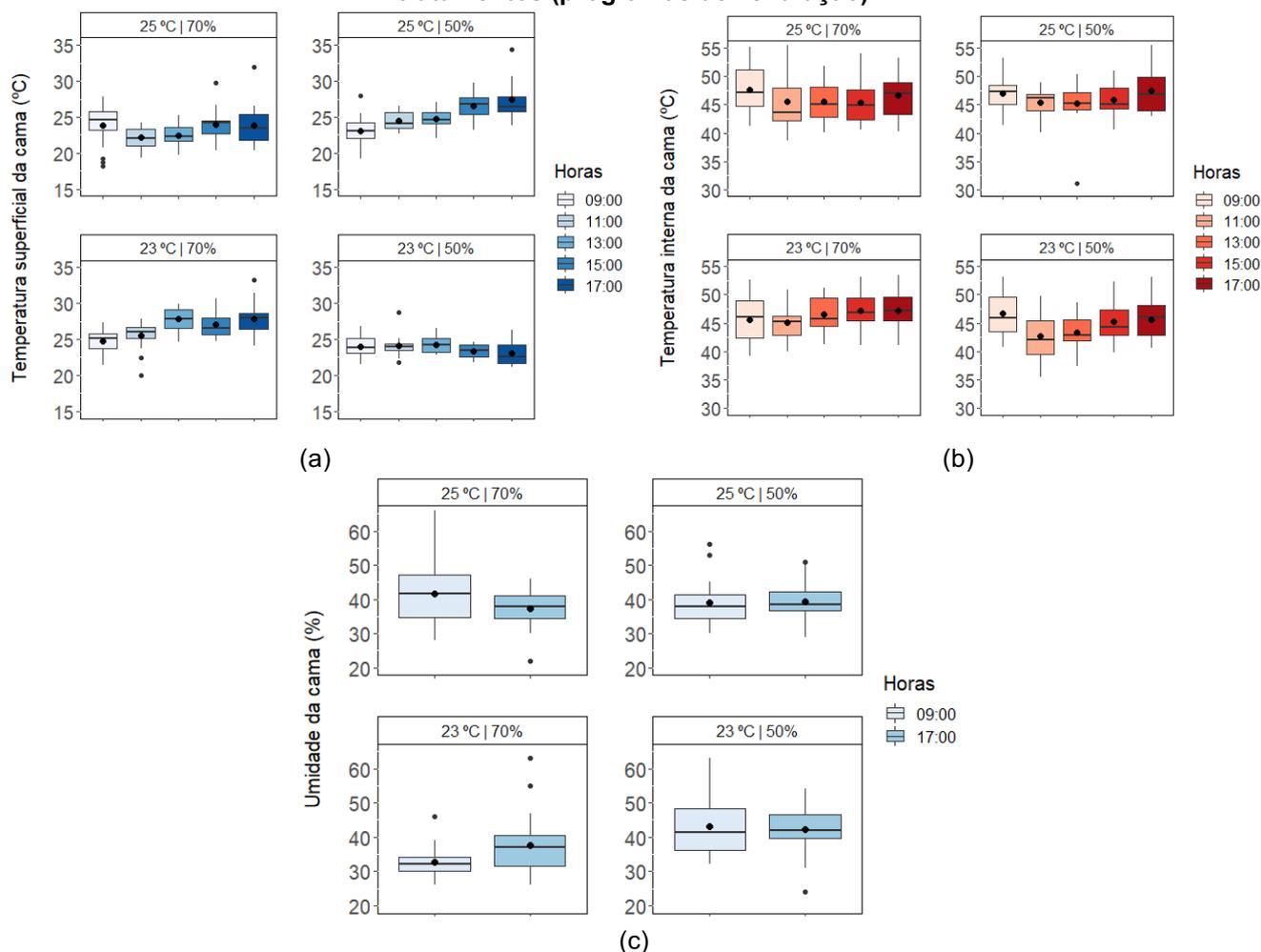
## 6.2. Temperatura e umidade relativa da cama

As variáveis de avaliação da cama do sistema *compost barn* apresentaram valores máximos de 34 °C para temperatura de superfície da cama entre 15:00 e 17:00 e 55 °C para temperatura de profundidade da cama entre 9:00 e 17:00 (Gráfico 8). O teor de umidade da cama ficou entre 25 e 62% e o tratamento que apresentou maior variação foi no tratamento 25°C/70%.

A temperatura de superfície da cama (Gráfico 8a) se manteve na faixa de 10 a 34 °C durante todo o experimento, com valores mais altos de 35 °C e 33 °C às 17:00 nos tratamentos 25 °C/50% e 23 °C/70% respectivamente. Black *et al.* (2013) encontraram valores mais baixos de superfície da cama ( $10,5 \pm 8,0$  °C) e temperatura do ar (9,5 °C), argumentando que a evaporação e ventilação reduzem a temperatura de superfície da cama, mantendo-a próximo da temperatura ambiente, e influenciando na temperatura de profundidade da cama. A temperatura interna da cama deve permanecer dentro da faixa de 45 a 65 °C para que ocorra a sanitização adequada (DAMASCENO, 2012). A compostagem correta elimina os agentes patogênicos que possam se desenvolver na cama, evitando problemas respiratórios e de mastite que afetam a produção de leite (JANNI *et al.*, 2006). Os valores obtidos foram semelhantes entre os tratamentos, com o mínimo de 31 °C no tratamento 25 °C/70% às 13:00. O valor máximo foi de 56 °C no tratamento 25 °C/70% às 11:00. Observamos que nenhum tratamento atingiu os 65 °C e que os horários com maiores temperaturas ocorreram às 09:00, ou seja, antes do primeiro revolvimento da cama. De qualquer forma, este parâmetro ainda permaneceu dentro da faixa ideal,

favorecendo o processo de compostagem, o que pode favorecer a eliminação de microrganismos patogênicos.

**Gráfico 8-Box-plot da temperatura superficial da cama (a), temperatura interna da cama (b) e umidade da cama (c) no sistema *compost barn*, durante os períodos diários e tratamentos (programas de ventilação)**



Fonte: Autoria própria (2020)

A umidade da cama está diretamente relacionada com o processo de compostagem, pois os microrganismos necessitam de água para realizar o processo de decomposição, sendo preferível a umidade entre 50 a 60% (BLACK *et al.*, 2013). Os valores para umidade observados ao longo do experimento foram entre 22% e 60% (Gráfico 8c) diferindo dos valores encontrados por Eckelkamp *et al.* (2016), os quais recomendaram que a umidade da cama esteja entre 44 e 80% e por Fávero *et al.* (2015), entre 35,5 e 40,4%.

Valores abaixo de 30% inibem o crescimento microbiano e pode inibir o processo de compostagem (RICHARD *et al.*, 2002) e acima de 60% de umidade pode limitar a concentração de O<sub>2</sub> nos poros da cama, tornando o processo de

compostagem anaeróbico (VALENTE *et al.*, 2009). No geral a maioria das informações coletadas se manteve dentro do limite esperado. No tratamento 23 °C/70% observamos valores mais baixos, o que coincide com a baixa umidade relativa do ar dentro do *compost barn* apenas neste tratamento, em que a média foi próxima a 33% às 9:00.

Houve interação entre tratamento e período para a temperatura superficial da cama ( $P = 0,0027$ ) e temperatura interna da cama ( $P = 0,0218$ ). Embora não foi registrada interação entre período e tratamento, houve efeito isolado de tratamento para umidade da cama ( $P < 0,001$ ; Tabela 5).

**Tabela 5 - Análise de *deviance* da temperatura de superfície da cama (TS), temperatura de profundidade da cama (TI) e Teor de umidade da cama (UC), de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período**

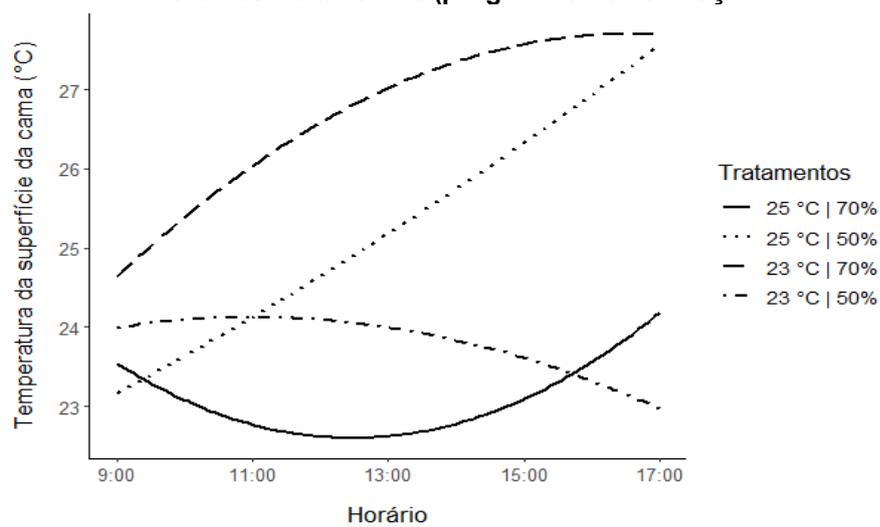
Variáveis	Média ± erro-padrão	P-valor		
		Tratamento	Período <sup>1</sup>	Tratamento x período <sup>2</sup>
TS (°C)	24,6 ± 0,12	< 0,001	0,9827	0,0027
TI (°C)	45,8 ± 0,19	0,8144	< 0,001	0,0218
UC (%)	39 ± 0,64	< 0,001	0,9675	0,0511

<sup>1</sup>Foi considerado efeito quadrático de período do dia; <sup>2</sup>Interação entre tratamento × período

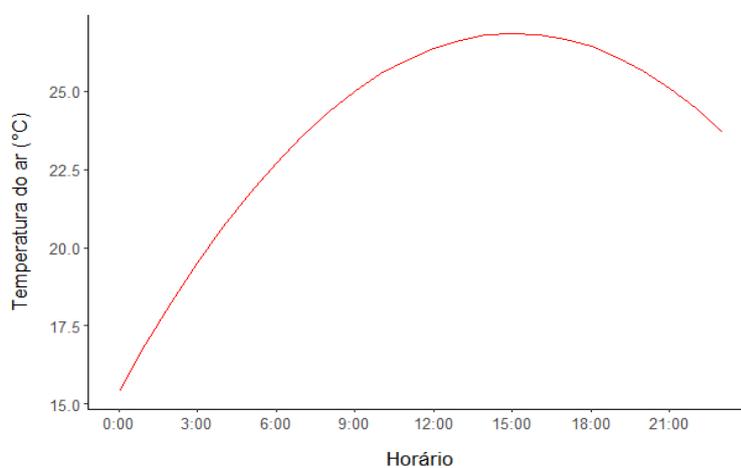
**Fonte: Autoria própria (2020)**

Para a variação de temperatura de superfície da cama para os tratamentos em função das horas do dia (Gráfico 9a), é possível observar que o tratamento 23 °C/70% diferiu-se dos demais às 11:00 (26 °C) e às 13:00 (27 °C), mantendo-se mais elevado durante todo o período. Após as 15:00, não houve diferença entre tratamento 25 °C/50% e 23 °C/70%, os mesmos apresentaram maior temperatura (27 e 27,5 °C), diferindo dos tratamentos, 25 °C/70% e 23 °C/50% (23,5 °C para os dois tratamentos).

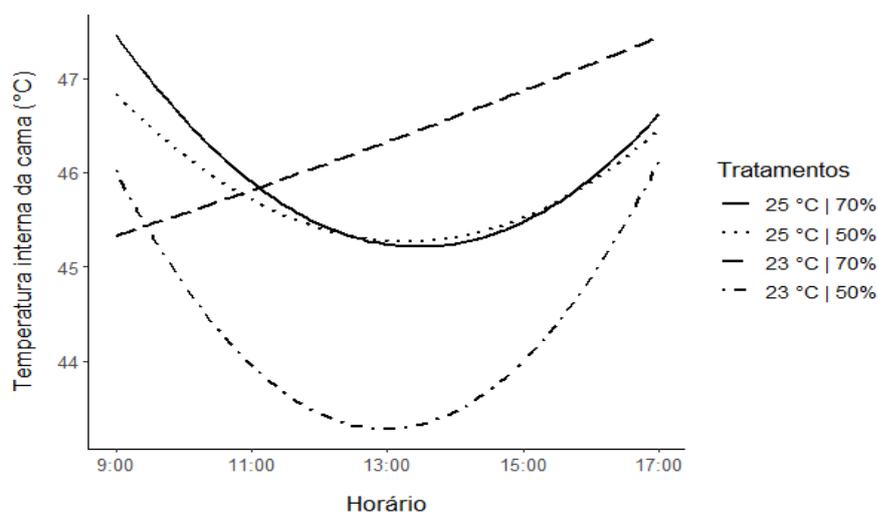
**Gráfico 9-Variação da temperatura da superfície da cama (a) e variação da temperatura interna da cama (b) em sistema *compost barn*, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)**



b)



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020)

Os resultados encontrados neste experimento podem ter sofrido influência das altas temperatura do ar interferindo negativamente para a perda de calor da superfície da cama. É importante que a cama não apresente temperatura de superfície alta pois pode impactar no comportamento de deitar dos animais (SHANE *et al.*, 2010).

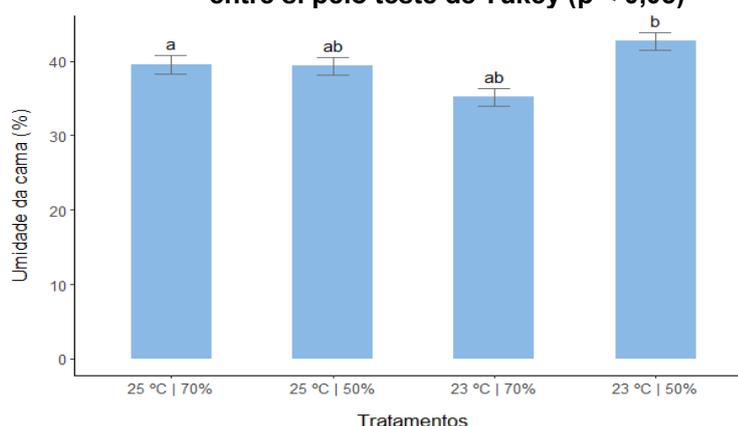
A variação da temperatura de profundidade da cama dos tratamentos em função das horas do dia demonstra que o tratamento 23 °C/70% difere-se do tratamento 23 °C/50% às 09:00 e dos tratamentos 25 °C/70% e 25 °C/50% às 11:00 (Gráfico 9c). O tratamento 25 °C/70% tem apresentou maior temperatura de profundidade da cama dentre os tratamentos às 9:00 (49 °C). O tratamento 23 °C/50% apresentou menor temperatura de profundidade da cama às 13:00 (43 °C). Os valores encontrados são superiores aos valores encontrados por Vieira *et al.* (2021) que encontraram 20,3 e 49,8 °C avaliando na mesma estação deste estudo.

Os valores de temperatura de profundidade da cama encontrados neste trabalho estão mais próximos dos valores encontrados por Barberg *et al.* (2007); Shane *et al.* (2010); Galama (2014); Fávero *et al.* (2015), ou seja 42,5 °C, 42,5 °C, 47 °C, 53,9 °C, respectivamente. Segundo Bewley *et al.* (2012), a temperatura de profundidade da cama tem relação direta com o sucesso da compostagem, sendo um fator determinante para o equilíbrio do sistema, em que a temperatura deve manter-se entre 40 e 65 °C (JENNI *et al.*, 2007). Apesar de baixos os valores, a temperatura interna da cama manteve-se dentro da faixa recomendada para boa compostagem.

A variação do teor de umidade da cama entre os diferentes tratamentos está representada no Gráfico 10, o tratamento 23 °C/50% apresentou a maior faixa de teor de umidade até 42%. A menor faixa foi do tratamento 23 °C/70% com 38%.

O tratamento 25 °C/70% difere-se do tratamento 25 °C/50%, porém os tratamentos 25 °C/50% e 23 °C/70% não se diferem. O tratamento 23 °C/70% se difere do tratamento 23 °C/50%. Em nenhum tratamento obtivemos resultado maiores do que 42% no limite do recomendado segundo Leso *et al.*, (2020) que deve ser na faixa de 40 a 60%. Nota-se uma relação entre os tratamentos 23 °C/70% e 23 °C/50% com a umidade do ar, no primeiro não ocorreu precipitações e no segundo tivemos a ocorrência de precipitações, onde sugerimos que a umidade da cama sofreu influência do microclima.

**Gráfico 10-Variação da umidade relativa da cama em sistema *compost barn* entre os diferentes tratamentos (barras de erro-padrão). Letras iguais entre as colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )**



**Fonte: A autoria própria (2020)**

Os tratamentos 25 °C/70% apresentaram menor temperatura de superfície da cama e menor temperatura de profundidade da cama. O tratamento 23 °C/50% também teve bom resultado para temperatura de superfície. Quanto ao teor de umidade da cama o tratamento 23 °C/70% manteve-se abaixo do recomendável, embora não diferiu dos demais tratamentos.

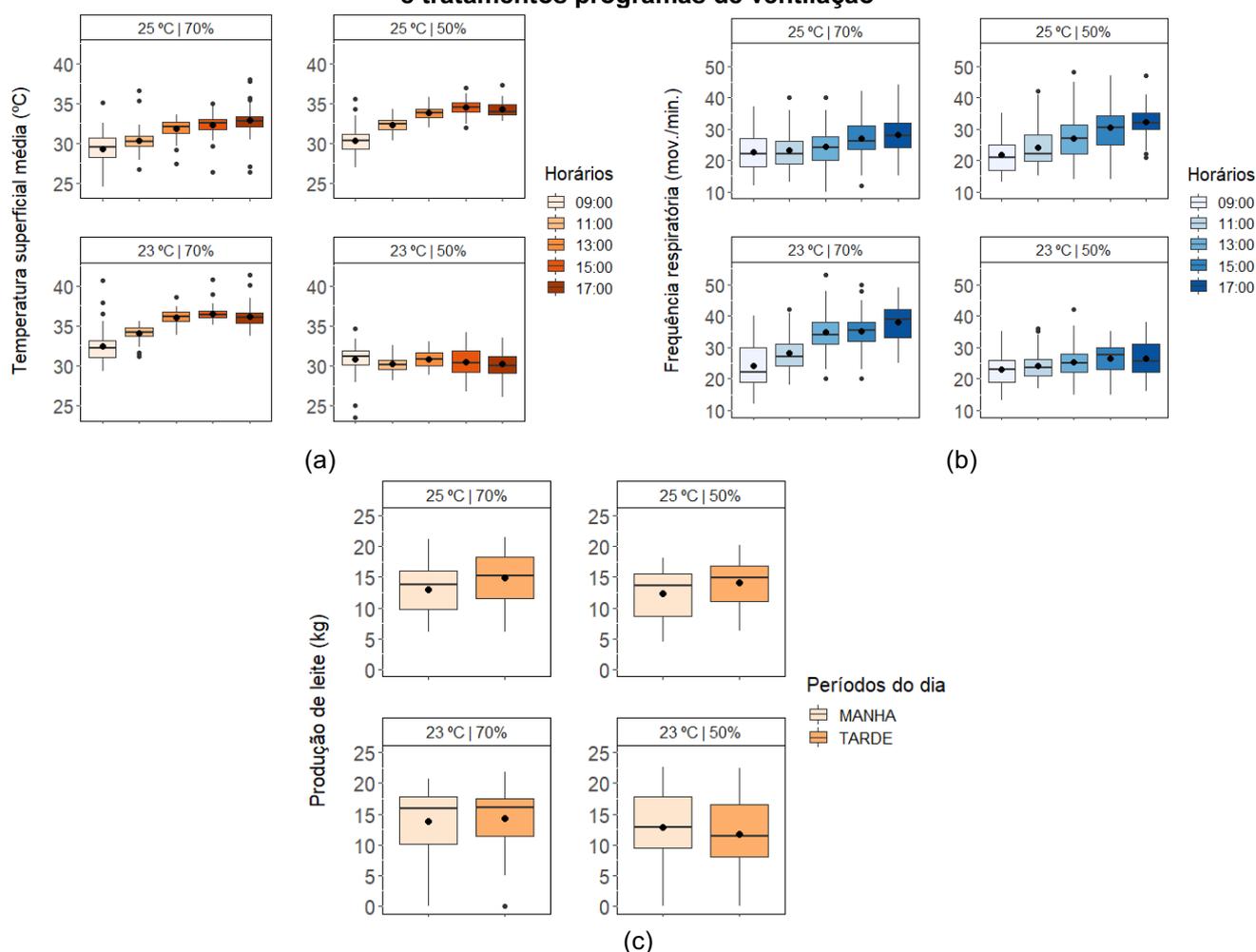
### 6.3. Termorregulação e produção de leite

Houve aumento da temperatura superficial média corporal (Gráfico 11a) e frequência respiratória (Gráfico 11b) conforme as horas do dia, com exceção do tratamento 23 °C/50% que permaneceu constante, enquanto para produção de leite (Gráfico 11c) observamos pouca variação.

Nas avaliações do tratamento 23 °C/50% os animais tiveram menor faixa de temperatura superficial média corporal (Gráfico 11a) de 24 °C a 35 °C. O tratamento 23 °C/70% apresentou maior faixa de temperatura superficial média corporal, de 29°C a 41,8°C, estes valores elevados coincidem com a maior ITU (índice de temperatura e umidade) e CTR (carga térmica radiante) deste tratamento.

Neste presente estudo valores médios de frequência respiratória (Gráfico 11b) aumentaram no decorrer das horas para todos os tratamentos, com maior disparidade de dados no tratamento 23 °C/70%.

**Gráfico 11-Box-plot da temperatura superficial média (a), frequência respiratória (b) e produção de leite (c) das vacas leiteiras no sistema *compost barn*, em duas ordenhas diárias e tratamentos programas de ventilação**



Fonte: Autoria própria (2020)

Observamos no tratamento 23 °C/70% que a frequência respiratória ficou entre 24 e 106 mov. min<sup>-1</sup>, com a maior média às 17:00 (76 mov. min<sup>-1</sup>), possivelmente os animais estariam em estresse térmico. Os valores médios de frequência respiratória foram semelhantes aos encontrados por Pilatti (2017), o qual encontrou valores em torno de 66 mov. min<sup>-1</sup> avaliando animais em *compost barn* na primavera e verão.

Também avaliamos a produção de leite separados por ordenha, em que observamos semelhança no volume de leite produzido ao longo do experimento (Gráfico 11c). Observamos um padrão no comportamento dos dados como nas outras avaliações, o que pode ser explicado também pelo intervalo de ordenha (em horas) que não foi levado em consideração neste experimento, mas pode ter interferido no volume de leite produzido entre uma ordenha e outra.

Na tabela 6 observamos uma análise de *deviance*, houve interação entre tratamento e períodos do dia para todas as variáveis. A temperatura superficial média foi de 32,4 °C, sendo próximo ao valor encontrado por Pilatti (2017) de 30,5 °C para um sistema de *compost barn* na mesma região de estudo do presente trabalho em períodos quentes do ano.

**Tabela 6-Análise de *deviance* da temperatura superficial média (TSM), frequência respiratória (FR) e produção de leite (PROD), de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período**

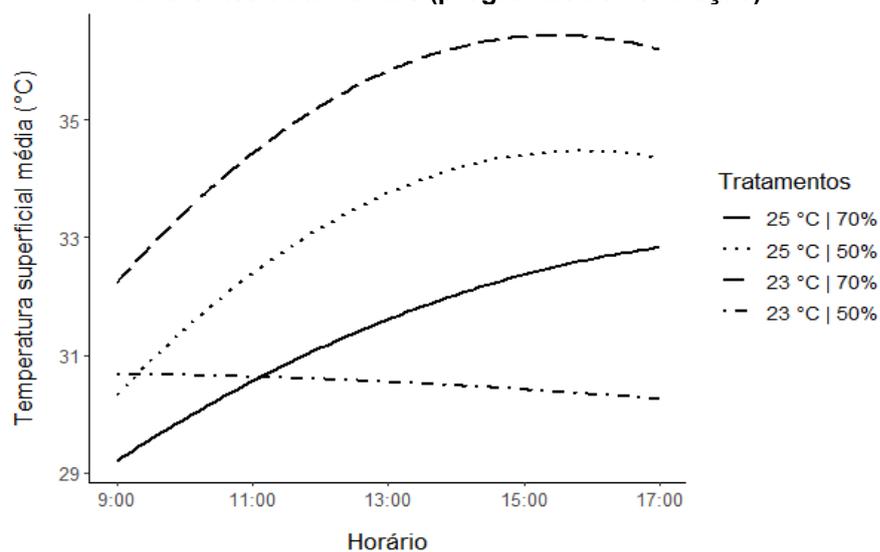
Variáveis	Média ± erro-padrão	P-valor		
		Tratamento	Período <sup>1</sup>	Tratamento x período <sup>2</sup>
TSM (°C)	32,4 ± 0,08	< 0,001	< 0,001	< 0,001
FR (mov. min. <sup>-1</sup> )	54,4 ± 0,22	< 0,001	0,0418	0,0103
PROD (kg)	13,3 ± 0,33	0,4701	< 0,001	< 0,001

<sup>1</sup>Foi considerado efeito quadrático de período do dia; <sup>2</sup>Interação entre tratamento × período Obs: os valores de produção estão apresentados por ordenha, logo foram realizadas duas ordenhas no dia.

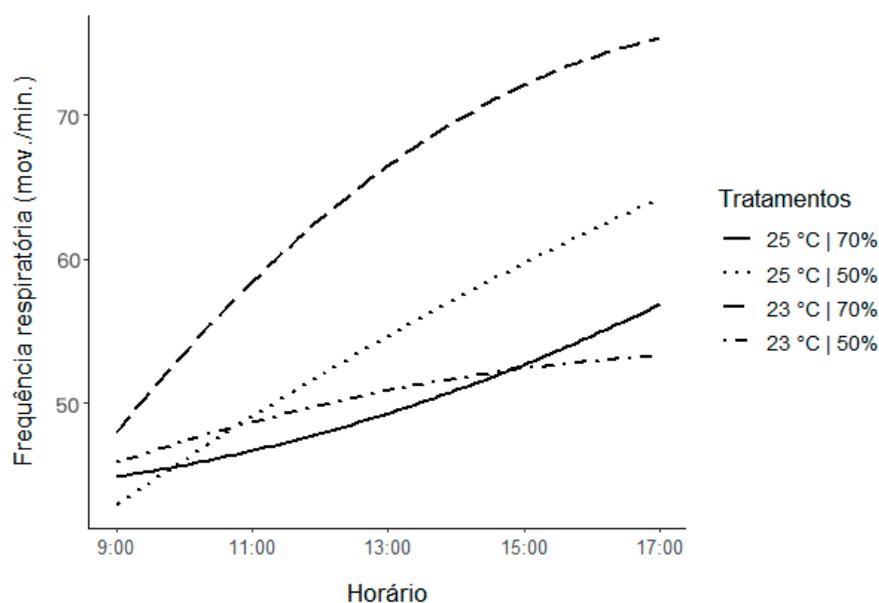
**Fonte: Autoria própria (2020)**

Para variação da temperatura superficial média entre os tratamentos (Gráfico 12a), os animais apresentaram maiores valores durante o tratamento 23 °C/70% às 09:00 e nos horários mais quentes do dia (entre 13:00 e 17:00). Os menores valores neste intervalo de tempo foram alcançados pelos animais do tratamento 23 °C/50%, cuja temperatura superficial média esteve abaixo de 31 °C.

**Gráfico 12-Variação da temperatura superficial média (a) e variação da frequência respiratória (b) das vacas leiteiras no sistema *compost barn*, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)**



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020)

Com relação à frequência respiratória (Gráfico 12b), observa-se que não houve diferença entre os tratamentos às 09:00. Porém, a partir das 11:00, no tratamento 23 °C/70% as vacas apresentaram maior frequência respiratória entre os demais tratamentos, com valores acima de 70 mov. min.<sup>-1</sup> a partir das 15:00. Em contrapartida, nos horários mais quentes, os animais durante os tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% apresentaram valores de frequência respiratória abaixo de 50 mov. min.<sup>-1</sup> praticamente em todo o período, com pequena oscilação no tratamento

25 °C/70% após as 15:00 em que a frequência foi maior que 50 mov. min.<sup>-1</sup>, ainda assim manteve-se abaixo de 60 mov. min.<sup>-1</sup>, indicando que os mesmos não necessitaram usar o ofego como forma de dissipar o calor.

A frequência respiratória é um dos primeiros mecanismos de termorregulação a serem acionados quando os animais são submetidos a estresse térmico (BECKER *et al.*, 2021). Os mesmos autores inferem que valores de frequência respiratória maior que 60 mov. min.<sup>-1</sup> é um indicador de estresse térmico. Segundo Cook *et al.* (2007), quando a frequência respiratória ultrapassa 60 mov. min.<sup>-1</sup>, muito acima do que é considerado normal para bovinos adultos segundo Kadzere *et al.* (2002) entre 24 e 36 mov. min.<sup>-1</sup>.

A produção de leite (Tabela 7) está dividida em períodos, manhã e tarde, em que apenas o tratamento 23 °C/70% não teve diferença significativa entre manhã e tarde (12,8 kg e 11,6 kg respectivamente). Apenas o tratamento 23 °C/50% teve produção menor no período da tarde (11,6 ± 0,93). O resultado de produção pode ser interferido por vários outros fatores, que não foi levado em consideração como o intervalo entre as ordenhas, uma vez que uma alteração neste intervalo pode resultar em menor ou maior produção de um período para o outro.

**Tabela 7-Médias de quadrados mínimos e erro-padrão da média de produção de leite das vacas em sistema *compost barn*, em função das horas do dia e entre os diferentes tratamentos (programas de ventilação)**

Períodos do dia	Tratamentos*			
	25 °C   70%	25 °C   50%	23 °C   70%	23 °C   50%
Manhã	13,0 ± 0,92 aA	12,3 ± 0,92 aA	13,8 ± 0,92 aA	12,8 ± 0,93 aA
Tarde	14,9 ± 0,92 aB	14,0 ± 0,92 aB	14,3 ± 0,92 aA	11,6 ± 0,93 aB

\*Letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). Obs: os valores de produção estão apresentados por ordenha, logo foram realizadas duas ordenhas no dia.

**Fonte: Autoria própria (2020)**

As respostas fisiológicas apresentam grande importância na identificação do estresse térmico. Observamos que o tratamento que proporcionou melhores condições térmicas para as vacas, foi o tratamento 23 °C/50%, seguido do tratamento 25 °C/70%. O tratamento 23 °C/70% apresentou respostas fisiológicas

que indicavam estresse térmico em que os animais estavam com temperatura superficial média acima de 35 °C e frequência respiratória acima de 70 mov.min<sup>-1</sup>.

#### 6.4. Comportamento animal

Quanto aos comportamentos, foram analisados a probabilidade de ocorrência (se houve ou não comportamento nos respectivos tratamentos e períodos), bem como o tempo de duração (em minutos) para cada um dos comportamentos avaliados.

**Tabela 8 - Proporção (%) de ocorrência dos comportamentos avaliados nas vacas leiteiras, em função dos tratamentos avaliados**

Comportamentos	Ocorrência	Tratamentos			
		25 °C   70%	25 °C   50%	23 °C   70%	23 °C   50%
Afugentar	Sim	0,3	0,3	0,0	0,0
	Não	99,7	99,7	100	100
Ruminar em pé	Sim	7,5	13,3	10,8	9,2
	Não	92,5	86,7	89,2	90,8
Ruminar deitado	Sim	47,8	45,0	50,8	46,1
	Não	52,2	55,0	49,2	53,9
Ócio em pé	Sim	24,2	26,7	15,6	25,3
	Não	75,8	73,3	84,4	74,7
Ócio deitado	Sim	15,0	1,1	0,0	2,2
	Não	85,0	98,9	100	97,8
Ingerir água	Sim	14,7	16,4	15,6	20,3
	Não	85,3	83,3	84,4	79,7
Alimentando	Sim	11,4	12,5	12,5	17,2
	Não	88,6	87,5	87,5	82,8

Fonte: Autoria própria (2020)

O comportamento de afugentar foi pouco observado, enquanto a ruminação deitada apresentou alta proporção dentre todos os comportamentos (40 a 50,8%; Tabela 8). O comportamento de ruminar em pé foi observado em maior tendência de proporção no tratamento 25 °C/50% (13,3%). O comportamento de ócio em pé apresentou menor tendência de proporção no tratamento 23 °C/70% (15,6%), e o ócio deitado com pouca proporção foi observado somente no tratamento 25 °C/70% (15%). Os comportamentos de alimentar e ingerir água foram semelhantes em todos os tratamentos.

Para o comportamento das vacas em relação ao tempo em minutos (Tabela 9) observa-se que os animais permanecem em média de 31 minutos ruminando em pé e 42,2 min ruminando deitado. O tempo de ócio em pé e ócio deitado são semelhantes 16,7 e 16,2 minutos, respectivamente. Para o comportamento de ingerir água, os animais ficam em torno de 2,5 minutos ingerindo água por ida ao bebedouro e passaram cerca de 30 minutos de alimentando.

**Tabela 9 - Estatísticas descritivas da duração (minutos) dos comportamentos avaliados nas vacas leiteiras durante o período experimental**

Comportamentos <sup>1</sup>	Parâmetros					
	Média	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Ruminar em pé	31,0	0,0	15,0	30,0	50,0	60,0
Ruminar deitado	42,2	0,0	28,0	48,0	60,0	60,0
Ócio em pé	16,7	0,0	10,0	15,0	20,0	60,0
Ócio deitado	16,2	0,0	6,0	14,0	22,0	60,0
Ingerir água	2,5	0,0	2,0	2,0	2,0	60,0
Alimentando	30,0	0,0	16,0	29,0	45,0	59,0

<sup>1</sup>O comportamento de afugentar não foi considerado nesta tabela, por possuir menos de cinco minutos de duração total no presente estudo

Quanto à probabilidade de ocorrência dos comportamentos avaliados (Tabela 10), houve efeito de interação entre tratamentos e períodos apenas para o comportamento de ruminar deitado e ócio em pé.

**Tabela 10 - Análise de *deviance* da probabilidade de ocorrência dos comportamentos de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período**

Variáveis	P-valor		
	Tratamento	Período <sup>1</sup>	Tratamento x período <sup>2</sup>
Ruminar em pé	0,0763	0,0422	0,3386
Ruminar deitado	0,9344	0,0190	< 0,001
Ócio em pé	0,0862	0,1392	< 0,001
Ócio deitado	NA	NA	NA
Ingerir água	0,7208	< 0,001	0,4495
Alimentando	0,4533	< 0,001	0,8537

<sup>1</sup>Foi considerado efeito quadrático de período do dia; <sup>2</sup>Interação entre tratamento × período.  
NA = sem ajuste do modelo

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Os comportamentos de ruminar em pé, ingerir água e alimentar apresentaram efeito isolado de período e não houve efeito isolado de tratamentos. Estes comportamentos estão relacionados com a temperatura ambiente, ou seja, em períodos mais quentes há uma tendência maior de idas ao bebedouro, e conforme Moallem *et al.* (2010) ocorre redução de ingestão de alimentos. Em situações de estresse as vacas tendem a permanecer por mais tempo em pé, expondo maior superfície corporal para realizar trocas por convecção e evaporação (PILATTI *et al.*, 2019).

Na tabela 10, observamos uma análise de *deviance*, dos comportamentos estudados, observamos apenas interação entre o tratamento e o período para os comportamentos de ruminar em pé e deitado, os mesmos apresentaram interação entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ). Os demais comportamentos não apresentaram

Na análise de *deviance* do tempo de duração dos comportamentos estudados (Tabela 11), observamos apenas efeito de interação entre tratamentos e períodos para os comportamentos de ruminar em pé e deitado. Para os demais comportamentos não foram observadas interações nem efeitos isolados de período ou tratamentos.

**Tabela 11-Análise de deviance da duração (minutos) dos comportamentos de acordo com os tratamentos, períodos do dia e interação entre tratamento vs. período**

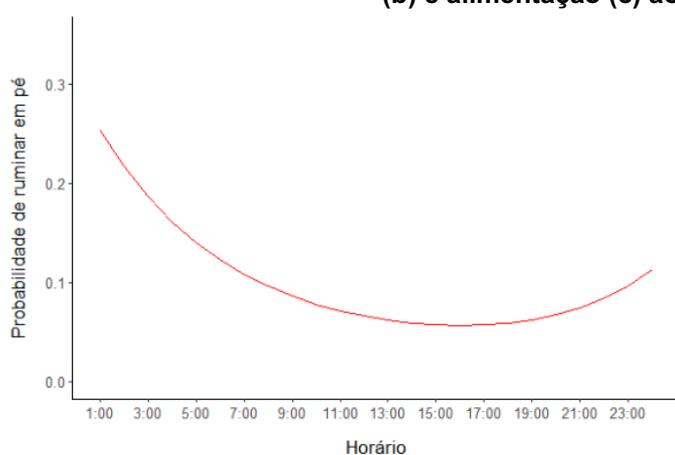
Variáveis	Média ± Erro-padrão	P-valor		
		Tratamento	Período <sup>1</sup>	Tratamento x período <sup>2</sup>
Ruminar em pé	31,0 ± 1,63	< 0,001	0,1800	< 0,001
Ruminar deitado	42,2 ± 0,68	< 0,001	0,3237	< 0,001
Ócio em pé	16,7 ± 0,63	0,5235	0,9367	0,4432
Ócio deitado	16,2 ± 1,37	0,1929	0,3849	0,5754
Ingerir água	2,5 ± 0,25	0,0860	0,6232	0,9734
Alimentando	30,0 ± 1,27	0,0841	0,2323	0,2367

<sup>1</sup>Foi considerado efeito quadrático de período do dia; <sup>2</sup>Interação entre tratamento × período

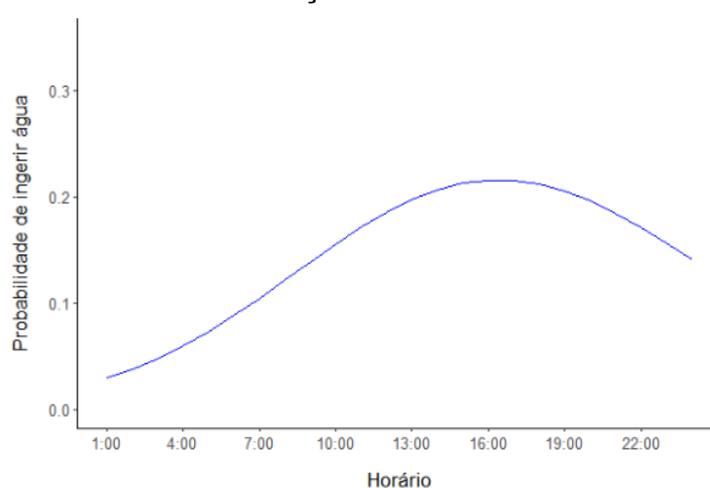
**Fonte: Autoria própria (2020)**

Com relação ao efeito isolado de período dos comportamentos de ruminar em pé, ingerir água e ingerir alimento (Gráfico 13), foi observado que o comportamento de ruminar em pé (Gráfico 13a) apresentou maior probabilidade de ocorrer a partir das 22:00, perdurando até as 6:00. O resultado encontrado foi ao contrário da probabilidade em ruminar em pé encontrado por Pilatti *et al.* (2019) em que os animais apresentaram maior probabilidade de ruminar em pé em horários mais quentes.

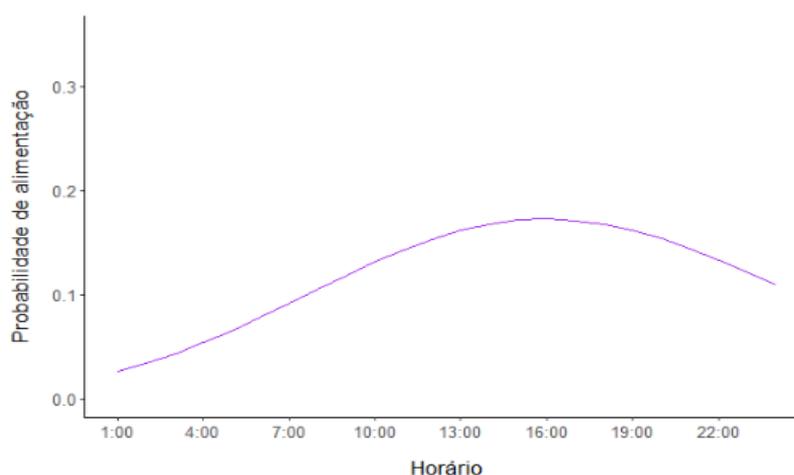
**Gráfico 13-Probabilidade de ocorrência dos comportamentos ruminar em pé (a), ingerir água (b) e alimentação (c) ao longo dos horários de avaliação**



(a)



(b)



(c)

Fonte: A autoria própria (2020)

As vacas quando expostas ao estresse térmico a longos períodos, manifestam frustração comportamental, especialmente quando condicionadas a usar mecanismos termorregulatórios (POLSKI; VON KEYSERLINGK *et al.*, 2017). Explicando esse comportamento atípico em que as vacas passaram a ruminar em pé por mais tempo nos períodos mais frescos (noite) com o intuito de dissipar calor acumulado ao longo do dia (ALLEN *et al.*, 2015). Outro fator que pode ter contribuído com este comportamento atípico é o fato de que, vacas confinadas apresentam maior probabilidade de apresentar estro no período da noite (WANGLER *et al.*, 2005). Este comportamento pode ter influenciado as outras vacas a passarem mais tempo ruminando em pé, devido a perturbação das vacas que apresentavam estro.

Para o comportamento de ingerir água (Gráfico 13b) e alimentar (Gráfico 13c) observamos uma maior probabilidade de ocorrer entre as 10:00 e 22:00, coincidindo com os horários mais quentes do dia e também com o horário de fornecimento dos alimentos entre 7:00 e 19:00, sendo que a maior probabilidade de ingestão de água normalmente ocorria após a alimentação. A ingestão de água foi semelhante aos resultados encontrados por Vieira *et al.* (2021) em que os animais apresentavam maior probabilidade de ocorrer das 7:00 as 20:00.

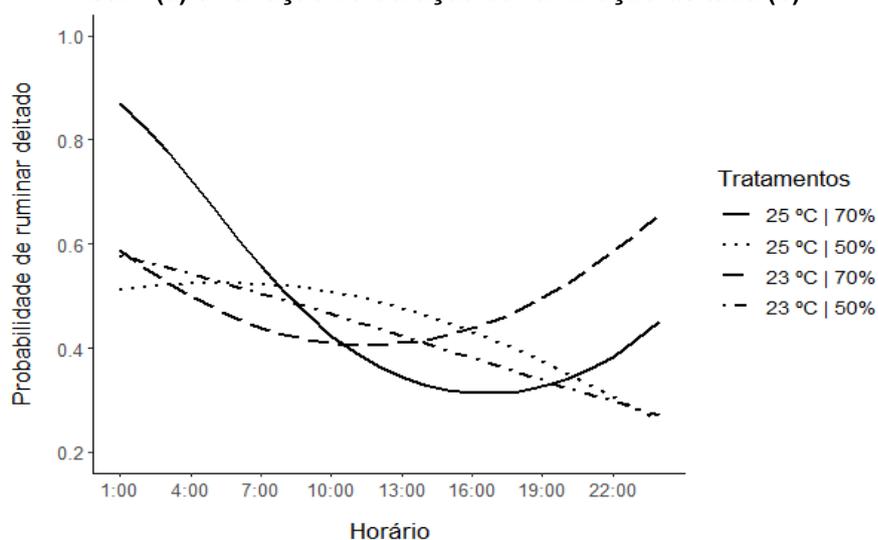
No Gráfico 14 estão descritos a variação da probabilidade de ocorrência de ruminar deitado em sistema *compost barn* (Gráfico 14a) e variação da duração do comportamento de ruminação deitada (Gráfico 14b) em função do tempo. Quanto à probabilidade de ruminar deitado, o tratamento 25 °C/70% se difere do tratamento 25 °C/50% e tratamento 23 °C/50% das 23:00 às 01:00. Às 2:00 o tratamento 25 °C/70% só difere do tratamento 25 °C/50%. Os demais tratamentos não diferem entre

si nestes horários e das 03:00 até 22:00 não houve diferença entre tratamentos. Podemos observar que o tratamento 25 °C/70% ofereceu condições para os animais ruminarem deitados de madrugada em relação aos demais, com 0.6 probabilidade de ocorrência em relação aos demais. Observou-se que o comportamento de ruminar deitado do tratamento 25 °C/70% foi diferente dos demais tratamentos às 16:00. Os tratamentos 25 °C/70 e 23 °C/50% não diferem entre si e o tratamento 25 °C/70% difere-se dos tratamentos 25 °C/50% e 23 °C/50% às 20:00.

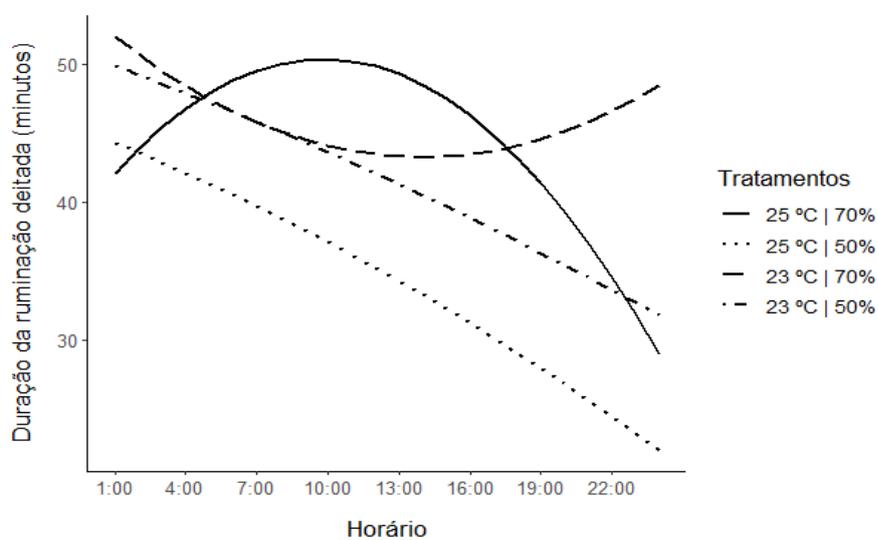
O comportamento de deitar, seja ele em ócio ou ruminando, representa um indicador de bem-estar, e segundo Tucker *et al.* (2021), as vacas passam em média 8 a 13 horas por dia deitadas. O mesmo autor relata que este comportamento pode estar relacionado com estresse térmico ou indicar algum tipo de frustração nos animais, como problemas locomotores. As vacas deitam por 20 a 150 minutos e podem executar esse comportamento entre 5 a 20 vezes por dia (WESTIN *et al.*, 2016) e, neste estudo as vacas passam entre 20 a 60 minutos, por vez que deitavam. O tempo que os animais permanecem deitados é influenciado pelo ciclo de lactação (COOK, 2020), e podem ser motivados por problemas como claudicação (BOUFFARD *et al.*, 2017), o que aumenta o tempo que permanecem deitados.

Quando a temperatura ambiente é mais alta, as vacas tendem a passar menos tempo deitadas, conforme Cook *et al.* (2007) as vacas submetidas a índices de temperatura e umidade (ITU) maiores de 68 tem o tempo de descanso reduzido em até 3 horas. A qualidade da cama também é um fator que está relacionado com o tempo de descanso. Schütz e Cox (2014) em seu estudo comparando o tempo em que as vacas permaneciam deitadas ao longo do dia, compararam este comportamento para diferentes materiais observaram que vacas alojadas em aparas de madeiras (maravalha ou serragem) passam em média 11,2 horas deitadas.

**Gráfico 14 - Variação da probabilidade de ocorrência de ruminar deitado em sistema *compost barn* (a) e variação da duração da ruminação deitada (b)**



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020)

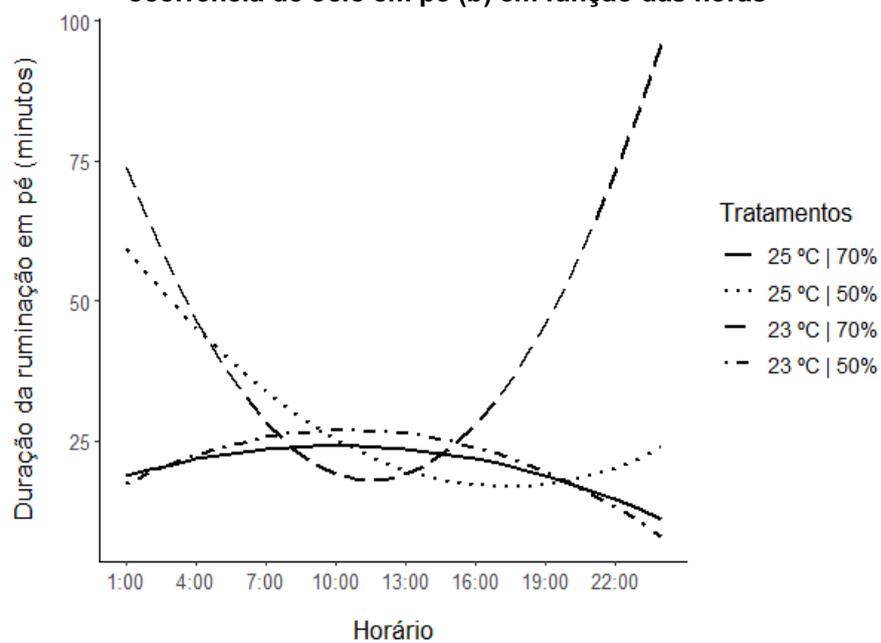
Na avaliação do tempo de duração do comportamento de ruminação em pé (Gráfico 15a), não encontramos diferença entre os tratamentos das 8:00 as 16:00. O tratamento 23 °C/70% se diferencia dos demais às 17:00 apresentando também maior duração de ruminação em pé. Considerando que este tratamento apresentou maior temperatura neste mesmo horário, pode-se inferir que os animais mantiveram-se ruminando em pé em uma situação de estresse calórico (ALLEN *et al.*, 2015). Os tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% não apresentaram diferenças com os demais, enquanto o tratamento 25 °C/70% apresentou menor tempo de ruminação que o tratamento 23 °C/70%.

O tempo de rinação é importante para um bom desempenho digestivo, relacionado com a quantidade de FDN (Fibra em Detergente Neutro) que a dieta oferece (BEAUCHEMIN, 2018). Neste estudo não houve alteração na dieta no decorrer do experimento, portanto essa diferença em tempo de rinação pode estar relacionada com condições ambientais. Em dias mais quentes, as vacas reduzem a ingestão de matéria seca (Moallem *et al.*, 2010) e, portanto, diminuem o tempo de rinação.

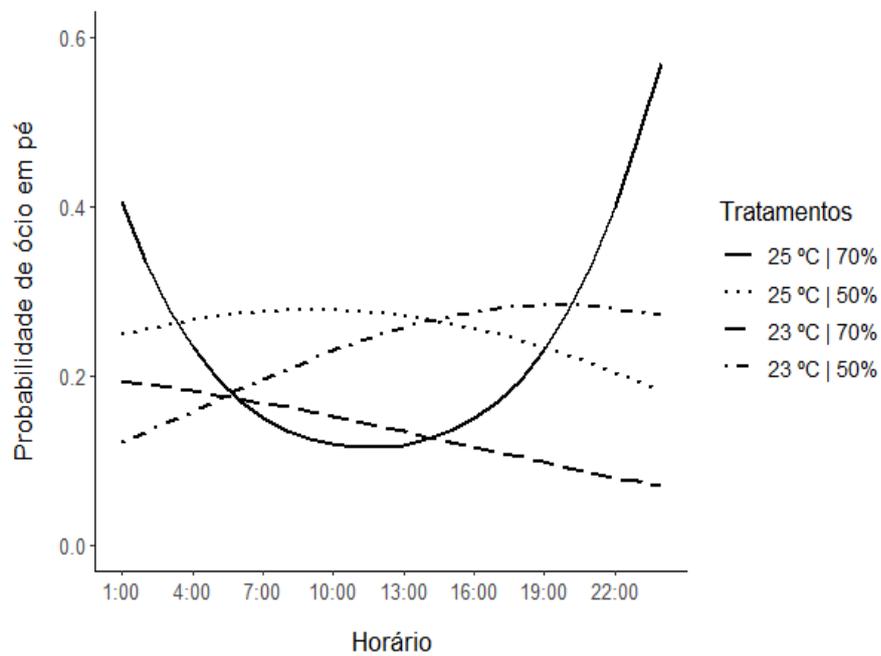
A probabilidade de ocorrer o comportamento de ócio em pé (Gráfico 15b), em que o tratamento 25 °C/70% apresentou menor probabilidade de ocorrer se diferiu do 25 °/50% com maior probabilidade de ocorrer entre 9:00 e 13:00. Após as 15:00 o tratamento 23 °C/70% teve menor probabilidade de as vacas expressarem o comportamento de ócio em pé em relação ao tratamento 23 °C/50%. Observamos que nos horários mais quentes o tratamento 25 °C/70% não teve alta probabilidade de vacas em ócio em pé. O tratamento 25 °C/70% (0,6) apresentou maior probabilidade de ocorrência das 22:00 as 4:00. Os valores encontrados neste estudo apresentam uma faixa de tempo maior que a encontrada por Vieira *et al.* (2021) em que as vacas apresentaram maior probabilidade de ócio em pé (0,18) das 18:00 as 00:00.

Mostrando que o tratamento 25 °C/70% proporcionou melhores condições, mais conforto para as vacas, as quais apresentaram melhores respostas comportamentais relacionadas ao deitar-se em horas mais quentes. Para os outros tratamentos 25 °C/50, 23 °C/70% e 23 °C/50% observamos mais comportamento em pé e mais visitas ao bebedouro, indicativo de estresse térmico.

**Gráfico 15-Variação da duração da ruminação em pé (a) e variação da probabilidade de ocorrência de ócio em pé (b) em função das horas**



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2020)

## 7. TABELA RESUMO

Observamos na tabela 12 um resumo com os principais resultados onde observamos que o tratamento em que observamos valores mais próximo ao recomendado foi no foi o tratamento 25 °C/70%. O pior tratamento foi o 23 °C/70% em que observamos resultados com faixa de perigo aos animais.

**Tabela 12 - Tabela resumo com os principais resultados**

Variáveis	Tratamentos			
	25 °C/50%	25 °C/70%	23 °C/50%	23 °C/70%
Temperatura ar	Amarelo			Vermelho
Umidade do ar	Amarelo			Vermelho
Temperatura corporal média	Vermelho	Amarelo	Verde	Vermelho
Frequência respiratória	Verde	Amarelo	Verde	Vermelho
Índice de Temperatura e umidade (ITU)	Amarelo			Vermelho
Índice de Temperatura do globo negro e umidade (ITGU)	Amarelo		Vermelho	
Carga Térmica Radiante (CTR)	Amarelo	Verde		Vermelho
Temperatura de superfície cama	Vermelho	Verde		Vermelho
Temperatura de profundidade da cama	Amarelo	Verde	Vermelho	Verde
Umidade da cama	Vermelho		Amarelo	Vermelho
Ruminar deitado	Vermelho	Verde	Vermelho	
Ruminar em pé	Vermelho	Verde		Vermelho

Legenda: Verde: recomendado, amarelo: situação de alerta, vermelho: não recomendado

Fonte: Autoria própria (2020)

## 8. CONCLUSÃO

Os programas de ventilação com base na temperatura e umidade testados neste presente estudo influenciaram no ambiente térmico no interior do *compost barn*. O tratamento 25 °C/70% apresentou melhores resultados para carga térmica radiante (CTR), indicador confiável para identificar estresse térmico nos animais confinados.

Para as variáveis da cama o tratamento 25 °C/70% apresentou menores valores de temperatura de superfície e de profundidade da cama, fatores que interferem no tempo em que as vacas passam deitadas ao longo do dia. O tratamento 23 °C/70% teve menor umidade relativa da cama, porém, não se pode afirmar que foi bom, pelo pouco tempo estudado.

Quanto a termorregulação, os animais apresentaram menores valores para temperatura superficial média (temperatura corporal) e menor frequência respiratória, durante o tratamento 25 °C/70%, resultado obtidos em resposta ao menor CTR para este tratamento. O tratamento 23 °C/50% também apresentou respostas de temperatura superficial média e frequência respiratória das vacas dentro do recomendado pela literatura, porém não foi eficiente para melhorar outros parâmetros analisados neste estudo.

Quanto à interferência dos tratamentos no comportamento, observamos que as vacas passaram mais tempo ruminando deitadas nos períodos mais quentes do dia, também ruminaram deitada por mais tempo pela madrugada, horários mais frescos e passaram mais tempo em ócio em pé nos horários mais quentes no tratamento 25 °C/70%, indicando que as condições térmicas foram favoráveis para expressarem comportamentos de bem-estar.

Concluimos que dentre os quatro programas de ventilação estudados o que apresentou melhores respostas para microclima, variáveis da cama, termorregulação e comportamento dos animais foi o tratamento 25 °C/70%. Afirmando a importância de se ter controle da ventilação automático dentro de confinamentos do tipo *compost barn*.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### **Sob o ponto de vista microclimático:**

Tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% apresentaram menor CTR (este é um índice bastante confiável para se atestar conforto térmico dos animais). Nenhum tratamento reduziu a temperatura interna em relação à externa, nos horários mais quentes também não reduziram a umidade relativa.

### **Sob o ponto de vista das variáveis térmicas da cama:**

Tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% apresentaram menor temperatura superficial da cama. O tratamento 25 °C/70% obteve menor temperatura interna da cama sob o ponto de vista da compostagem não é bom, mas é interessante para o comportamento de deitar-se dos animais.

Observamos durante a coleta de dados que pela manhã o sol adentrava no *compost barn* ao lado leste e no período da tarde ao lado oeste, como era verão o sol nascia por volta das 7 horas e em alguns pontos de coleta de temperatura de superfície ficavam expostos ao sol, podendo ter interferido nos valores encontrados. Da mesma forma no período da tarde.

Quanto à umidade da cama, 23 °C/70% manteve-se abaixo do recomendável, embora não diferiu dos demais tratamentos. Não é possível extrair da umidade da cama a qual foi melhor em compostagem, pelo tempo de avaliação do experimento que teve duração de uma semana por tratamento.

Outro fator que pode ter contribuído para os resultados era o horário do revolvimento que era realizado duas vezes ao dia sem uma hora definida, mas ocorria ao término das ordenhas enquanto as vacas se alimentavam. As coletas eram realizadas antes do revolvimento da manhã.

### **Sob o ponto de vista da termorregulação e produção de leite**

Os animais dos tratamentos 25 °C/70% e 23 °C/50% apresentaram menores valores de temperatura superficial média corporal e frequência respiratória, isto é resposta ao menor CTR. Consideramos que durante o tratamento a coleta de dados para os dois tratamentos tivemos precipitações o que podem ter contribuído para os valores encontrados.

O pior tratamento, com maiores valores gerais de temperatura superficial média corporal e frequência respiratória foi o tratamento 23 °C/70%, em que tivemos dias com umidade do ar baixa.

Para produção de leite, observamos que as ordenhas nem sempre era realizada com o mesmo intervalo de tempo, podendo ter contribuído com os resultados encontrados.

### **Sob o ponto de vista do comportamento**

Tratamento 25 °C/70% animais na maior parte do tempo ruminando deitados durante os períodos mais quentes. Maior probabilidade de ruminar deitado de madrugada. Menor probabilidade de ócio em pé nos horários mais quentes.

Tratamento 23 °C/70%: animais mais tempo em pé após às 17 horas. Talvez devido ao estresse, se mantiveram em pé para melhor troca térmica usando a ventilação. Também ligação com alta TS e ambiente com elevada temperatura nas horas mais quentes. Menor probabilidade de ócio em pé após às 15 horas.

Com relação aos comportamentos de alimentar e ingerir água notamos uma maior frequência de visitas na pista de alimentação durante o fornecimento dos alimentos que eram fornecidos pela manhã por volta das 7 horas, a tarde as 13 horas e no final da tarde as 18 horas.

Quanto a maior probabilidade de ruminar em pé a noite, este comportamento pode ter sido influenciado pelas vacas que apresentaram estro no período da noite, sendo observado durante as filmagens. Contribuindo para que as vacas passem mais tempo ruminando em pé, devido a perturbação das vacas que apresentavam estro.

## REFERÊNCIAS

- AARIF, O.; MAHAPATRA, P. S. The effect of cold stress on biochemical and hematological parameters in broad breasted white turkeys. **Wyno Journal of Biological Sciences**. v.1, n.4, p.20-23, ISSN.2315-9170.2013.
- AHN, G. C.; JANG, S. S.; LEE, K.Y.; BAEK, Y. C.; OH, Y.K.; PARK, K.K. Characteristics of sawdust, wood shavings and the mix of sawdust and wood shavings by pine species, and their usefulness as bedding material for Hanwoo cattle Asiático-Australas. **Journal of Dairy Science**.v.33, pp.856-865 ISSN. 3205-4214.2020.
- ALLEN, J. D., L. W. HALL, R. J. COLLIER, AND J. F. SMITH. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. **Journal of Dairy Science**. V.98, p.118–127. 2015.
- ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRIL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12. 2010.
- ALMEIDA, M.C.; VIZIN, R.C.L; BÍCEGO, K.C. in: BÍCEGO, K. C.; GARGAGLIONI, L. H. **Fisiologia térmica de vertebrados**. São Paulo: Cultura acadêmica, p.89-117. 2020.
- ALVARES, C. A; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, J. L. D. G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 22, p. 711–728, 2013.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **AOAC**: Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. Maryland: AOAC International.1998.
- AZEVÊDO, D. M. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina, PI: EMBRAPA MEIO-NORTE. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 188). 83 p.2009.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. ed.2. Viçosa-MG. Editora da Universidade Federal de Viçosa. 2010.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 246 p.1997.
- BAUMGARD, L.H., AND RHOADS, R.P. JR. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. **Annual Review of Animal Biosciences** v.1 p.311–337. 2013.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Compost dairy barns in Minnesota: A descriptive study. **Animal Science Bioproducts and Biosystems Engineering**, v. 23, n. 2, p. 231–238. 2007.

BATISTA, J. N.; BORGES, L. D.; LIMA, L. A.; DE SOUZA, B. B.; DA SILVA, E. M. N. Termorregulação em ruminantes. **Agropecuária científica no semiárido**, v.11, n.2, p.39-46. 2015.

BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v.67(1), p.1-48. 2015.

BAVERA, G. A. **Aguas y aguadas para el ganado**. 4. ed. Rio Cuarto: Imbert – Bavera. 2011.

BEAUCHEMIN, K.A. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.101, ISS 6, p. 4762-4784. 2018.

BEEDE D.K.; COLLIER R.J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. **Journal of Dairy Scienc**.v.62 p.543-554. 1986.

BECKER, C.A.; AGHALARI, A.; MARUFUZZAMAN, M.; STONE, A. E; Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques **Journal of Dairy Science**.v.104, ISS.1, p.501-524. 2021.

BERCKMANS, D.; GUARINO, M.; Precision livestock farming for the global livestock sector. **Animal Frontiers**. v.7(1), p.4-5. 2016.

BERGMAN, T. L., INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P., LAVINE, A. S. **Fundamentals of heat and mass transfer**. v.7. ed. Editor: Wiley, 2011.

BERNABUCCI, U.; BIFFANI, S.; BUGGIOTTI, L.; VITALI, A.; LACETERA, N.; NARDONE, A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v. 97, n. 1, p. 471-486. 2014.

BEWLEY, JM, TARABA, JL, MCFARLAND, D., GARRETT, P., GRAVES, R., HOLMES, B. & WRIGHT, P. Guidelines for Managing Compost Bedded-Pack Barns. **The Dairy Practices Council, Ritchboro**. PA.2013.

BEWLEY, J.M.; ROBERTSON, L.M.; ECKELKAMP, E.A.: A 100-year review:Lactating dairy cattle housing management. **Journal of Dairy Science**. v.100. p.10418-10431.2017.

BOUFFARD, V.; PASSILLÉ, A.M. DE; RUSHEN, J.; NASH, C.G.R.; HALEY, D.B.; PELLERIN, D. Effect of following recommendations for tiestall configuration on neck and leg lesions, lameness, cleanliness, and lying time in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.100, ISS.4, p.2935-2943. 2017.

BOUNFFARD, V.; DE PASSILLÉ, A.M.; RUSHEN, J.; NASH, C.G.R.; HALEY, D.B.; PELLERIN, D.; Effect of following recommendations for tiestall configuration on neck and leg lesions, lameness, cleanliness, and lying time in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 100, ISS.4, p.2935-2943. 2017.

BLACK, R.A.; TARABA, J.L.; DAY, G.B.; DAMASCENO, F.A.; BEWLEY, J.M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction **Journal of Dairy Science**. v.96, p.8060-8074. 2013.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; NEWMAN, M. C.; AKERS, K. A.; WOOD, C. L.; McQUERRY, K. J.; BEWLEY, J. M. The relationship between composts bedded pack performance, management, and bacterial counts. **J Journal of Dairy Science**. v. 7, n.1, p. 2013-6779. 2014.

BROOM, D. M. I.; FRASER, A. F. **Domestic Animal Behaviour and Welfare**. ed.5 Wallingford: CAB. 472 p. 2015.

BROOM, D. M. I.; MOLENTO, C. F. M. Animal welfare: concept and related issues. Review. **Archives of Veterinary Science**, v.9, n.2, p.1-11. 2004.

BUFFINGTON D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globehumidity index (BGHI) comfort equation dairy cows. **Transaction of the ASAE**. St Joseph. v.24, n.3, p.111-114. 1981.

CAI-YUN, F.; DI, S.; HE, T.; RUI-TING, H.; LEI, R.; YING, Y.; YAN-JING, S.; JIAN-BO, C. Milk production and composition and metabolic alterations in the mammary gland of heat-stressed lactating dairy cows. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n.12, p.2844–2853. 2019.

CASTELLINI, M. **Thermoregulation**. **Encyclopedia of marine mammals**. Editora: Academic press. p.1166-1171. 2009.

CHARLTON, G.L.; RUTTER, S.M.; The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review: **Applied Animal Behaviour Science**.v.192, p.2-9. 2017.

CHARLTON, G. L.; RUTTER, S. M.; EAST, M.; SINCLAIR, L. A. Preference of dairy cows: Indoor cubicle housing with access to a total mixed ration vs. access to pasture. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 130, n.1–2, p.1–9, 2011.

COIMBRA, P. A. D.; MACHADO FILHO, L. C. P.; HÖTZEL, M. J. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. **Applied Animal Behaviour Science**, v.139, n.3-4, p.175-182. 2012.

COLLIER, R.J.; DAH, G.E.; VAN BAALE, M.J.; Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle, **Journal of Dairy Science**. v. 89. ISS.4, p.1244-1253. 2006.

COLLIER, R. J.; HALL, L. W.; ORTIZ, X. A. **Facility modifications to reduce heat stress**. Florida: USDA, 2013.

COLLIER, R.J.; COLLIER, J.L.; RHOADS, R.P., BAUMGARD, L.H. Invited Review: Genes Involved in the Bovine Heat Stress Response. **Journal of Dairy Science**. V.91, ISS.2, p.445-54. 2008.

COOK, N. B.; BENNETT, T. B.; NORDLUND, K. V. Monitoring Indices of Cow Comfort in Free-Stall-Housed Dairy Herds. **Journal of Dairy Science**, v.88, ISS.1, p.3876-3885. 2005.

COOK, N.B.; A toolbox for assessing cow, udder and teat hygiene Proc. 46th Annu. Mtg. Natl. Mastitis Council. San Antonio, TX, **National Mastitis Council**, Madison, WI, pp. 31-43. 2007.

COOK, N.B. Symposium review: The impact of management and facilities on cow culling rates. **Journal of Dairy Science**. v.103, ISS.4, p.3846-3855. 2020.

DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model**. PhD Diss. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 391p. 2012.

DAMASCENO, F. A.; BRANDÃO, A. in. DAMASCENO, F.A. **Compost barn como uma alternativa para a pecuária leiteira**. Divinópolis: Adelante, 2020.

DANELUZ, L.F; **Manejo da ventilação em compost barn: implicação na ambiência e comportamento de vacas leiteiras**. Dois Vizinhos. 111p. 2020.

DAS, R.; SAILO, L.; VERMA, N.; BHARTI, P.; SAIKIA, J.; IMTIWATI; KUMAR, R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. **Veterinary World**, v.9, n.3, p.260–268. 2016.

DEVRIES, T.J.; DUFOUR, S.; SCHOLL, D.T.; Relationship between feeding strategy, lying behavior patterns, and incidence of ontrmammary infection in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 93, ISS. 5, p.1987-1997. 2010.

DIRKSEN, N.; GYGAX, L.; TRAUlsen, I.; WECHSLER, B.; BURLA, J.-B: Body size in relation to cibicle dimensions affects lying behavior and joint lesions in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 103, ISS. 10, p.9407-9417. 2020.

DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, v.92, n.1, p.109-116. 2009.

EART, Goggle, disponível em: <https://google-earth.gosur.com/>. Acessado em 20/01/2021.

ECKELKAMP, E.A.; TARABA, J.L.; AKERS, K.A.; HARMON, R.J.; BEWLEY, J.M. Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors, bedding characteristics, and udder health. **Livestock Science**. v.190, p. 35-42. 2016.

ENDRES, M. I. Compost Bedded Pack Barns – Can They Work For You? WCDS **Advances in Dairy Technology**, v.21, p.271–279. 2009.

ENDRES, M. I.; BARBERG, A. E. Behavior of Dairy Cows in an Alternative Bedded-Pack Housing System. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.9, p.4192–4200. 2007.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport. AVI. 358.p. 1978.

FÁVERO, S.; PORTILHO, F.V.R.; OLIVEIRA, A.C.R.; LANGONI, H.; PANTOJA, J.C.F. Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. **Livestock Science.**, 181, pp. 220-230. 2015.

FERREIRA, L. C. B. **Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra.** Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 89p 2010.

FERREIRA, R. A.; DAMASCENO, F. A.; in. DAMASCENO, F.A. **Compost barn como uma alternativa para a pecuária leiteira.** Divinópolis: Adelante, 2020.

FULWIDER, W.K.; GRANDIN, T.; GARRICK, D.J.; ENGLE, T.E.; LAMM, W.D.; DALSTED, N.L.; ROLLIN, B.E. Influence of Free-Stall Base on Tarsal Joint Lesions and Hygiene in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science.** v.90, ISS.7, p.3559-3566. 2007.

GALAMA, P.J. **On farm development of bedded pack dairy barns in the Netherlands.** Report 707, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, the Netherlands. 2014.

GANAI, A. H.; GHASURA, R. S.; MIR, N. A.; BUMLA, N. A.; SANKAR, G., WANI, S. A. Biochemical and Physiological Changes during Thermal Stress in Bovines. Iranian **Journal of Applied Animal Science**, v.3, n.3, p.423-430. 2013.

GAULY, M.; AMMER, S. Review: Challenges for dairy cow production systems arising from climate changes. **Animal.** v.14, s.1, p.196-s203. 2020.

GARCÍA-ISPIERTO, I.; LÓPEZ-GATIUS, F.; BECH-SABAT, G.; SANTOLARIA, P.; YÁNIZ, J. L.; NOGAREDA, C.; DE RENSIS, F.; LÓPEZ-BÉJAR, M. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. **Theriogenology.** v. 67, n. 8, p.1379–1385, 2007.

GERNAND, G.; KÖNIG, S.; KIPP, C; Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health **Journal of Animal Science.** v.102, ISS. 7, p.6660-6671. 2019.

GIARETTA, E.; MARLIANI, G.; POSTIGLIONE, G.; MAGAZZÙ, G.; PANTÒ, F.; MARI, G.; FORMIGONI, A.; ACCORSI, P.A.; MORDENTI, A. Calving time identified by the automatic detection of tail movements and rumination time, and observation of cow behavioural changes. **Animal**, v.15, ISS.1, p.100071. 2021.

HAHN, G. Dynamic Responses of Cattle to Thermal Heat Loads. **Journal of Animal Science**, v.77, p.10–20, 1999.

HALEY, D.B.; PASSILLÉ, A.M. DE; RUSHEN, J. Assessing cow comfort: Effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows. **Appl. Anim. Behav. Sci.**, v.71, p.105-117. 2001.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v.83, p.349–360. 2004.

HANSEN, P.J.; FUQUAY, J. W.; Stress in Dairy Animals Heat Stress: Effects on Reproduction. **Reference Module in Food Science**. 2020.

HERBUT, P.; ANGRECKA, S. The effect of heat stress on time spent lying by cows in a housing system. **Annals of Animal Science**, v.18, n.3, p.825–833. 2018.

HENDRIKS, S.J.; PHYN, C.V.C.; TURNER, S.-A.; MUELLER, K.M.; KUHN-SHERLOCK, B. DONAGHY, D.J.; HUZZEY, J.M.; ROCHE, J.R.; Lying behavior and activity during the transition period of clinically healthy grazing dairy cows: **Journal of Dairy Science**. v. 102, ISS.8, p.7371-7384. 2019.

HENRIKSEN, J.C.S.; WEISBJERG, M.R.; LOVENDAHL, P.; KRISTENSEN, T.; MUNKSGAARD, L.: Effects of an individual cow concentrate strategy on production and behavior. **Journal of Dairy Science**. v.102, ISS.3, p.2155-2172. 2019.

HUYGHE, C.; VAN DEN POL-VAN A.; DASSELAAR, KRAUSE; A. Evaluating the current conditions and challenges of livestock grazing in France and Europe **Fourrages Versailles**, v.229, p.1-10. 2017.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**; [https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultado\\_agro/pecuaria.html?localidade=0&tema=75654](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultado_agro/pecuaria.html?localidade=0&tema=75654). 2017. Acessado em 20/04/2019.

INTELBRAS, 2021, disponível em [www.intelbras.com.br](http://www.intelbras.com.br) acessado em 20/01/2021

IPEMA, H. Praktijkervaringen met geprogrammeerde krachtvoerverstrekking **Publikaties van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen Wageningen**, Holanda. 1990.

JANNI, K. A.; ENDRES, M. I.; RENEAU, J. K.; SCHOPER, W. W. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, n.1, p.97-102. 2007.

KADZERE, C.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N. MATTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock production Science**, v.77, n.1, p.59-91. 2002.

KLAAS, I.C.; BJERG, B.S.; FRIEDMANN, S.; BAR, D. Cultivated barns for dairy cows: An option to promote cattle welfare and environmental protection in Denmark? **Dansk Vetidsskr.** v.93, p.20-29. 2010.

KAUFMAN, J.D.; BAILEY, R.H.; KENNEDY, A.K.; LÖFFLER, E.F.; RIUS, A.G.: Cooling and dietary crude protein affected milk production in heat-stressed dairy cows, **Livestock Science**, v.240. ISS. 104111. 2020.

KEYSERLINGK, M.A.G.V.; BARRIENTOS, A.; ITO, K.; GALO, E.; WEARY, D.M. Benchmarking cow comfort on North American freestall dairies: Lameness, leg injuries, lying time, facility design, and management for high-producing Holstein dairy cows. **Journal of Dairy Scienc.** v.95, p.7399-7408. 2012.

KISMUL, H.; SPÖRNDLY, E.; HÖGLIND, M.; ERIKSSON, T.; Nighttime pasture access: Comparing the effect of production pasture and exercise paddock on milk

production and cow behavior in an automatic milking system. **Journal of Dairy Science**. V.102, ISS.11, p.10423-10438. 2019.

KOVÁCS, J.; TÓZSÉR, F.L.; KÉZÉR, F.; RUFF, M.; AUBIN-WODALA E.; ALBERT, A.; CHOUKEIR, Z.; SZELÉNYI, O.; SZENCI: Heart rate and heart rate variability in multiparous dairy cows with unassisted calvings in the periparturient period. **Physiol. Behav.** v.139, p. 281-289. 2015.

KULL, J. A.; PROUDFOOT, K.L.; PIGHETTI, G.M.; BEWLEY, J.M.; O'HARA, B.F.; DONOHUE, K.D.; KRAWCZEL, P.D.; Effects of acute lying and sleep deprivation on the behavior of lactating dairy cowso. **Plos One**. v.14 (8), p.0212823. 2019.

LESO, L.; BARBARI, M.; LOPES, M.A.; GALAMA, P.; TARABA, J.L.; KUIPERS, A.; Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.103, ISS.2, p.1072-1099. 2020.

LENTH, L. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. **R package version**. v.1. e.5. p. 2-1. 2020.

LI, H.; RONG, L.; ZHANG, G. Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. **Computers and electronics in agriculture**, v. 123, p. 203–210, 2016.

LEVIT, H.; PINTOC, A.; AMON DE, T.; GERSHONE; KLEIN; JAN-ELAZARY BEV.BLOCHAY; BEN MEIRBE, A.; PORTNIK, Y.; JACOBYB, S.; ARNINF, A.; MIRONE, J.; HALACHMI, I. Dynamic cooling strategy based on individual animal response mitigated heat stress in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.15, ISS.2, p.100093. 2021.

MACDONALD, P. **Tweaking composting bedding** disponível em: <https://www.manuremanager.com/tweaking-composting-bedding-1428/> acessado em 20/05/2021.

MADER, T.L.; DAVIS, M.S.; BROWN-BRANDL, T., Environmental factors influencing heat stress in confined cattle **Journal of Dairy Science**. v.84, p.712-719. 2006.

MAGRIN, L.; BRSCIC, M.; LORA, I.; RUMO, C.; TONDELLO L.; COZZI, G.; GOTTARDO, F.; Effect of a ceiling fan ventilation system on finishing young bulls' health, behaviour and growth performance. **Journal of Dairy Science**. v.11, ISS.6, p.1084-1092. 2017.

MARTELLO, L.S.; SAVASTANO, J.H.; SILVA, S.L.; BALIEIRO, J.C.C. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. **International Journal Biometeorology**. v.54, n. 6, p.647–652. 2010.

MOALLEM, U.; ALTMARK, G.; LEHRER, H.; ARIELI, A. Performance of high-yielding dairy cows supplemented with fat or concentrate under hot and humid climates. **Journal of Dairy Science**. V.93, p.3192-3202. 2010.

MONDACA, M.; CHOI, C. Y. An Evaluation of Simplifying Assumptions in Dairy Cow Computational fluid Dynamics Models. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v. 59, n. 6, p. 1575-1584. 2016.

MORTOLA, J.P; PRADO, C.P.A. in: BÍCEGO, K. C.; GARGAGLIONI, L. H. **Fisiologia térmica de vertebrados**. São Paulo: Cultura acadêmica, p.226-252 2020.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A.: Generalized linear models. **Chapman and Hall London** – New York, 261p. 1983.

MAYO, L.M.; SILVIA, J.W.; RAY, D.L.; CLARK, J.D.; BEWLEY, J.M.; HEERSCHER JR. G.; Automated estrous detections using multiple commercial precision dairy monitoring Technologies in synchronized dairy cows. **Journal of Dairy Science**., v.102, INSS. 3. P.2645-2656. 2019.

MASELYNE, J.; PASTELL, M.; THOMSEN, P.T.; THORUP, V.M.; HÄNNINEN, L.; VANGEYTE, J.; VAN NUFFEL, A.; Munksgaard, L.; Daily lying time, motion index and step frequency in dairy cows change throughout lactation. **Research in Veterinary Science**. v.110, p. 1-32815-9229. 2019.

MENSCHING, A.; BÜNEMANN, K.; MEYER, U.; SCHMITT, A.O.; SHARIFI, A.R.; DÄNICKE: Modeling reticular and ventral ruminal pH of lactating dairy cows using ingestion and rumination behavior. **Journal of Dairy Science**. v.103, ISS.8, p.7260-7275. 2020.

MUNKSGAARD, L.; JENSEN, M.B.; PEDERSEN, L.J.; HANSEN, S.W.; MATTHEWS, L. Quantifying behavioural priorities-Effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. **Appl. Anim. Behav. Sci.** v.92, p.3-14. 2005.

MUNKSGAARD, L.; WEISBJERG, M.R.; HERIKSEN, J.C.S.; LOVENDAHL, P.: Changes to steps, lying, and eating behavior during lactation in Jersey and Holstein cows and the relationship to intake, yield, and weight. **Journal of Dairy Science**. v.103, ISS.5, p.4643-4653. 2020.

NÄÄS, I. D. A.; ARCARO, I. J. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, 2001.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M.S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**. V.130, ISS.1–3, p.57-69. 2010.

NARONGSAK, C., Milk Production - An Up-to-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health. **Heat Stress Management for Milk Production in Arid Zones**. 2012.

NEAVE, H.W.; LOMB, J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; BEHNAM-SHABAHANG, A.; WEARY, D.M.; Parity differences in the behavior of transition dairy cows. **Journal of Dairy Science**., v.100, p. 548-561. 2017.

NEETHIRAJAN, S.; KEMP, B.; Digital livestock farming. **Sensing and Bio-Sensing Research**. v.32, p.100408. 2021.

NEGRÓN-PÉREZ, V.M.; FAUSNACHT, D.W.; RHOADS, M.L. Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v.102, ed.12, p.10695-10710. 2019.

NORDLUND, K.V.; STRASSBURG, P.; BENNETT, T.B.; OETZEL, G.R.; COOK, N.M.; Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. **Journal of Dairy Science**. v.102, INS.7, p.6495-6507. 2019.

NORTON, T.; CHEN, C.; LARSEN, M.L.V.; BERCKMANS, D.; Review: Precision livestock farming: building 'digital representations' to bring the animals closer to the farmer. **Animal**. v.13, ISS.12, p.3009-3017. 2019.

NORRING, M.; MANNINEN, E.; DE PASSILLÉ, A. M.; RUSHEN, J.; SALONIEMI, H. Preferences of dairy cows for three stall surface materials with small amounts of bedding. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.1, p.70–74. 2010.

OLIVEIRA, V.C.; DAMASCENO, F.A.; OLIVEIRA, C.E.A.; FERRAZ, P.F.P.; FERRAZ, G.A.S.; SARAZ, J.A.O. Compost-bedded pack barns in the state of Minas Gerais: architectural and technological characterization. **Agronomy Research**, v.17, n. 5 p.2016-2028. 2019.

OLIVEIRA, E. R.; MONÇÃO, F. P.; GABRIEL, A. M. de A.; DE GÓES, R. H. de T. B.; LEMPP, B.; MOURA, L. V. Ruminal degradability of neutral detergent fiber of *Cynodon* spp. grasses at four regrowth ages. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 36, n. 2, 2014.

ORTIZ, X.A.; SMITH, J.F.; BRADFORD, B.J.; HARNER, J.P.; ODDY A.; Effects of Korral Kool running time on core body temperature of dairy cows in a desert environment. **Journal of Dairy Science**. V.92, p.2356-2357. 2009.

PAUDYAL, S.; MELENDEZ, P.; MANRIQUEZ, D.; VALASQUEZ-MUNOZ, A.; PENA, G.; ROMAN-MUNIZ, I.N.; PINEDO, P.J.; Use of milk electrical conductivity for the differentiation of mastitis causing pathogens in Holstein cows. **Animal**. v.14, INSS.3, p.588-596. 2020.

PALO, P.; TATEO, A.; ZEZZA, F.; CORRENTE, M.; CENTODUCATI, P. Influence of Free-Stall Flooring on Comfort and Hygiene of Dairy Cows During Warm Climatic Conditions. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.12, p.4583-4595. 2006.

PARK, C. S.; LINDBERG, G.; DUKES, L. **Fisiologia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koog. p. 607-690. 2006.

PEREYRA, A. V. G.; MAY, V. M.; CATRACCHIA, C. G.; HERRERO, M. A.; FLORES, M. C. MAZZINI, M. Influence of water temperature and heat stress on drinking water intake in dairy cows. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.70, n.2, p.328-336. 2010.

PEREIRA, M. H. C.; SANCHES, C. P.; GUIDA, T. G.; RODRIGUES, A. D. P.; ARAGON, F. L.; VERAS, M. B.; BORGES, P. T.; WILTBANK, M. C.; VASCONCELOS, J. L. M. Timing of prostaglandin F<sub>2</sub> $\alpha$  treatment in an estrogen-based protocol for timed artificial insemination or timed embryo transfer in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.5, p.2837-2846. 2013.

PERISSINOTTO, M.; DA CRUZ, V. F.; PEREIRA, A.; DE MOURA, D. J. Influência das condições ambientais na produção de leite da vacaria da Mitra Effect of environment conditions on milk production in Mitra cow. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, n.1. 2004.

PILATTI, J.A.; **O comportamento diurno e bem-estar de vacas em sistema *compost barn***. Dois Vizinhos. 151p.2017.

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 3, p. 97-105. 2017.

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v. 13, n. 2, p. 399–406. 2019

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; SANTOS, L.F.; VISMARA, E; HERBUT, P. Behavior, hygiene, and leishmaniasis of dairy cows a *compost barn* during cold season in a subtropical climate. **Animals of Science**. ISSN: 2300-8733. 2021.

PINHEIRO, C.; SARAIVA, E. P.; SARAIVA, C. A. S.; FONZECA, V. de F. C.; ALMEIDA, M. E. V.; DOS SANTOS, S. G. G. C.; DE AMORIM, M. L. C. M.; **Zchtungskunde** ,v.77, p.110-127. 2005.

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**. V.100, p.8645–8657. 2017.

PREEZ, J.D.; GIESECKE, W.H.; HATTINGH, P.J., EISENBERG, B.E. Heat stress in dairy cattle under Southern African conditions. II. Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observed true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort J Vet**. v.57(3) p.183–187. 1990.

RADAVELLI, W. M.; BOITO, J. P.; GUGEL, J.; ABATTI, G.; ROSCAMP, E.; SCHOGOR, A. L. B. Características da Cama de *Compost Barns* em Regiões Subtropicais. **Anais Simpósio do Leite**, v.4. 2017.

RADAVELLI, W. M.; DANIELI, B.; ZOTTI, M. L. A. N.; GOMES, F. J.; ENDRES, M. I.; SCHOGOR, A. L. B. *Compost barns* in Brazilian Subtropical region (Part 1): facility, barn management and herd characteristics. **Research, Society and Development, [S. I.]**, v. 9, n. 8, p. e445985198, 2020.

RAMALHOSA, M. J.; PAÍGA, P.; MORAIS, S.; ALVES, M. R.; DELERUE-MATOS, C.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Lipid content of frozen fish: Comparison of different extraction methods and variability during freezing storage. **Food Chemistry**, v.131, n.1, p.328–336. 2012.

RENSIS, A. F.; SCARAMUZZI, R. J. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. **Theriogenology**, v.60, p.1139–115. 2017.

RICHARD, T.; TRAUTMANN, N.; KRASNY, M.; FREDENBURG, S.; STUART, C. The Science and engineering of composting. **The Cornell composting website, Cornell University**. 2002.

ROSSING, W.; IPEMA, A.H.; VELTMAN, V.F. Perspectieven voor het melken in een voerbox. **Publikaties van het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen Wageningen, Holanda**. 1985.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2020.

SAULS, J.A.; VOELZ, B.E.; HILL, S.L.; MENDONÇA, L.G.D.; STEVENSON, J.S.; Increasing estrus expression. In the lactating dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v.100, INSS.1, p.807-820. 2017.

SAMMARTINHO, A. El galpón de compost—Lá Terceira via. **Revista Infortmbo**. p. 52-60. 2015.

SANTOS, P. M.; VOLTOLINI, T. V.; CAVALCANTE, A. C. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; BETTIOL, G. M.; CRUZ, P. G. Mudanças Climáticas Globais e a Pecuária: Cenários Futuros para o Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1176-1196. 2011.

SILANO, C. SANTOS, M.V. Você sabe o que é *compost Barn*? **Revista Leitei Integral**. N.43, p.40-43. 2012.

SILVA, RG. **Introdução a bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel; 286p. 2000.

SILVA, E. M. N.; DE SOUZA, B. B.; DE SOUSA, O. B.; SILVA, G. de A.; DE FREITAS, M. M. S. Avaliação da adaptabilidade de caprinos ao semiárido através de parâmetros fisiológicos e estruturas do tegumento. **Revista Caatinga**, v.23, n.2, p.142-148, 2010.

SIMÕES, A. R. P.; DA SILVA, R. M.; DE OLIVEIRA, M. V. M.; CRISTALDO, R. O. Avaliação econômica de três diferentes sistemas de produção de leite na região do Alto Pantanal Sul-mato-grossense. **Agrarian**, v.2, n.1, p.153–167. 2009.

SHOPER, W. Composted bedded pack barn salves cow comfort woes. **Dairy Star**, v.6, n.16, p.9. 2004.

SCHUTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; COX, N. R.; TUCKER, C. B. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: Shade use, behaviour and body temperature. **Applied Animal Behaviour Science**, v.116, n.1, p.28-34. 2009.

SMITH, D.; SMITH, T.; RUDE B.; WARD, S. Short communication: comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. **Journal of Dairy Science**. v.96, p. 3028–3033. 2013.

SOARES, A.A.; **Variabilidade especial do microclima em Sistema *compost barn*: influência na qualidade da cama, termorregulação e comportamento de vacas leiteiras.** Dois Vizinhos. 83p. 2018.

SHANE, E.M.; ENDRES, M.I.; JANNI, K.A., Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: A descriptive study *Appl. Eng. Agric.*, v.26, p.465-473. 2010.

SHEN, W.; CHENGA, F.; ZHANG, Y.; WEI, X.; FU, Q.; ZHANG, Y. Automatic recognition of ingestive-related behaviors of dairy cows based on triaxial acceleration. *Information Processing in Agriculture*. v.7, ISS.3, p.427-443. 2020.

SHEPLEY, E.; OBINU, G.; BRUNEAU, T.; VASSEUR, E.: Housing tiestal dairy cows in deep-bedded pens during na 8-week dry period: Effects on lying time, lying postures, and rising and lying-down behaviors. *Journal of Dairy Science*. v.102, ISS.7, p.6508-6517. 2019.

SCHÜTZ, K.E.; COX, N.R. Effects of short-term repeated exposure to different flooring surfaces on the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.97, ISS.5, p.2753-2762. 2014.

SKUCE, P.J.; MORGAN, E.R.; VAN DIJK, J.; MITCHELL, M. Animal health aspects of adaptation to climate change: Beating the heat and parasites in a warming. *Europe Animal*. v.7 (2), p.333-345. 2013.

SUTHERLAND, M. A.; STEWART, M.; SCHÜTZ, K. E. Effects of two substrate types on the behaviour, cleanliness and thermoregulation of dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, v.147, n.1–2, p.19–27. 2013.

SPÖRNDLY, E.; KARLSSON, M.; Production and cow-traffic management during the pasture season in large herds with automatic milking *Grassl. Sci. Eur.* V.20, p.131-133. 2015.

TAO, S.; ORELLANA, R. M.; WENG, X.; MARINS, T. M.; DAHL, G. E.; BERNARD, J. K. Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *Journal of Dairy Science*, v.101, n.6, p.5642 5654. 2018.

TUCKER, C.B; JENSEN, M. B.; PASSILLÉ, A. M. DE; HÄNNINEN, L.; RUSHEN, J. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. v.104, p.20–46. 2021.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR., B. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Arch. Zootec.* V.58, p. 59-85. 2009.

VASSEUR, E. Animal Behavior And Well-Being Symposium: Optimizing Outcome Measures Of Welfare In Dairy Cattle Assessment. *Journal of Dairy Science*. v.95, p. 1365-1371. 2017.

VIEIRA, F.M.C.; SOARES, A.A.; HERBUT, P.; VISMARA, E.D.S.; GODYŃ, D.; DOS SANTOS, A.C.Z.; LAMBERTES, T.D.S.; CAETANO, W.F. Spatio-Thermal

Variability and Behaviour as Bio-Thermal Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a *Compost Barn*: A Case Study. **Animals**. V.11, p.1197. 2021.

VOGELAUER, R. Relatório de teste do medidor de leite combinado e indicador de fluxo de leite "Waikato" **Milchwiss.Berichte**. v. 25, p.293–294. 1970.

WEST, J. W. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.6, p.2131–2144. 2003.

WANGLER, A.; MEYER, A.; REHBOCK, F.; SANFTLEBEN, P. Wie effizient ist die Aktivitätsmessung als ein Hilfsmittel in der Brunsterkennung bei Milchrindern?. **Zuchtungskunde**. v.77, p.110-127. 2005.

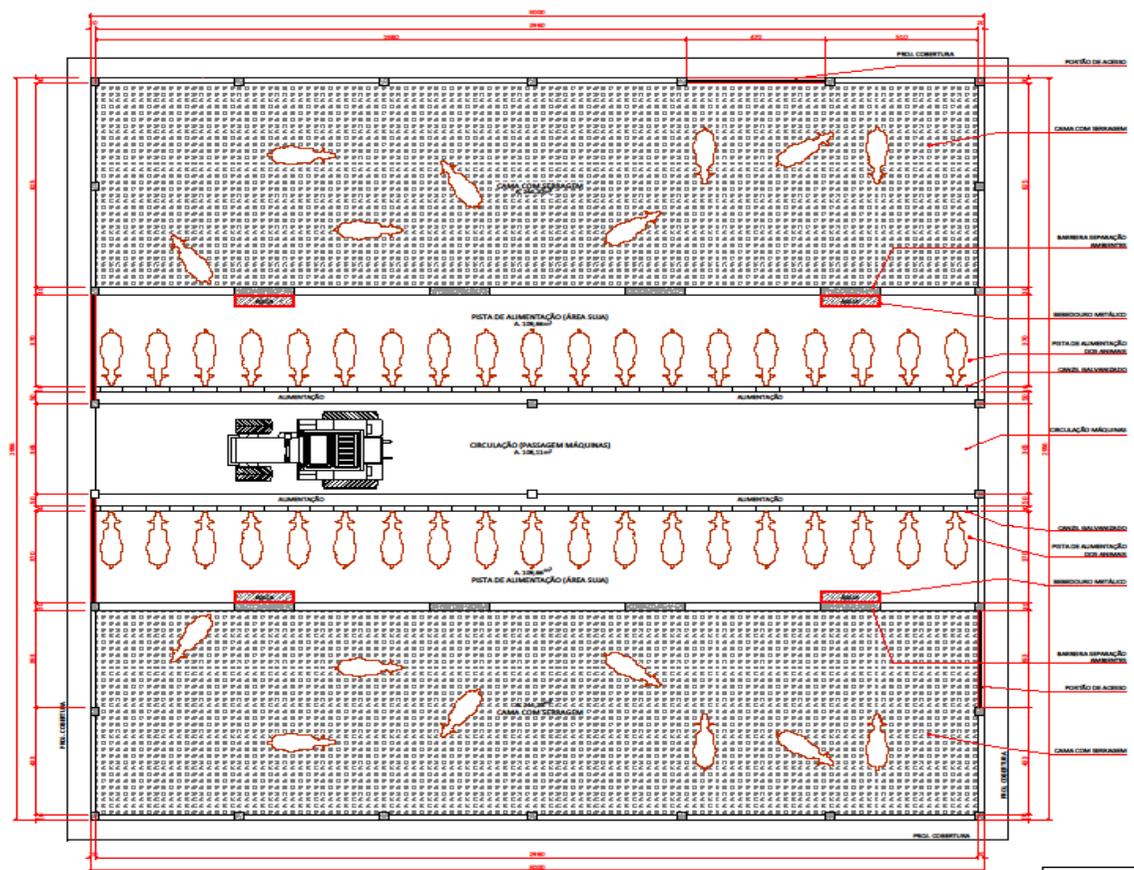
WALD, A. Tests of Statistical Hypotheses Concerning Several Parameters When the Number of Observations Is Large." **Transactions of the American Mathematical Society**. v.54, p.426–482.1943.

ZAMBELIS, A.; GAGNON-BARBIN, M.; JOHN, J. ST.; VASSEUR, E.; Development of a rising and lying-down ability index in dairy cattle and its relationship with other welfare outcome measures. **Applied Animal Behaviour Science**. v.220, p.104858. 2019.

ZANIN, A.; FAVRETTO, J.; POSSA, A.; MAZZIONI, S.; ZONATTO, V.C.S. Apuração de custos e resultado econômico no manejo da produção leiteira: Uma análise comparativa entre o sistema tradicional e o sistema freestall. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v.17, n.4. 2015.

ZHANG, X.; KANG, X.; FENG, N.; LIU, G.; Automatic recognition of dairy cow mastites from thermal images by a deep learning detector. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 78, p.105754. 2020.

**ANEXO A – Planta baixa do *compost barn* usado como unidade experimental**




**PLANTA BAIXA**  
 esc. 1/150

COMPOST_BARN			
ALUNO JUCEMARA ROSLER	PROJETO PLANTA_BAIXA	PROFESSOR	NUMERAÇÃO 01/01
CONTEUDO DA PRANCHETA-PLANTA BAIXA COMPOST BARN		ESCALA 1:150	FOLHA A1 DATA 09/2021