

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO SOMBREAMENTO
NATURAL E ARTIFICIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE
VACAS HOLANDESAS

Autor: Jardel Perrud Barcelos
Orientador: Prof^a. Dr^a. Sheila Tavares Nascimento

MARINGÁ
Estado do Paraná
Fevereiro – 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO SOMBREAMENTO
NATURAL E ARTIFICIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE
VACAS HOLANDESAS

Autor: Jardel Perrud Barcelos
Orientador: Prof^a. Dr^a. Sheila Tavares Nascimento

"Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal".

MARINGÁ
Estado do Paraná
Fevereiro – 2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

B242a

Barcelos, Jardel Perrud

Avaliação microclimática do sombreamento natural e artificial e sua influência sobre respostas fisiológicas e comportamentais de vacas holandesas / Jardel Perrud Barcelos. -- Maringá, PR, 2023.

xvii, 73 f.: il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Sheila Tavares Nascimento.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2023.

1. Vacas holandesas - Ambiência - Conforto térmico. 2. Vacas holandesas - Pelâme. 3. Vacas holandesas - Comportamento. 4. Vacas holandesas - Fisiologia. 5. Vaca leiteira. I. Nascimento, Sheila Tavares, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 23.ed. 636.234

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO SOMBREAMENTO
NATURAL E ARTIFICIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE
VACAS HOLANDESAS

Autor: Jardel Perrud Barcelos
Orientadora: Prof^a Dr^a Sheila Tavares Nascimento

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADO em 24 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. Julio Cesar Damasceno

Prof. Dr. Frederico Marcio Correa
Vieira

Prof^a Dr^a Sheila Tavares Nascimento
Orientadora

“Podemos julgar o coração de um homem pela forma como ele trata os animais”

- Immanuel Kant

A minha família, em especial meus pais e avós que sempre incentivaram o foco nos estudos, e fizeram o que estava ao alcance para que pudesse conquistar meus objetivos. Amo vocês com a minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência, e por sempre estar comigo.

À Universidade Estadual de Maringá, por ter-me possibilitado desenvolver este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

À Prof^a. Dr^a. Sheila Tavares Nascimento, pela dedicada orientação, ensinamentos e pela paciência.

Ao Departamento de Zootecnia, e os professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da UEM, pelos ensinamentos.

Aos meus pais, Ana Lúcia Perrud Barcelos e Éder Toni Barcelos, por sempre apoiarem e incentivarem.

Aos membros do grupo de pesquisa Inobio-Manera-UEM, que ajudaram na condução do experimento.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Jardel Perrud Barcelos, mãe, autônoma Ana Lúcia Perrud Barcelos e pai produtor rural Éder Toni Barcelos, nascido em 29 de abril de 1997 em Martinópolis – São Paulo.

Nascido em uma família com dois irmãos, sendo o filho do meio. Em 2014, concluiu o ensino médio no Colégio Mensagem.

Em 2015, iniciou sua graduação em Medicina Veterinária na Universidade Estadual de Maringá - Campus Regional de Umuarama, Umuarama – PR, finalizando em 2020.

Em março de 2021, ingressou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá no Paraná, na área de concentração produção animal, e submeteu-se à banca examinadora em 24 fevereiro de 2023.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
I INTRODUÇÃO GERAL	1
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
1.1 EFEITOS DO AMBIENTE SOBRE OS ANIMAIS	2
1.1.1 Efeitos na reprodução	8
1.1.2 Índices de conforto térmico	9
1.2 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS ANIMAIS	10
1.3 BEM- ESTAR ANIMAL APLICADO À BOVINOCULTURA LEITEIRA	12
1.4 MECANISMO DE TERMORREGULAÇÃO DOS BOVINOS	15
1.4.1 Mecanismos Fisiológicos	15
1.4.2 Mecanismos Comportamentais	18
1.4.2 Mecanismos Adaptativos	20
1.5 RECURSOS DE SOMBREAMENTO	21
1.5.1 Recursos de Sombreamento Natural	22
1.5.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)	23
1.5.3 Sistema de Integração Pecuária-Floresta (IPF)	25

1.5.4 Recursos de Sombreamento Artificial.....	25
1.6 REFERÊNCIAS	27
II OBJETIVO GERAL	38
III CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO SOMBREAMENTO NATURAL E ARTIFICIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE VACAS HOLANDESAS	40
RESUMO	40
ABSTRACT	42
1 Introdução	43
2 Material e Métodos	45
2.1 Local e estruturas de sombreamento	45
2.2 Animais.....	47
2.3 Variáveis Meteorológicas	47
2.3.1 Índices de conforto térmico	48
2.4 Variáveis Fisiológicas	49
2.4 Variáveis Comportamentais	50
2.4 Análise Estatística	51
3 Resultados e Discussão	52
3.1 Variáveis Meteorológicas	52
3.2 Variáveis Fisiológicas	59
3.3 Variáveis Comportamentais	63
4 Conclusões	67
5 Referências	67
IV CONCLUSÕES GERAIS	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Etograma para a observação de vacas da raça Holandesa no Setor de Bovinocultura de Leite da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá

TABELA 2 - Médias (\pm EP) e valores mínimo e máximo das variáveis meteorológicas e índices de conforto térmico na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), Maringá, PR, durante a pesquisa.

TABELA 3 - Médias (\pm EP) da temperatura superficial de vacas da raça Holandesa em função do tipo de sombreamento, da cor predominante da malha corporal e dos horários avaliados ao longo da pesquisa.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1 - Sistemas de Integração na produção agrícola, destaque para os sistemas utilizados na produção de bovinos a pasto o ILF e o ILPF. Fonte: Adaptado de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) 2023.

CAPÍTULO III

FIGURA 1 - a) Setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM); b) Piquetes do setor utilizados durante o experimento. Fonte:GESF – Grupo de Estudo em Silagem e Feno.

FIGURA 2 - Estrutura de sombreamento artificial composta por uma tela superior aluminizada e tela inferior de polipropileno preta construída no setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Brasil. Fonte: Arquivo pessoal.

FIGURA 3 - Esquema demonstrando a projeção do sombreamento artificial durante as horas - a) Projeção da sombra as 10 horas da manhã; b) Projeção da sombra as 14 horas da tarde.

FIGURA 4 - Vacas da raça Holandesa avaliadas na pesquisa – a) animais com pelo menos 60% do corpo composto por malha branca; b) animais com pelo menos 60% do corpo composto por malha preta. Fonte: Arquivo pessoal.

FIGURA 5 - Classificação dos dias de coleta de acordo com o *InComfort Index* proposto por Maia *et al.* (2023).

FIGURA 6 - Médias (\pm EP) da radiação solar durante as horas do dia na Fazenda Experimental de Iguatemi, Maringá, PR, Brasil. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 7 - Médias (\pm EP) – a) da temperatura do ar; b) da umidade relativa do ar - para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 8 - Médias (\pm EP) da temperatura radiante média para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 9 - Médias (\pm EP) da temperatura radiante média para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 10 - Médias (\pm EP) da carga térmica radiante – a) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes); b) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas

diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 11 - Médias (\pm EP) do ITGU – a) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo *InComfort Index* (dias nublados, quentes ou muito quentes); b) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 12 - Médias (\pm EP) do consumo de água de vacas da raça Holandesa a pasto em função da oferta de recursos de sombreamento natural ou artificial para os períodos da manhã e da tarde. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o sombreamento natural e artificial em cada um dos períodos e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa para o sombreamento natural e artificial entre o período da manhã e da tarde pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 13 - Frequência do comportamento deitada no período da manhã dos animais predominantemente brancos e pretos dias quentes classificados pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o tipo de pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 14 - Frequência do comportamento de descanso nos dias classificados como quentes pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a predominância da cor do pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURA 15 - Frequência do uso do sombreamento natural pelos animais predominantemente brancos e pretos nos dias quentes classificados pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o tipo de pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESUMO GERAL

O Brasil é um dos maiores produtores de leite, destacando-se pela produção de leite a pasto. Porém, em sistemas ao ar livre, os animais podem ficar expostos a altas temperaturas do ar e altos níveis de radiação, o que interfere, diretamente, sobre o conforto térmico, alterando suas respostas fisiológicas e comportamentais. Quando o sombreamento natural não estiver disponível para os animais, estruturas de sombreamento artificial devem ser instaladas para proporcionar proteção aos animais. Baseado nessas informações, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a eficiência do sombreamento natural por ipês (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) e da estrutura de sombreamento artificial com a associação de telas refletora e de polipropileno sobre as variáveis microclimáticas e a influência sobre a fisiologia e o comportamento de vacas holandesas mantidas a pasto em clima tropical. O experimento foi conduzido no Setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá entre os meses de março e julho de 2022. Dois piquetes do setor foram utilizados, sendo um com a presença das árvores e outro com árvores e a estrutura de sombreamento artificial, composta pela combinação entre uma tela refletora aluminizada e uma tela de polipropileno preta, com uma distância de 15 cm entre elas. Oito vacas múltíparas foram avaliadas durante 20 dias não consecutivos, sendo selecionadas de acordo com a predominância de coloração do pelame (pelo

menos 60% do corpo): quatro com pelame predominantemente branco (60% do corpo) e quatro com pelame predominantemente preto. Os animais foram divididos de forma aleatória em dois grupos compostos por quatro animais cada. As variáveis avaliadas meteorológicas foram: temperatura do bulbo seco (TBS, °C), temperatura do bulbo úmido (TBU, °C), temperatura do globo negro (Tgn); a umidade relativa (UR, %) foi calculada a partir das temperaturas dos bulbos seco e úmido. Para as variáveis fisiológicas foram avaliadas a temperatura superficial (Ts, °C), temperatura retal (Rt, °C), frequência respiratória (FR, respirações minuto⁻¹) e o consumo de água (litros). Para a observação das variáveis comportamentais foi elaborado um etograma com local de permanência, postura, atividade e evento. Os dias experimentais foram classificados pelo InComfort Index entre muito quente, quente e nublado. Os dados meteorológicos e fisiológicos foram submetidos a análise de variância pelo método dos quadrados mínimos e as médias desdobradas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados comportamentais foram analisados por meio de análise de frequência e teste do qui-quadrado a 5% de probabilidade. A partir dos dados obtidos foram calculados índices de conforto térmico como a Temperatura Radiante Média, a Carga Térmica Radiante e o Índice de Temperatura Globo e Umidade. A Temperatura Radiante Média para o sombreamento artificial foi menor para todos os dias ($P < 0.05$) com valores inferiores aos 30 °C durante as horas do dia. A Carga Térmica Radiante também foi menor sob a estrutura de sombreamento artificial independentemente dos dias ($P < 0.05$) com valores inferiores a 470 W.m⁻² durante o dia. A temperatura superficial dos animais diferiu ($P < 0.05$) entre as predominâncias de cor da pelagem com animais brancos apresentando uma temperatura 1,71 °C mais baixa em relação aos animais pretos. O consumo de água diferiu no período do dia ($P < 0.05$), com um consumo de 40 litros a mais no período da manhã. As variáveis comportamentais sofreram variação durante os dias quentes ($P < 0.05$) para a coloração do pelame, com animais de coloração branca, apresentando maior frequência de descanso, deitadas e maior uso do sombreamento natural. Dessa forma, foi possível observar que a estrutura de sombreamento artificial com a associação de telas foi eficiente em reduzir os índices e proporcionar um ambiente térmico semelhante ao sombreamento natural. Portanto, pode ser instalado quando o componente arbóreo não estiver presente, sem que haja comprometimento do conforto animal.

Palavras-chave: Ambiência, Bovinos, Conforto Térmico, Pelame

ABSTRACT

Brazil is one of the largest milk producers in the world, highlighting the production of milk on pasture. However, in free-range systems, the animals may be exposed to high air temperatures and radiation levels, directly interfering with thermal comfort, altering their physiological and behavioral responses. When natural shading is unavailable for the animals, artificial shading structures should be installed to protect the animals. Based on this information, the main objective of this study was to evaluate the efficiency of natural shading by ipê trees (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) and artificial shading structure with the association of reflective and polypropylene nets on microclimate variables and the influence on physiology and behavior of Holstein cows grazing in tropical climate. The experiment was conducted in the Dairy Cattle Sector of the Fazenda Experimental de Iguatemi of the Universidade Estadual de Maringá between March and July 2022. Two paddocks of the sector were used, one with the presence of trees and the other with trees and the artificial shading structure, composed of the combination between an aluminized reflective net and a black polypropylene net, with 15 cm between them. Eight multiparous cows were evaluated

during 20 non-consecutive days. They were selected according to the predominant coat color (at least 60% of the body): four with predominantly white coat (60%) and four with predominantly black coat. The animals were randomly divided into two groups composed of four animals each. The meteorological variables evaluated were dry bulb temperature (DBS, °C), wet bulb temperature (WBT, °C), black globe temperature (BGT), and relative humidity (RH, %) was calculated from the dry and wet bulb temperatures. For the physiological variables, surface temperature (ST, °C), rectal temperature (RT, °C), respiratory rate (RR, respirations minute⁻¹) and water intake (liters) were evaluated. For the observation of behavioral variables, an ethogram was prepared with location, posture, activity, and event. The experimental days were classified by the InComfort Index between very hot, hot, and cloudy. The meteorological and physiological data were submitted to analysis of variance by the method of least squares and the means were split by the Tukey test at 5% probability. The frequency analysis and chi-square test analysed behavioural data at 5% probability. We calculated thermal comfort indexes from the data obtained, such as Mean Radiant Temperature, the Radiant Heat Load and the Globe Temperature and Humidity Index. Mean Radiant Temperature for artificial shading was lower for all days ($P<0.05$), with values below 30°C during daylight hours. The Radiant Heat Load was also lower under the artificial shading structure regardless of days ($P<0.05$) with values below 470W.m⁻² during the daytime. The surface temperature of the animals differed ($P<0.05$) between coat color predominance, with white animals showing a 1.71°C lower temperature than black animals. Water intake differed by time of day ($P<0.05$), with 40 liters more in the morning. Behavioral variables varied during hot days ($P<0.05$) for coat coloration, with white-colored animals showing higher frequency of resting, lying down, and greater use of natural shading. Thus, it was possible to observe that the artificial shading structure with the association of nets efficiently reduced the rates and provided a thermal environment like natural shading. Therefore, it can be installed when the tree component is absent without compromising animal comfort.

Keywords: Ambience, Dairy Cattle, Hair Coat, Thermal Comfort

I - INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o 3º maior produtor de leite no mundo, ficando atrás apenas da Índia e Estados Unidos da América, segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2023). Segundo o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil produziu em 2021 cerca de 35.305.047 mil litros de leite (IBGE, 2023). No mercado interno, o leite está entre o seis produtos mais importantes da agropecuária, exercendo um papel essencial na produção de alimentos e renda para o país (EMBRAPA, 2023).

A produção de leite no Brasil mudou nas últimas décadas, passando de métodos extensivos de criação na década de 1970, com utilização de pastagem nativa e animais mestiços de baixa produtividade (Yamaguchi *et al.*, 2001), para sistemas intensivos e animais com maior produtividade (Bacchi *et al.*, 2022). Desta forma, animais selecionados para alta produção são mais sensíveis a alterações no ambiente térmico (Sammad *et al.*, 2020).

A produção de leite a pasto é um importante seguimento do setor leiteiro (Anjos *et al.*, 2020), porém devido a combinação entre elevadas temperaturas do ar e altos

níveis de radiação encontrados na maior parte do ano em regiões tropicais, é primordial ofertar recursos para que os animais se protejam durante o dia (Brown-Brandl *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019).

Existem diversas alternativas para promover o sombreamento nas pastagens, como pela utilização de árvores promovendo o sombreamento natural (Teixeira *et al.*, 2022); pela adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (Deniz *et al.*, 2020); ou pelo uso de estruturas artificiais (Oliveira *et al.*, 2019; Mós *et al.*, 2022; Faria *et al.*, 2023).

As estruturas de sombreamento artificial devem ser instaladas obrigatoriamente quando não há a presença de sombreamento natural. O material mais comum utilizado no Brasil é a tela de polipropileno preta. Entretanto, devido a coloração preta, esse material absorve uma grande quantidade de calor e o transmite para os animais sob ela (Mós *et al.*, 2022). Dessa forma, outros materiais estão sendo avaliados, como por exemplo, os painéis fotovoltaicos; contudo essa alternativa demanda um investimento inicial maior (Maia *et al.*, 2020; Faria *et al.*, 2023).

O uso de telas refletoras associadas às telas de polipropileno preta foram eficientes em proporcionar um ambiente térmico semelhante ao das árvores em estudos conduzidos com matrizes suínas criadas ao ar livre no Cerrado brasileiro (Mós *et al.*, 2022). Dessa forma, averiguar a eficiência desse material como recurso de sombreamento para vacas leiteiras criadas a pasto em clima tropical é fundamental, pela sua caracterização microclimática e relacionada às respostas comportamentais e fisiológicas de bovinos leiteiros, a fim de se garantir o bem-estar dos animais.

1. Revisão bibliográfica

1.1 Efeitos do ambiente sobre os animais

Manter os animais saudáveis é um dos pontos principais para garantir um bem-estar animal satisfatório, quando o animal não necessita realizar um esforço mínimo para manter sua homeostasia, pois indica um bom funcionamento biológico dos indivíduos, ou seja, com suas funções vitais dentro dos parâmetros normais (Broom, 1986; Polsky e Von Keyserlingk, 2017). Para um bem-estar animal ótimo, algumas diretrizes devem ser atendidas, como descrito pelo conceito das Cinco liberdades, que

teve as primeiras discussões feitas no comitê Brambell (1965) e elaboradas pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1993): (1) Liberdade Nutricional, (2) Liberdade Sanitária, (3) Liberdade Ambiental, (4) Liberdade Comportamental e (5) Liberdade Psicológica (Molento, 2006).

Esses parâmetros foram os primeiros a serem utilizados para mensurar as condições de bem-estar (Mellor e Reid, 1994). A partir desse conceito, foi desenvolvido os 5 domínios, que teve sua última atualização realizada no ano de 2017, sendo eles:

Domínio 1: Nutrição – privação de água, privação de comida e má nutrição;

Domínio 2: Ambiental – desafio físico e atmosférico;

Domínio 3: Saúde – doença, injúria e comprometimento funcional;

Domínio 4: Comportamento – Restrição de movimento comportamental ou interativo;

Domínio 5: Mental – Sede, dor, medo, ansiedade e angústia.

Sendo que o bem-estar pode ser mensurado através do grau de comprometimento desses domínios e o domínio 5 sofre influência dos demais (Mellor *et al.*, 2020).

Ao considerarmos o Domínio Ambiental, o conforto térmico é um dos pilares para um bom bem-estar animal, caracterizado pela condição em que o animal consegue manter sua temperatura corporal constante, utilizando mecanismos de transferência de calor. Um animal estar em conforto térmico significa não estar exposto ao frio ou ao calor excessivos, o que envolve não só a temperatura do ar, mas também a umidade relativa e a radiação solar (Oliveira *et al.*, 2019, Cardoso *et al.*, 2021).

A zona de termoneutralidade ou de conforto térmico é definida pela variação da temperatura ambiente a qual o animal consegue manter sua temperatura interna relativamente estável pela ativação de mecanismos comportamentais e fisiológicos de termorregulação, sendo delimitada pela temperatura crítica inferior e pela temperatura crítica superior (Da Silva, 2000). Para bovinos leiteiros de origem europeia, são descritos na literatura valores iguais a -5°C e 25°C , respectivamente, para a temperatura crítica inferior e para a temperatura crítica superior (Azevêdo e Alves, 2009; Ferreira *et al.*, 2017).

Quando um animal é exposto a temperaturas maiores ou menores da zona de conforto térmico, os mecanismos fisiológicos ou autônomos de termorregulação são ativados, como, por exemplo, a alteração da atividade muscular (tremores e piloereção),

da circulação sanguínea periférica (vasoconstrição ou vasodilatação) e pulmonar (alteração da frequência respiratória) e do metabolismo (alteração na taxa metabólica); e comportamentais (voluntários), por exemplo pela alteração da postura corporal, ingestão de água, ingestão de alimentos e aumento pela procura por áreas sombreadas. Quando a temperatura do ambiente é menor que a temperatura crítica inferior há o estresse pelo frio e o organismo ativa mecanismos termogênicos, que consiste na queima de calorias para aumentar a produção de calor metabólico; e mecanismos de termoconservação, para evitar que animal dissipe calor em direção ao ambiente, como por exemplo, pela vasoconstrição periférica. De forma oposta, quando a temperatura do ambiente é maior que a temperatura crítica superior, o organismo ativa mecanismos termolíticos para maximizar a perda de calor para o ambiente (Da Silva, 2000).

Quando há diferença entre a temperatura corporal superficial e a temperatura ambiente, os animais utilizam os mecanismos sensíveis de transferência de calor: condução, radiação e convecção. Portanto, quando a temperatura ambiente é menor que a temperatura superficial, ocorre perda de calor pelo animal; e quando a temperatura do ambiente é maior que a superficial o animal ganha calor do ambiente (Maia *et al.*, 2005, Maia *et al.*, 2008; Pilatti e Vieira, 2017, Becker *et al.*, 2020).

Quanto menor for o gradiente térmico entre a superfície do animal e o ambiente, ocorre a ativação dos mecanismos de transferência de calor latentes, pela evaporação cutânea e pela evaporação respiratória. A evaporação cutânea em ambientes tropicais para bovinos pode responder por até 80% da perda total de calor latente e a evaporação respiratória pelos 20% restantes (Maia *et al.*, 2005, Maia *et al.*, 2008).

A transferência de calor sensível por condução ocorre pelo contato molecular da superfície do animal com corpos ou superfícies ao seu redor, isto é, o fluxo ocorre das moléculas de alta energia para as de baixa energia (da Silva, 2000). Esse processo depende de alguns fatores como o gradiente de temperatura entre as superfícies e a condutividade térmica do meio e da superfície de contato (Kadzere *et al.*, 2002). Se uma superfície, como por exemplo o solo, estiver mais fria que a superfície corporal de uma vaca deitada sobre ele, o calor irá ser transferido do animal para o solo. Por sua vez, se o solo estiver mais quente que a superfície corporal do animal, há um ganho de calor do solo (Atrian e Shahryar, 2012).

A transferência de calor sensível por convecção ocorre através da movimentação do ar entorno do animal, com o rompimento da barreira de ar que está em contato com o animal causado pela movimentação do ar, fazendo com que o ar quente mais leve se eleve e o ar mais frio ocupe esse espaço. O contrário também ocorre se a temperatura do ar for mais quente que a do animal, assim o movimento do ar favorece o fluxo de calor do ambiente para o animal. A transferência de calor sensível por radiação entre corpos ocorre em ambas as direções, do animal para o ambiente e do ambiente para o animal, e se apresentarem uma diferença de temperatura entre eles, ocorre a emissão de radiação infravermelha, do corpo mais quente e uma absorção dessa radiação pelo corpo mais frio, devido a emissão de radiação de ondas longas que se encontram no espectro infravermelho. Além de depender da temperatura do objeto/animal, essa transferência também depende da cor e textura, ou seja, superfícies escuras irradiam e absorvem mais calor do que superfícies de coloração clara com a mesma temperatura, devido ao alto valor de absorvância. Dessa forma, o pelame de coloração escura absorve mais energia (Kadzere et al., 2002; Maia *et al.*, 2005).

Quando a temperatura do ar ultrapassa os 25°C, os bovinos da raça holandesa passam a ganhar calor sensível, com a perda por convecção cada vez menor, e a transferência de radiação térmica se torna uma fonte de ganho de calor, devido à diminuição do gradiente de temperatura entre a temperatura superficial do animal e do ambiente (Maia *et al.*, 2005).

Já a transferência de calor latente depende do gradiente de pressão de vapor, ocorrendo pela evaporação cutânea e respiratória (Maia *et al.*, 2008). A perda de calor através da evaporação respiratória ocorre devido ao ar expirado estar saturado com vapor de água com temperatura igual a temperatura central do animal, sendo que o fluxo de calor latente é proporcional à diferença de pressão de vapor do ar expirado e inspirado. Quando os animais aumentam a frequência respiratória, a resistência à transferência de vapor é reduzida, favorecendo as trocas térmicas, porém o animal aumenta a energia de manutenção para utilizar esse recurso (Turnpenney *et al.*, 2000). A evaporação respiratória depende diretamente da frequência respiratória, porém uma alta frequência respiratória pode diminuir a pressão parcial de CO₂ no sangue arterial, resultando em alcalose metabólica (Maia *et al.*, 2005).

A perda de calor por evaporação é negativamente correlacionada com a umidade relativa do ar, ou seja, quanto maior a umidade relativa, menos eficiente se

torna esse mecanismo, devido a diminuição do gradiente da pressão de vapor. Porém, está correlacionada positivamente com a temperatura do ar, assim quanto maior for essa temperatura menos dificuldade o animal encontra para usar esse mecanismo, caracterizando a principal forma de eliminar a energia térmica excedente quando a temperatura do ar ultrapassa 25°C, para bovinos holandeses (Maia *et al.*, 2008).

Nas regiões caracterizadas por clima tropical, os níveis de radiação solar são em média 700 W .m⁻² entre as 11 horas e as 15 horas do dia, podendo atingir picos superiores a 1000 W .m⁻². É descrito na literatura que vacas holandesas procuram por sombra quando os níveis de radiação estão acima de 500 W .m⁻² (Oliveira *et al.*, 2019). A combinação entre altos níveis de radiação e temperatura do ar acima de 25°C faz com que os animais alterem suas respostas fisiológicas, como aumento da frequência respiratória, da temperatura corporal, dos batimentos cardíacos e da taxa de sudação (Pinheiro *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019).

Essas alterações fisiológicas são controladas pelo eixo hipotálamo-hipófise-glândulas adrenais (Da Costa *et al.*, 2015), pois o centro termorregulador localiza-se no hipotálamo, com células sensíveis ao aumento da temperatura corporal e outras sensíveis a diminuição da temperatura corporal. Essas células sofrem influência da temperatura do sangue que circula no cérebro e dos estímulos dos termorreceptores distribuídos na superfície corporal. Assim, o hipotálamo envia sinais através de nervos simpáticos para as glândulas sudoríparas, arteríolas da pele e para a medula suprarrenal; através de neurônios motores para os músculos esqueléticos e através dos hormônios hipotalâmicos, hormônio liberador de tireotropina (TRH) e hormônio tireoestimulante (TSH) que controlam a hipófise que por sua vez atua no controle de hormônios termogênicos como a tireotrofina (TSH) que induz a secreção de tiroxina (T4) e de triiodotironina (T3) (Camargo e Furlan, 2011).

Adicionalmente, os bovinos sob estresse térmico sofrem alterações comportamentais, como aumento no consumo de água, diminuição da ruminância, aumento do pastoreio durante a noite e diminuição durante o dia, maior tempo de ócio, anestro, diminuição na demonstração de cio e aumento de reações agonísticas (Da Costa *et al.*, 2015).

O calor metabólico é produzido pelo organismo do animal, através da conversão da energia química contida nos alimentos e nas reservas corporais em energia para o animal, essa produção fica entre 70 e 250 W.m⁻² para bovinos holandeses, dependendo

da temperatura do ar, taxa de crescimento e produção de leite (Maia *et al.*, 2005). Vacas em lactação são mais sensíveis a temperaturas acima da condição de conforto, próxima a 25°C, pois a produção de leite aumenta a produção de calor metabólico, e consequentemente, aumenta a produção de calor endógena, que inclui não só o calor metabólico, mas também o gerado pelo exercício, desempenho, prenhez, entre outros. Portanto, uma das primeiras respostas do animal ao estresse é a redução da ingestão de matéria seca, o que posteriormente diminui a disponibilidade de nutrientes para a síntese do leite, ocasionando a diminuição da produção. Os efeitos negativos do calor excessivo sobre a produção de leite ocorrem entre 24 horas e 48 horas após o estresse (Maia *et al.*, 2005; Polsky e Von Keyserlingk, 2017; Becker *et al.*, 2020).

O aumento da temperatura retal pode ser um indicativo que o animal está em um ambiente termicamente estressante, pois esse aumento indica que o animal está acumulando o calor que foi absorvido através da radiação além do calor produzido pelo seu próprio metabolismo (Pilatti e Vieira, 2017). Desta forma, o estresse térmico pode ser definido como uma falha nos mecanismos dissipação de calor que foi absorvido e/ou acumulado no corpo e consequentemente falha na manutenção do equilíbrio térmico corporal resultando na ativação de mecanismos de termorregulação (Sammad *et al.*, 2020; Becker *et al.*, 2020).

Dependendo do nível de estresse térmico a que o animal é exposto, suas necessidades de manutenção podem aumentar entre 7% e 25%, principalmente quando há a ativação dos mecanismos latentes de transferência de calor que desviam energia do metabolismo para ocorrer (Maia *et al.*, 2005; Becker *et al.*, 2021). A severidade do estresse ainda depende de alguns fatores como idade, que altera a capacidade termorregulatória do animal (Lacetera, 2019; Becker *et al.*, 2021); raça, que influencia na características do pelame e adaptação ao ambiente (Maia *et al.*, 2003; Dikmen *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2018); nível de produção, animais mais produtivos tem exigências maiores e taxas metabólicas mais altas (Wheelock *et al.*, 2010; Tao, *et al.*, 2020); condições de alojamento, como tipo de piso e material de cobertura (Ferraz *et al.*, 2020; Frigeri *et al.*, 2023; Faria *et al.*, 2023); entre outros, uma vez que estes fatores interferem na eficiência dos mecanismos de transferência de calor sensível e latente (Becker *et al.*, 2021).

1.1.1 Efeitos na reprodução

Muitos fatores podem afetar a fertilidade de rebanhos leiteiros, como nutrição, genética, manejo, nível hormonal e o ambiente. Porém, os fatores ambientais são os que mais impactam a fertilidade. O estresse térmico pode afetar o desempenho reprodutivo de várias formas, pela diminuição da duração do estro, pelo comprometimento da função uterina, da atividade endócrina, do desenvolvimento folicular e da atividade luteolítica, além de comprometer o desenvolvimento e a sobrevivência embrionária e o crescimento fetal (Becker *et al.*, 2020). Os bovinos *Bos taurus taurus* são os mais afetados em ambientes tropicais, grupo genético em que a raça holandesa está inserida (Polsky e Von Keyserlingk, 2017).

O estresse pode afetar a função reprodutiva em três níveis no eixo hipotálamo-hipófise-adrenal. O hipotálamo é o órgão que conecta o sistema nervoso com o sistema endócrino, regulando a função da hipófise através da secreção de peptídeos e aminas, sendo responsável também pela regulação da temperatura corporal e do comportamento sexual, entre outros. Nos hormônios reprodutivos, este faz a liberação de hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH) (Da Costa *et al.*, 2015).

A hipófise libera hormônios que agem diretamente nas gônadas, como o hormônio folículo-estimulante (FSH), que estimula o crescimento folicular, e o hormônio luteinizante (LH) que estimula a maturação de folículos, produção de estradiol e ovulação. Caso haja algum problema ou interferência no eixo hipotálamo-hipófise, os efeitos estimulantes das gonadotrofinas irão diminuir, e a função reprodutiva do animal será comprometida, havendo cios silenciosos, problemas no desenvolvimento e qualidade do ovócito, na fertilização e implantação do embrião, devido ao útero não estar preparado para recebê-lo, e formação de corpos lúteos de menor qualidade, podendo gerar situações de anestro ou ninfomania (Da Costa *et al.*, 2015). Também podem ocorrer alterações na secreção de prostaglandina pelo endométrio, o que pode levar a uma luteólise prematura gerando a perda embrionária, que ocorre normalmente antes dos 42 dias de gestação. Além disso, a hipertermia sistêmica pode afetar vários tecidos do trato reprodutivo, assim, pode alterar a dinâmica folicular ovariana e a capacidade de o folículo exercer a dominância folicular. A perda desta última está relacionada à diminuição das concentrações plasmáticas de estradiol 17β e inibina, e ao aumento de FSH. Além disso, o estresse pode induzir a

codominância de folículos, o que pode diminuir a viabilidade dos ovócitos (Ferreira *et al.*, 2017).

Outro ponto importante é que vacas expostas ao estresse térmico tendem a expressar menos o comportamento de cio, que normalmente dura em torno de 10 a 12 horas, e aproximadamente 20 horas depois do seu início ocorre a ovulação. Em ambientes termoneutros, há o aumento da atividade durante o cio e ficam mais agitadas, porém o aumento da temperatura ambiente pode causar letargia física e reduzir a duração e a intensidade do estro. Essa redução da atividade no cio está relacionada a tentativa que o animal faz de evitar o aumento da sua temperatura corporal interna que já está elevada em dias quentes (Polsky e Von Keyserlingk, 2017; Becker *et al.*, 2020).

A taxa de concepção, mensurada pelo número de vacas prenhes, dividido pelo número total de serviços (inseminações ou monta natural), multiplicado por 100, vem diminuindo nas últimas décadas, passando de 55% a 60 anos atrás para 35% atualmente e diminui ainda mais nos períodos de estresse térmico. Tanto períodos prolongados de estresse, como um estresse agudo momentos antes da ovulação, podem desencadear essa resposta negativa na taxa de concepção. O estresse três semanas antes da ovulação é o mais prejudicial para a concepção, fazendo com que essa taxa seja menor que 25% (Schüller *et al.*, 2014).

Devido aos inúmeros prejuízos causados ao organismo dos animais, desencadeando inúmeras respostas prejudiciais à manutenção do bem-estar animal, é necessário buscar alternativas para mitigar esses efeitos deletérios do estresse térmico sobre os animais (Vizzotto *et al.*, 2015; Becker *et al.*, 2021).

1.1.2 Índices de avaliação de conforto térmico

Diversos índices foram desenvolvidos para a avaliação da condição de conforto proporcionada aos animais de produção, destacando-se, entre eles, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR) (Da Silva & Maia, 2013). O índice de Temperatura e Umidade foi proposto por Thom (1959) para avaliar o conforto térmico para humanos, desde então tem sido adaptado para descrever o ambiente térmico para bovinos, porém considera apenas a temperatura e a umidade relativa do ar (De Rensis *et al.*, 2015). O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) foi proposto por Buffington *et al.* (1981) como uma adaptação ao ITU para mensurar o conforto

térmico de bovinos leiteiros e considera a temperatura do globo negro e a temperatura do ponto de orvalho. Algumas faixas foram definidas para averiguação de conforto e estresse: valores menores que 68 indicam conforto; valores entre 68 e 74, estresse leve; valores entre 75 e 90, estresse moderado; e acima de 90 indica estresse severo (De Masi *et al.*, 2021).

Outro índice que pode ser utilizado para mensurar o conforto térmico dos animais é a Carga Térmica Radiante (CTR). A CTR considera todas as fontes de radiação que incidem sobre uma superfície ou um corpo. Este índice é calculado em função da temperatura radiante média, que reflete a sensação térmica do animal frente a um ambiente radiante (Da Silva & Maia, 2013). Valores maiores do que 450 W.m^{-2} são descritos para ambientes tropicais, podendo ser superior a 800 W.m^{-2} em dias ensolarados. Esse valor representa, aproximadamente, o triplo da produção de calor metabólica de um bovino, caracterizando, portanto, um ambiente desafiador (Oliveira *et al.*, 2019; Mós *et al.*, 2020; Faria *et al.*, 2023).

O *InComfort Index* (InCI) foi proposto por Maia *et al.* (2023) para avaliar o conforto térmico de bovinos, classificando os dias em chuvosos, nublados, quentes e muito quentes considerando os efeitos combinados da radiação solar, a temperatura do globo negro, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e a taxa de precipitação. Os dias chuvosos apresentarem níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 265 W m^{-2} , umidade relativa do ar média de 80% e temperatura do ar de $23,8^\circ\text{C}$; dias nublados com níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 264 W m^{-2} , umidade relativa do ar de 75,5% e temperatura do ar de $24,5^\circ\text{C}$; dias quentes com níveis diários médios de radiação solar 488 W m^{-2} , umidade do ar de 70% e temperatura do ar de 26°C ; dias muito quentes com níveis diários médios de radiação solar maiores ou igual a 635 W m^{-2} , umidade de 66% e temperatura do ar de 28°C .

1.2 Impacto das mudanças climáticas sobre os animais

As mudanças climáticas é um tema cuja relevância se intensificou nas últimas décadas (Shield e Orme-Evans, 2015). De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022), a temperatura superficial do planeta deve ser $1,5^\circ \text{C}$ maior entre os anos de 2030 e 2050, devido principalmente às atividades antropogênicas. Porém, eventos naturais como atividades vulcânicas, tectonismo, atividade solar, mudanças nas correntes marinhas e as propriedades físico-químicas da atmosfera também podem impactar o clima (Jones *et al.*, 2001). Dessa forma as

mudanças no clima podem impactar negativamente a saúde humana e animal, podendo alterar a reprodução dos animais de interesse zootécnico e disseminação de insetos vetores de doenças, fungos, parasitas e bactérias e o próprio ciclo de vida dos animais (Rashamol *et al.*, 2018, Lacetera, 2019).

O aquecimento da superfície terrestre registrado nas últimas três décadas é o maior desde 1850, sendo a atividade humana a principal responsável por esse aquecimento e pelas maiores concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), sendo a pecuária responsável por 7% dessas emissões. Um dos principais responsáveis pelas mudanças climáticas como aumento da temperatura, mudança no regime de chuvas e aumento da frequência de eventos extremos é o aquecimento global (Shield e Orme-Evans, 2015; Lacetera, 2019). Deste modo, causa efeitos destrutivos e generalizados ao redor do globo, como secas severas, chuvas torrenciais, ondas de calor intensas, ameaçando os sistemas ecológicos e a sobrevivência das espécies (Calzadilla *et al.*, 2013; Shield e Orme-Evans, 2015).

As mudanças climáticas podem causar eventos cada vez mais extremos, com aumento da temperatura média global, causando mudanças nas variáveis meteorológicas como temperatura e umidade do ar e radiação, afetando negativamente a produção, desempenho e o bem-estar animal (Shield e Orme-Evans, 2015, Rashamol *et al.*, 2018, Brown-Brandl, 2018).

O efeito das mudanças climáticas, principalmente relacionado às variáveis meteorológicas, como aumento de temperatura, da umidade relativa do ar e aumento de eventos extremos, na saúde animal pode ocorrer de forma direta, que incluem aumento da temperatura corporal e mortalidade; ou indireta, que são mais complexos como influência do clima na densidade e distribuição microbiana no planeta, distribuição de doenças transmitidas por vetores, escassez de alimentos e água, ou doenças transmitidas por alimentos (Lacetera, 2019).

Os efeitos deletérios na saúde e bem-estar animal em bovinos está relacionado ao aumento de temperatura do ar e maior frequência de ocorrência das ondas de calor, que induzem ao estresse térmico. Portanto, causa alterações metabólicas, como diminuição na ingestão alimentar, aumento dos requisitos nutricionais, maior mobilização de gordura, que pode levar a cetose e síndrome do fígado gordo, estresse oxidativo como aumento da frequência respiratória e hiperventilação que gera alcalose

respiratória, acidose ruminal e laminite, supressão imunológica e em casos graves leva até a morte (Lacetera, 2019; Daltro *et al.*, 2020; dos Santos *et al.*, 2021).

A taxa de mortalidade dos animais, se torna maior nos meses mais quentes e durante eventos climáticos extremos, relacionando com eventos de insolação, exaustão e disfunção orgânica, que ocorre quando diversos órgãos param de funcionar. A taxa de mortalidade aumenta, de acordo com aumento da faixa etária dos animais, pois esses animais têm menor capacidade termorregulatória, assim animais mais velhos tem maior probabilidade de vir a óbito devido ao calor extremo, demonstrando um comprometimento extremo do bem-estar animal (Lacetera, 2019).

1.3 Bem- estar animal aplicado à bovinocultura leiteira

O bem-estar animal é uma característica inerente ao animal e não algo fornecido pelo ser humano aos animais; os humanos podem apenas proporcionar situações que melhorem o bem-estar do animal, como por exemplo, pelo fornecimento de sombra, boa alimentação, acesso a água potável, controle sanitário, entre outros (Duncan, 1981). Portanto, o bem-estar animal é um complexo fenômeno multidimensional, uma vez que sofre influência de diversos fatores (Silva *et al.*, 2021). Broom (1986) definiu o bem-estar como o estado do indivíduo em relação às tentativas de lidar com ambiente em que ele está inserido, utilizando mecanismos fisiológicos, comportamentais e adaptativos para sobreviver ao ambiente.

A preocupação com o bem-estar de animais de interesse zootécnico se intensificou a partir da década de 1960 na União Europeia com a criação do Comitê Brambell (1965), devido a pressão da sociedade sobre o tema. Houve uma intensa discussão entre cientistas, produtos com a participação da população em geral por meio de 250 cartas, logo após foram realizadas visitas em propriedades do Reino Unido, Dinamarca, Holanda e Irlanda do Norte (Mench, 1998). O Comitê impulsionou a condução de pesquisas com foco no bem-estar animal de forma a visar melhorar a qualidade de vida dos animais de produção (Silva *et al.*, 2021). Essas pesquisas iniciais levaram em conta questões relacionadas a restrição de espaço e comportamental, exposição a doenças e injúrias, de conforto térmico, nutricionais, entre outros (Mench, 1998).

Especificamente sobre a bovinocultura leiteira, a preocupação por parte dos consumidores teve e maior incidência a partir da década de 1960, sendo colocado em

pauta questões éticas da produção animal, correlacionado com a qualidade de vida dos animais e os sistemas intensivos de produção (Mench, 1998; Treichler, 2020). Em 2017 a Direção Geral de Políticas Internas do Parlamento da União Europeia (EU Parliament's Directorate-General for Internal Policies) elaborou um relatório no qual declara que o bem-estar de bovinos leiteiros é o segundo maior problema relacionado ao bem-estar animal dentro da União Europeia (UE), devido a elevada incidência de problemas nas patas, mastites e problemas reprodutivos, ocasionado pela intensa seleção genética dos animais para produção, ficando atrás apenas da avicultura de postura (van Eerdenburg *et al.*, 2021).

O bem-estar animal pode ser mensurado cientificamente e classificado entre muito bom ou positivo e muito ruim ou negativo, pela avaliação de indicadores de bem-estar (Broom, 2017). Esses indicadores podem ser classificados como físicos (claudicação, lesões na pele e ausência de pelos), fisiológicos (frequência respiratória, temperatura corporal e temperatura superficial), comportamentais (presença de estereotípias, tempo de descanso, comportamento ingestivo e social, busca por recursos de sombreamento, tempo de ruminação e escore corporal) e de desempenho (produção de leite, crescimento e desempenho reprodutivo) (Broom e Molento, 2004; Broom, 2017; Krueger *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021; Papageorgiou e Simitzis, 2022).

Com isso, algumas medidas e protocolos foram desenvolvidos ao longo dos anos, com a finalidade de aprimorar cada vez mais a ciência do bem-estar animal, como o Protocolo Welfare Quality ® inicialmente desenvolvido para bovinos, suínos e aves e posteriormente adaptado para outras espécies como equinos, caprinos, ovinos entre outros (Silva *et al.*, 2021). Além do Welfare Quality ®, a avaliação para bovinos leiteiros pode ser feita através de alguns protocolos como o *farmers assuring responsible management* nos Estados Unidos da América, que leva em consideração a utilização de sistemas intensivos (FARM. Animal Care Reference Manual Version 4, 2020), *the code* na Nova Zelândia que contempla sistemas de produção a pasto (New Zealand National Animal Welfare Advisory Committee, 2019) e mais recentemente o *integrated diagnostic welfare system* (IDWS), que agrega tecnologias na avaliação (Krueger *et al.*, 2020). Essas avaliações têm ganhado cada vez mais recursos tecnológicos, de forma a auxiliar o monitoramento do bem-estar animal com o auxílio de dados de imagem, som e sensores, combinados softwares e algoritmos para proporcionar o melhor resultado aos produtores e animais (Silva *et al.*, 2021).

Para o bem-estar ser classificado como bom, é preciso conhecer as necessidades dos animais, que dependem do funcionamento biológico de cada espécie animal (Broom e Johnson, 1993), sendo necessário conhecer a fisiologia e o comportamento da espécie, como as exigências basais do organismo, a demanda por recursos como água e sombra e a expressão comportamental natural (Broom, 2017).

Manejos ineficientes nas rotinas de ordenha e ambientes insalubres, com a presença de grande quantidade de material orgânico em decomposição pode favorecer o desenvolvimento de mastite, sendo esta a doença mais comum em rebanhos leiteiros (Silva *et al.*, 2021). Sua prevalência pode ser utilizada como um indicador de bem-estar animal, que interfere no comportamento normal dos animais (Broom e Molento 2004). Mastites causadas por agentes ambientais causam maior lesão na glândula mamaria do animal, ocasionando dor e perda de função dos tetos, o que além de comprometer o bem-estar animal, por vezes pode levar a morte (Bianchi *et al.*, 2019).

Vacas com problemas nas pernas e patas tendem a ingerir menos alimentos quando comparadas com vacas saudáveis. Essas enfermidades podem ser diagnosticadas precocemente com o uso de sensores como acelerômetros, que medem a simetria e distância percorrida pelos animais. Os dados podem ser associados a imagens de câmera de infravermelho da região das patas dos animais, que é capaz de detectar alterações patológicas e metabólicas, como a laminite, de forma precoce, o que favorece um tratamento preventivo, favorecendo o bem-estar dos animais (Silva *et al.*, 2021).

Com a pressão de seleção para a produção de leite cada vez maior, o desempenho reprodutivo tem diminuído a cada geração. Em ambientes subtropicais e tropicais essa característica de subfertilidade é mais acentuada devido ao estresse térmico, como por exemplo, pela maior ocorrência de cistos foliculares, estro curto, alterações endócrinas e perdas embrionárias (Sammad *et al.*, 2020).

Os bovinos, animais homeotérmicos, mantem a temperatura corporal relativamente constante se expostos a zona de conforto térmico (Baêta e Souza 2010), que varia entre 5°C e 25°C, dependendo da região e da genética do animal (Becker *et al.*, 2020). Quando estão em ambientes quentes e/ou com exposição à radiação solar aumentam os processos de perda de calor e reduz a produção de calor metabólico, evitando o aumento da temperatura corporal interna, que leva a hipertermia. Essas respostas incluem aumento da frequência respiratória e evaporação cutânea, diminuição

na ingestão de alimento, alterações nos horários de alimentação, podendo levar a acidose ruminal. Esse distúrbio leva a laminite e claudicação diminuindo a produtividade, saúde e, com isso, compromete o bem-estar dos animais, causando interferência em indicadores físicos, comportamentais e produtivos (Broom e Molento, 2004; Broom, 2017; Lacetera, 2019).

1.4. Mecanismos de termorregulação em bovinos

1.4.1 Mecanismos fisiológicos

As respostas fisiológicas são os mecanismos autônomos ativados pelos animais sob estresse térmico para sobreviverem. Os mecanismos fisiológicos relacionados a adaptação ao estresse térmico são variações relacionadas a frequência respiratória, temperatura retal, frequência cardíaca, temperatura superficial da pele, morfologia da capa de cobertura e taxa de sudação (Rashamol *et al.*, 2018).

Para manter sua temperatura corporal constante, o calor gerado pelo metabolismo (manutenção, alimentação, exercício, crescimento, lactação, gestação) deve ser igual ao calor dissipado para o ambiente. Portanto, quando esse balanço não ocorre de forma eficiente o organismo ativa mecanismos fisiológicos (da Silva *et al.*, 1999; Maia *et al.*, 2005, Rashamol *et al.*, 2018, Becker *et al.*, 2020). Em situações de estresse térmico, os receptores de temperatura distribuídos na epiderme (frio e calor) captam sensações e enviam informações para o hipotálamo, que coordena as respostas de termolíticas e termogênicas, através de vasoconstrição ou vasodilatação, piloereção, ofegação, sudação, entre outros (Pilatti e Vieira, 2017).

As condições do pelame e do tegumento, como comprimento e diâmetro dos pelos, número de pelos por área, espessura da camada de pelos, coloração dos pelos e pigmentação da epiderme do animal demonstra a interação direta entre vaca e ambiente (Maia *et al.*, 2003; Burow *et al.*, 2013). O pelame é essencial para as trocas térmicas dos bovinos com o ambiente, as estruturas das fibras estão diretamente relacionadas a transferência de calor e proteção contra a radiação solar, atuando na capacidade do animal perder ou ganhar calor do ambiente, influenciando o isolamento térmico, a eficiência da termólise evaporativa, entre outros fatores (Bertipaglia *et al.*, 2007).

A predominância de pelame claro ou escuro influencia na tolerância do animal ao estresse (Becker *et al.*, 2020). O ideal é que o animal possua um pelame de cor clara,

com epiderme bem pigmentada, além de pelos grossos, medulados e curtos, pois essa configuração favorece a transferência de calor latente e sensível em ambientes tropicais (Maia *et al.*, 2003; Pinheiro *et al.*, 2015). Animais com maiores concentrações de melanina na epiderme possuem maior proteção contra a radiação ultravioleta (UV), podendo absorvê-la totalmente quando pigmentados de preto, porém absorvem grande quantidade de radiação e a temperatura cutânea superficial se eleva mais do que na pelagem branca (Silva *et al.*, 2001; Maia *et al.*, 2003). Os com menores concentrações podem sofrer mais devido aos efeitos da fotossensibilidade e apresentar lesões na pele devido a exposição à radiação (Ferreira *et al.*, 2017).

O calor conduzido através de cada pelo é maior do que o calor conduzido pelo ar a sua volta, devido a sua maior condutividade térmica (da Silva, 2000). Portanto, quanto mais grossos forem os pelos, maior quantidade de calor será conduzida pelo pelame do animal. O pelame preto dos bovinos holandeses tem a espessura maior que o branco, o que tornam tais características vantajosas em ambientes tropicais. Na malha branca em vacas holandesas a epiderme é despigmentada, assim a maior densidade e o maior comprimento dos pelos são utilizados como estratégia para diminuir a penetração dos raios solares na pele (Maia *et al.*, 2003). A exposição excessiva a radiação UV na epiderme dos bovinos é um importante desencadeador de neoplasias, principalmente nas regiões intertropicais (da Silva *et al.*, 2001).

Em estresse térmico, os animais tendem a diminuir a ingestão de matéria seca como forma de reduzir a produção de calor endógeno através da fermentação no rúmen (Wheelock *et al.*, 2010). Em consequência há um desbalanço metabólico no organismo do animal fazendo com que as exigências de manutenção metabólica subam de 7% a 25% dependendo da severidade do estresse segundo o National Research Council (NRC, 2001), isso devido ao maior gasto energético para manter a homeostase corporal (Bernabucci *et al.*, 2014). Com essa associação de fatores, as vacas podem apresentar um quadro de balanço energético negativo, que ocorre justamente quando a demanda energética do organismo não é suprida, levando a distúrbios metabólicos, similar ao experimentado por vacas no pós-parto (Rhoads *et al.*, 2009; Shwartz *et al.*, 2009; Becker *et al.*, 2020; Seyed Almoosavi *et al.*, 2021).

Vacas de produção acima de 30 kg de leite dia tem uma produção de calor cerca de 50% maior do que vacas não lactantes. Dessa forma, ocorre a ativação do centro de resfriamento no hipotálamo que sinaliza para o centro de saciedade medial inibir a

atividade do centro de apetite, sendo esse mecanismo o responsável pela diminuição de ingestão de matéria seca (Albright e Alliston, 1971; Baumgard e Rhoads, 2013; Becker *et al.*, 2020).

A transferência de calor que ocorre no trato respiratório envolve a mudança de estado físico da água de líquido para gasoso, ocorrendo pelo umedecimento do ar nas vias respiratórias superiores, que acontece devido ao calor latente de vaporização (Ferreira *et al.*, 2017), e caracteriza uma forma eficiente de perda de calor, desde que utilizada em curtos intervalos de tempo. Caso permaneça por horas, pode gerar problemas para o animal, como diminuição da pressão sanguínea de CO₂ e gerar um acréscimo de calor nos tecidos corporais devido à alta atividade dos músculos respiratórios. Quando um grama de água sofre evaporação pelo processo respiratório são consumidas 585 calorias, desta feita, um processo altamente eficiente (Pinheiro *et al.*, 2015). Assim, o aumento da frequência respiratória auxilia o processo de perda de calor por evaporação respiratória (Maia *et al.*, 2005; Pilatti e Vieira, 2017).

A frequência respiratória pode ser determinada visualmente pela contagem dos movimentos do flanco dos animais por um minuto, sem interferir no comportamento animal (Rashamol *et al.*, 2018). Uma taxa normal de movimentos respiratórios observados para bovinos holandeses é de em média 26 por minuto, porém se o animal está exposto a um ambiente térmico extremamente desafiador, esses movimentos podem chegar a 150 movimentos respiratórios por minuto, indicando um estresse severo (Pilatti e Vieira, 2017).

A perda de calor através da evaporação respiratória aumenta de forma linear, conforme a temperatura do ar aumenta até 20°C, quando essa temperatura ultrapassa a marca de 25°C a evaporação respiratória aumenta exponencialmente para bovinos holandeses. Em ambientes com temperatura do ar acima de 35°C as perdas de calor por convecção respiratória se tornam ineficaz, podendo ser um mecanismo de ganho de calor, pois a temperatura do ar expirado se torna maior do que a temperatura do ar do ambiente. Conforme a frequência respiratória aumenta o volume de ar corrente diminui, que é o volume de ar que circula pelas vias aéreas (Maia *et al.*, 2005).

A frequência respiratória é um dos indicadores visuais mais sensíveis de estresse térmico pelos animais, quando essa taxa passa das 60 respirações por minuto, indica que vacas em lactação estão experimentando algum nível de estresse, e quando esse valor é

maior do que 80 respirações por minuto é um indicativo de estresse severo, sendo que o pico da frequência respiratória ocorre em média uma hora após a exposição direta aos raios solares (Rashamol *et al.*, 2018, Becker *et al.*, 2020).

A temperatura retal pode ser utilizada para representar a temperatura aproximada do núcleo do animal. Assim, o aumento na temperatura retal indica que os mecanismos de termorregulação não estão sendo eficientes, e a elevação em 1°C na temperatura retal implica em perdas produtivas para os animais, sendo considerado um marcador biológico confiável para quantificar a resposta ao estresse térmico em animais (Rashamol *et al.*, 2018).

1.4.2 Mecanismos comportamentais

A etologia é a ciência que estuda o comportamento animal, suas causas e a sua função biológica (Tinbergen, 1963, Jensen, 2002). O comportamento animal é determinado pelas suas características físicas, fisiológicas e emocionais, e é influenciado pelo ambiente em que o animal está inserido, o que pode impedir a movimentação, como deitar-se, se virar e locomover e, portanto, alterar a expressão de comportamentos naturais (Broom e Molento, 2004). Dessa forma, conhecer o comportamento natural das espécies é de extrema importância para identificar situações de estresse que afetam negativamente o bem-estar dos animais (Paranhos da Costa e Costa e Silva, 2007; Coimbra *et al.*, 2012).

Os bovinos são animais gregários organizados de forma hierárquica, e podem ser classificados em dominantes, intermediários e subordinados. Essas relações são definidas e mantidas através de interações agonísticas, como por exemplo cabeçadas e empurrões, sendo que animais dominantes sempre terão prioridade de acesso aos recursos disponíveis em detrimento dos animais subordinados (Paranhos da Costa e Costa e Silva, 2007; Coimbra *et al.*, 2012; Pilatti e Vieira, 2017).

A observação do comportamento animal auxilia a identificar situações de estresses nos animais, pois os animais alteram seu padrão comportamental para ajustar suas trocas térmicas com o ambiente (Pilatti e Vieira, 2017). Os ruminantes, em especial os bovinos, são animais de hábitos diurnos, e com isso há uma maior produção de calor durante o dia em comparação com o período noturno (Becker *et al.*, 2020). Assim, vacas mudam seu comportamento em situações de estresse para favorecer seu controle térmico (Polsky e von Keyserlingk, 2017).

O tempo de repouso é essencial para a boa saúde dos animais, pois aumenta o tempo de ruminação e diminui o aparecimento de doenças de casco (Becker *et al.*, 2020). Há alterações no comportamento de descanso como no hábito de deitar-se. Em situações termoneutras, bovinos leiteiros passam entre 11 e 14 horas por dia deitados, porém esse tempo diminui com o aumento da temperatura ambiente em até 30%, a fim de aumentar a superfície de contato com o ar e diminuir o contato físico com superfícies quentes para auxiliar na dissipação de calor (Schütz *et al.*, 2011). Em condições normais, os bovinos raramente descansam em pé, e tal comportamento pode indicar comprometimento do bem-estar desses animais, das suas funções endócrinas, imunológicas e aumentar o gasto de energia (Grandin, 2016).

Quando há a oferta de recursos de sombreamento em dias quentes, os bovinos passam mais tempo utilizando esse recurso em pastagens, uma vez que esse comportamento favorece a ruminação, reduz o impacto sobre a ingestão de matéria seca, maior produção de leite e temperaturas corporais mais baixas (Vizzotto *et al.*, 2015).

A diminuição do consumo de matéria seca é responsável por 50% da redução da produção de leite, o que sugere que a divisão dos nutrientes é responsável por uma grande parcela dos efeitos deletérios do estresse térmico (Rhoads *et al.*, 2009; Wheelock *et al.*, 2010; Becker *et al.*, 2020). Analisando o perfil metabólico de vacas estressadas em comparação com vacas em homeostase, é possível notar uma diferença na concentração de ácidos graxos, sendo que os animais sob estresse apresentam menor concentração de ácidos graxos, mostrando que mesmo com a restrição alimentar elas não fazem mobilização de tecido adiposo, reforçando a resposta fisiológica de reduzir a produção de calor endógena (Shwartz *et al.*, 2009; Rhoads *et al.*, 2009; Gao *et al.*, 2017).

Apesar da hipofagia causada pelo estresse térmico, o consumo de água aumenta durante os períodos mais quentes do dia, sendo esse aumento uma das principais respostas fisiológicas dos animais ao estresse (Becker *et al.*, 2020). Em condições normais, os animais têm maior procura pela fonte de água durante a manhã, final da tarde e primeiras horas da noite (McDonald *et al.*, 2020), com um consumo total de água diário em torno de 70 a 150 litros por animal, para vacas holandesas em lactação (Golher *et al.*, 2021).

Alterações no consumo de água é de grande importância, já que esta é necessária para inúmeros processos dentro do organismo como a digestão, metabolismo de energia

e nutrientes, transporte de metabolitos e nutrientes, excreção de produtos residuais, manutenção do equilíbrio iônico e térmico, dentre outras funções (Murphy, 1992; Polsky e Von Keyserlingk, 2017). Esse aumento ocorre devido a necessidade de repor a água perdida através da evaporação cutânea, evaporação respiratória, fezes, urina e leite. Em dias com temperatura elevada esse consumo pode aumentar de 1,2kg a 2kg de água para cada grau Celsius de elevação (West, 2003; Becker *et al.*, 2020).

As vacas que apresentam comportamento dominante dentro do rebanho têm prioridade para acessar recursos de sombreamento (Deniz *et al.*, 2021). As interações agonísticas entre bovinos leiteiros estão inversamente relacionadas com a quantidade de sombra disponível, principalmente quando a carga térmica aumenta (Cardoso *et al.*, 2021). Interações agonísticas ocorrem quando há um contato agressivo de um animal com o outro, o que pode resultar em luta ou deslocamento ou fuga para evitar a agressão física (Foris *et al.*, 2019; Nogues *et al.*, 2020), as principais áreas do corpo do animal que recebem esse contato agressivo são cabeça, pescoço e flanco (Nogues *et al.*, 2020).

Os animais de baixa hierarquia social utilizam menos o recurso de sombra ou utilizam a sombra de menor qualidade, quando comparadas com animais dominantes, sendo que o maior efeito da hierarquia social ocorre durante os meses quentes do ano, principalmente no verão (Cardoso *et al.*, 2021). Mesmo com área de sombra suficiente para todos os animais, as vacas subordinadas preferem ficar ao sol próximo ao grupo do que busca o recurso de sombra em áreas mais afastadas (Deniz *et al.*, 2021).

1.4.3 Mecanismos adaptativos

A adaptação pode surgir através das gerações com modificações lentas à medida que os animais vão se adaptando as condições ambientais. Existem diversas características fenotípicas e genotípicas que podem conferir um potencial adaptativo aos animais, de forma a auxiliar que esses animais sobrevivam ao ambiente em que estão (Sejian *et al.*, 2018).

As alterações comportamentais é a primeira resposta adotada pelos animais ao ambiente estressante, como buscar recursos de sombreamento e reduzir o hábito alimentar nas horas mais quentes do dia (Shilja *et al.*, 2016).

As características do pelame são umas das respostas mais importantes na adaptação ao estresse térmico, pois interferem diretamente nos processos de

transferência de calor (Maia *et al.*, 2005a). Animais da mesma raça criados em condições térmicas distintas podem apresentar diferenças no seu pelame, como descrito por Maia *et al.* (2003), que observaram que bovinos holandeses criados no Brasil apresentavam um comprimento e densidade de pelos menor do que os animais criados na Holanda. Diferenças entre os grupos genéticos também são encontradas com animais zebuínos (*Bos taurus indicus*) apresentando maior superfície corporal favorecendo as transferências de calor, com pelos curtos, claros, com epiderme bem pigmentada, diferindo dos animais taurinos em que a epiderme acompanha a cor do pelame (da Silva *et al.*, 2003).

O aumento do diâmetro, volume, perímetro e densidade da glândula sudorípara em animais auxiliam na adaptação aos ambientes quentes, favorecendo a transferência de calor por evaporação cutânea (Rao *et al.*, 2016).

1.5 Recursos de sombreamento

O fornecimento de sombra é uma ferramenta para diminuir a exposição dos animais aos raios solares. A falta de sombreamento adequado pode comprometer a expressão de comportamentos naturais pelos animais, seus estados psicológicos e seu funcionamento biológico (Cardoso *et al.*, 2021).

A proteção da radiação solar direta proporcionada pelo uso do sombreamento é um fator importante para o conforto térmico das vacas leiteiras mantidas em pastagens em ambientes tropicais (Oliveira *et al.*, 2019). Para manter a temperatura corporal, as vacas permanecem por um maior período em áreas sombreadas na pastagem. Desta forma, animais em estresse térmico tendem a passar mais tempo deitados e reduzem sua atividade durante o dia para reduzir o gasto de energia e produção de calor metabólico (Becker *et al.*, 2021).

A oferta adequada de sombra auxilia a diminuir a temperatura corporal central e a frequência respiratória, reduzindo o gasto energético do animal para dissipar calor, e assim mantendo a homeostase, além de aumentar o tempo de pastejo e ingestão de matéria seca mantendo as exigências metabólicas e produtivas (Oliveira *et al.*, 2019). Quando não houver a disponibilidade de sombra adequada, os animais alteram a sua postura corporal ou o seu comportamento na tentativa de dissipar o calor acumulado (Becker *et al.*, 2021).

O sistema de pastejo tradicional, que em sua maioria não possui a presença de árvores, se tornou um sistema ineficiente, pois intensificou os processos de degradação da pastagem e solo, além de não promover o bem-estar animal (Balbino *et al.*, 2019; Carnevalli *et al.*, 2019). Posteriormente, com a implantação dos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), houve uma melhora nos quesitos relacionados a características do solo, mas o componente animal permanecia prejudicado devido à ausência de disponibilidade de sombra. Portanto, a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e integração pecuária-floresta (ILP), além de viabilizarem um melhor uso da terra, proporcionaram um melhor ambiente para os animais e tornaram a agropecuária uma atividade mais sustentável (Balbino *et al.*, 2019), ou seja, proporcionam renda para o produtor, sem efeitos colaterais negativos para o ambiente (Martin *et al.*, 2020).

1.5.1 Recursos de sombreamento natural

Como forma de fornecer sombreamento natural podem ser ofertadas árvores de espécies exóticas como Eucaliptos (*Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden., *Myrtaceae*) ou nativas, que depende do bioma em que a propriedade está inserida. Essas árvores promovem um microclima favorável devido as suas características como a evapotranspiração (Mós *et al.*, 2022) mantendo a umidade entre 30% e 70% sob a copa, (Teixeira *et al.*, 2022), e com a menor entrada de radiação solar sob a copa das arvores a temperatura a sombra são menores do que ao sol (Deniz *et al.*, 2020).

Características relacionadas ao formato da copa das árvores devem ser consideradas, pois, de acordo com cada formato de copa a área de sombra projetada é alterada. As espécies possuem variados formatos de copa, como: esférica, lentiforme, cilíndrica, cônica, elipsoide e cônica invertida (da Silva, 2006). O ideal para promover sombreamento em ambientes tropicais são árvores de copas altas e amplas em formato de cone invertido e com uma boa cobertura foliar durante o ano inteiro (da Silva, 2006; Teixeira *et al.*, 2022).

Nos sistemas que integram árvores na produção pecuária como os de integração pecuária-floresta (IPF) e o de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Figura 1), a escolha das árvores deve ser bem planejada para que não haja falta, que prejudica o bem-estar animal, ou excesso de sombra para não prejudicar o desenvolvimento da pastagem. A espécie mais utilizada para esse tipo de atividade é o *Eucalyptus spp.*, pois

possui uma copa cilíndrica que fornece sombra adequada para o sistema sem interferir no crescimento da pastagem (da Silva *et al.*, 2006; Mós *et al.*, 2021).

O sistema ILPF se intensificou no Brasil a partir dos anos 2000, quando a demanda madeireira cresceu e aumentou a preocupação com o bem-estar dos animais, com isso houve a introdução das árvores nos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), posteriormente mais benefícios foram observados como a proteção contra geadas, ventos e o sequestro de carbono proporcionado pelas árvores, aumentando o interesse pelo sistema (Balbino *et al.*, 2019).

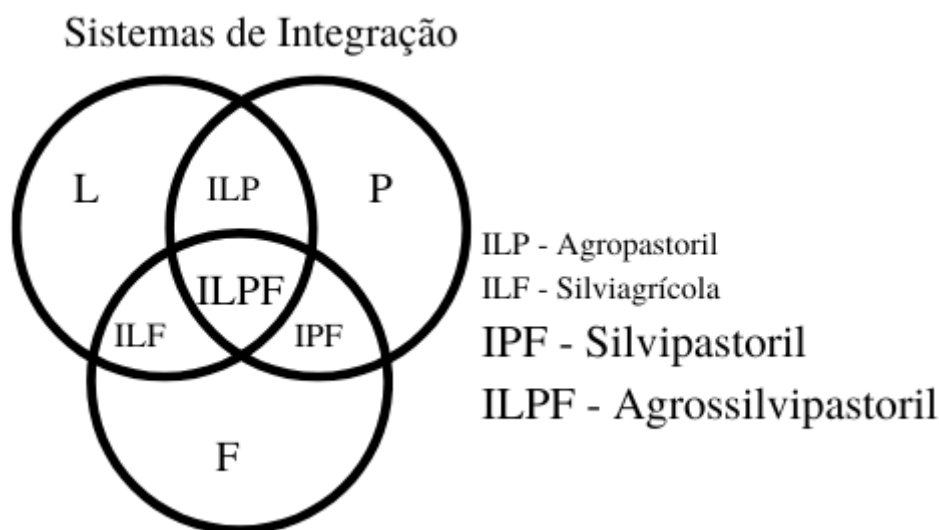


Figura 1 - Sistemas de Integração na produção agrícola, destaque para os sistemas utilizados na produção de bovinos a pasto o ILF e o ILPF. Fonte: Adaptado de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2023).

1.5.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

O sistema agrossilvipastoril consiste na integração entre lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que caracteriza uma estratégia de produção agropecuária que reúne em uma mesma área os sistemas agrícolas, pecuários e florestais. Pode ser usado diferentes técnicas na sua implantação como cultivo consorciado, quando as culturas são implantadas ao mesmo tempo, em sucessão, quando após a colheita de uma cultura é introduzida a próxima, ou em rotação, quando as duas ou mais culturas são alternadas anualmente na área. Essas estratégias visam beneficiar todas as culturas e otimizar o uso

da terra, os ciclos biológicos das plantas e dos animais e o aproveitamento de insumos, como adubos e corretivos do solo (Balbino *et al.*, 2019).

No Brasil, a maioria das pastagens oferecem situações adversas aos animais em relação ao conforto térmico, como altos níveis de radiação solar, altas temperaturas do ar e elevada umidade do ar associado com a ausência de árvores nas pastagens, e dessa forma os animais ficam expostos ao estresse térmico. Por conseguinte, o sistema ILPF é uma opção eficiente para proporcionar melhores ambientes térmicos para os animais, de forma a utilizar árvores que permitam uma passagem de radiação solar para as plantas forrageiras crescerem, mas que forneçam sombreamento adequado para os animais (Alves *et. al.*, 2019).

Os sistemas ILP e ILPF contribuem para minimizar os impactos ambientais negativos da pecuária tradicional, pois há maior sequestro de carbono e redução das emissões de metano e óxido nitroso (Valderrama, 2019), pois a biomassa das arvores faz a absorção de CO₂ durante o processo de fotossíntese (Teixeira *et al.*, 2022). Tanto as árvores como as pastagens podem auxiliar nesse processo, o crescimento e o ciclo de renovação das raízes são aspectos importantes no processo de sequestro de carbono (Valderrama, 2019).

A presença das árvores na pastagem auxilia a promover um microclima ideal para os animais, alterando o movimento das massas de ar, temperatura do ar e do solo e o nível de radiação solar que chega à superfície. O microclima é caracterizado pelas diferentes combinações de fatores atmosféricos, influenciadas pela topografia do terreno, presença de vegetação e o tipo de planta no solo (Alves *et. al.*, 2019).

As espécies utilizadas nesse sistema podem variar de acordo com as características de cada região do país. Na região dos Pampas utilizam aveia, azevem, trigo, milho, soja, Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e Pinheiro (*Pinus elliottii*); no estado do Paraná, a maior parte das arvores são Grevíleas (*Grevillea robusta*) e espécies do gênero *Eucalyptus* e eucaliptos-de-jardim (*Corymbia*). Em regiões do Cerrado e Mata Atlântica há o uso de capins de origem tropical como as Brachiarias e Panicum, com milho, soja e Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) (Balbino *et al.*, 2019). Além destas, algumas espécies nativas têm demonstrado potencial como o Pequi (*Caryocar brasiliense*), a Lobeira (*Solanum lycocarpum*), a Gomeira (*Vochysia thyrsoidea*) e a Sucupira (*Pterodon emarginatus*) (Teixeira *et al.*, 2022).

No bioma amazônico, há a utilização de mogno africano (*Khaya ivorensis*), teca (*Tectonia grandis* L.), eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) e paricá (*Schizolobium amazonicum*), agrícola, com milho e feijão-caupi; e, forrageiro, com *Brachiria ruziziensis*. Na Caatinga é utilizado espécies de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill ou *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), Angico (*Anadenanthera colubrina*), Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart), milho, gramíneas e leguminosas forrageiras adaptadas ao Semiárido (Balbino *et al.*, 2019).

1.5.3 Sistema de Integração Pecuária-Floresta (IPF)

Os sistemas de produção que integram árvores como os silvipastoris (IPF) tendem a diminuir a carga térmica que os animais recebem por estarem protegidos sob a sombra das árvores. Dessa forma, auxilia na mitigação do estresse térmico dos animais, além de favorecer uma melhor distribuição dos animais na área de pastagem, porém para esses efeitos benéficos acontecerem a quantidade de sombra deve ser suficiente para abrigar todos os animais simultaneamente (Deniz *et al.*, 2020).

Dentro dos piquetes as áreas de sombra são mais atraentes para os animais, pois essas apresentam uma redução térmica entre 23% e 26% em relação as áreas expostas a radiação solar direta, e o contato com regiões mais frias favorecem as trocas de calor por condução (Deniz *et al.*, 2020; Deniz *et al.*, 2021). A área de sombra por animal em sistemas silvipastoris pode ser calculada por equações a fim de se obter a área de sombra suficiente para todos os animais, uma vez que, os bovinos são animais gregários e possuem hierarquia, o que influencia o comportamento do indivíduo dentro do grupo, como o uso da sombra (Deniz *et al.*, 2021).

1.5.4 Recursos de sombreamento artificial

O sombreamento artificial é recomendado quando o sombreamento natural não está disponível (Mós *et al.*, 2022). Contudo, algumas estruturas podem ser usadas para fornecer sombra aos animais de forma artificial, podendo ser usado diferentes tipos de materiais, como as telas de polipropileno, telas aluminizadas e vedação plástica para neve. Algumas características devem ser levadas em consideração, como a eficácia do material em fornecer sombra, resposta do animal ao tipo de cor do material, a capacidade do material de resistir ao clima e o custo da sombra, que considera o custo do material de sombreamento junto com a construção da estrutura de sustentação (Brown-Brandl *et al.*, 2017).

Os materiais mais comuns para promover sombra são as telas de polipropileno preto, por possuírem baixo custo (Mós *et al.*, 2022), e dependendo do tipo de malha podem bloquear entre 30% e até 100% de radiação solar (Oliveira *et al.*, 2019). Porém a coloração preta das telas em ambientes tropicais com alta quantidade de radiação no ambiente, faz com que as telas absorvam grande quantidade de energia e depois transfiram para as estruturas e/ou animais que estão abaixo, deixando a temperatura da sombra similar a temperatura das áreas expostas ao sol (Mós *et al.*, 2022).

Bovinos leiteiros preferem estruturas de sombreamento que proporcionam maior proteção contra radiação solar, assim o uso da tela de polipropileno de 100% de bloqueio da radiação solar é benéfico para vacas leiteiras, pois os animais passam mais tempo deitados descansando nessas áreas quando comparado com tela de bloqueio de apenas 30% (Oliveira *et al.*, 2019).

Outros materiais e estruturas tem sido utilizada para promover sombra para os animais de forma eficiente e com qualidade, principalmente em ambientes tropicas, como as telas refletoras (Mós *et al.*, 2022) e os painéis fotovoltaicos (Maia *et al.*, 2020; Sharpe *et al.*, 2021; Faria *et al.*, 2023).

As telas refletoras possuem coloração mais clara, tom perolado, e tem alta capacidade de refletir os raios solares, essas telas refletoras são formadas por mantas entrelaçadas com fitas aluminizadas que refletem parte da radiação. Essas telas possuem diversas aplicações e na criação animal são capazes de reduzir a amplitude térmica, ou seja, a variação de temperatura, e sua capacidade de refletir a luz ajuda a promover uma sombra uniforme como o Aluminet® (Ginegar Polysack) que possui 80% de bloqueio de radiação solar é capaz de reduzir a carga térmica radiante em até 16% (Mós *et al.*, 2022).

O uso da combinação de telas se mostrou uma alternativa interessante em estudos realizados por Mós *et al.* (2022) com matrizes suínas criadas em sistemas ao ar livre promovendo uma qualidade de sombra superior aos materiais comumente utilizados nas fazendas para promover sombreamento. Com essa premissa este trabalho visou testar o mesmo conceito aplicado a bovinos leiteiros.

1.6 Referências

- Albright, J., and C. Alliston. 1971. Effects of varying the environment upon the performance of dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 32:566–577. <https://doi.org/10.2527/jas1971.323566x>
- Alves, F. V., Porfírio-da-Silva, V., Karvatte Juíniior, N. (2019). Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. de; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 208-223p.
- Anjos, A. J. dos, Freitas, C. A. S. de, Coutinho, D. N., Mata e Silva, B. C. da, Sena, H. P. de, Soares, B. B., Pires, C. de P., & Freitas, R. L. de. (2020). Estratégias de manejo do pastejo para produção intensiva de leite em pastos tropicais. *Pubvet*, 14(11), 1–12. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n11a693.1-12>
- Atrian, P., and H. A. Shahryar. 2012. Heat stress in dairy cows (A review). *J. Zool. (Lond.)* 2:31–37
- Azevêdo, D. M. M. R., Alves, A. A. (2009). Bioclimatologia Aplicada à Produção de Bovinos Leiteiros nos Trópicos. www.cpamn.embrapa.
- Bacchi, M. D., Almeida, A. N., & Telles, T. S. (2022). Spatio-temporal dynamics of milk production in Brazil. *Semina:Ciencias Agrarias*, 43(1), 241–261. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p241>
- Balbino, L. C.; Kichel, A. N.; Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. (2019). Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. de; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 32-48p.
- Baumgard, L. H., and R. P. Rhoads Jr. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1:311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
- Becker, C. A., Aghalari, A., Marufuzzaman, M., & Stone, A. E. (2021). Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 501–524. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18653>
- Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 103, Issue 8, pp. 6751–6770). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>

- Bernabucci, U., S. Biffani, L. Buggiotti, A. Vitali, N. Lacetera, and A. Nardone. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97:471–486. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6611>.
- Bertipaglia, E. C. A., Silva, R. G. D., Cardoso, V., & Maia, A. S. C. (2007). Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de características do pelame e de desempenho reprodutivo de vacas holandesas em clima tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 350-359.
- Bianchi, R. M., Schwertz, C. I., de Cecco, B. S., Panziera, W., de Lorenzo, C., Heck, L. C., Snel, G. G. M., Lopes, B. C., da Silva, F. S., Pavarini, S. P., & Driemeier, D. (2019). Pathological and microbiological characterization of mastitis in dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 51(7), 2057–2066. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01907-0>
- Brambell, F. W. R. (1965). Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. (Command Rep. 2836). London: Her Majesty's Stationery Office.
- Broom, D. (2017). Animal Welfare in the European Union - Study for the Peti Committee. *Directorate General For Internal Policies EU*, 78. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/583114/IPOL_STU\(2017\)583114_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/583114/IPOL_STU(2017)583114_EN.pdf)
- Broom, D. M. (1986). Indicators of poor welfare. *British veterinary journal*, 142(6), 524-526.
- Broom, D. M., & Molento, C. F. M. (2004). Bem-Estar Animal: Conceito E Questões Relacionadas – Revisão. *Archives of Veterinary Science*, 9(2), 1–11. <https://doi.org/10.5380/avs.v9i2.4057>
- Broom, D. M., Johnson, K. G., & Broom, D. M. (1993). *Stress and animal welfare* (Vol. 993). London: Chapman & hall.
- Brown-Brandl, T. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Braz. J. Anim. Sci.* pg 47, 1–9.
- Brown-Brandl, T. M., Chitko-Mckown, C. G., Eigenberg, R. A., Mayer, J. J., Welsh, T. H., Davis, J. D., & Purswell, J. L. (2017). Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal*, 11(8), 1344–1353. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002664>

- Brown-Brandl, T. M., Chitko-Mckown, C. G., Eigenberg, R. A., Mayer, J. J., Welsh, T. H., Davis, J. D., & Purswell, J. L. (2017). Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal*, *11*(8), 1344–1353. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002664>
- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G. H., Pitt, D., Thatcher, W. W., & Collier, R. J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, *24*(3), 711-0714.
- Burow, E., Rousing, T., Thomsen, P. T., Otten, N. D., & Sorensen, J. T. (2013). Effect of grazing on the cow welfare of dairy herds evaluated by a multidimensional welfare index. *Animal*, *7*(5), 834–842. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002297>
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., Betts, R., Falloon, P., Wiltshire, A., & Tol, R. S. J. (2013). Climate change impacts on global agriculture. *Climatic Change*, *120*(1–2), 357–374. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0822-4>
- Camargo, M. G., Furlan, M. M. D. P. (2011). The body's physiological response to high temperatures: exercise, temperature extremes and thermal diseases. *Revista Saúde e Pesquisa*, v. 4, n. 2, p. 278-288 - ISSN 1983-1870
- Cardoso, C. S., von Keyserlingk, M. A. G., Machado Filho, L. C. P., & Hötzel, M. J. (2021). Dairy heifer motivation for access to a shaded area. *Animals*, *11*(9).
- Carnevalli, R. A., Coleti, A. J., Tonini, H., Silva, A. B., Giustina, C. D., Lulu, J. (2019). Princípios da pecuária leiteira em sistemas de ILPF. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. de; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 226-240p.
- Coimbra, P.A.D., Machado Filho, L.C.P., Hotzel, M.J., 2012. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* *139*, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.009>.
- Costa, C. C. M., Maia, A. S. C., Nascimento, S. T., Nascimento, C. C. N., Neto, M. C., & Fonsêca, V. F. C. (2018). Thermal balance of Nellore cattle. *International Journal of Biometeorology*, *62*(5), 723–731. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1349-6>
- Da Costa, D. F.; Souto, D. V. O.; Rocha, E. F.; Guimarães, L. J.; Silva, M.R.; Souza, B. B.; Silva, G. A. (2015). Influência do estresse calórico na fisiologia hormonal de bovinos. *ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido*, v.11, n 2, p 34-38.

- Da Silva, R. G. (1999). Estimativa do Balanço Térmico por Radiação em Vacas Holandesas Expostas ao Sol e à Sombra em Ambiente Tropical. *Rev. bras. zootec.*, v.28, n.6, p.1403-1411.
- Da Silva, R. G. (2000). Introduction to animal bioclimatology. *Nobel, São Paulo, Brazil (in Portuguese, with abstract in English)*.
- Da Silva, R. G. D. (2006). Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Engenharia Agrícola*, 26, 268-281.
- da Silva, R. G., & Maia, A. S. C. (2013). *Principles of animal biometeorology* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Da Silva, R. G., Maia, A. S. C., de Macedo Costa, L. L., & de Queiroz, J. P. A. F. (2012). Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. *International Journal of Biometeorology*, 56(5), 927–932. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0501-y>
- Da Silva, R.G., La Scala Jr, N., Pocay, P. L. B. (2001). *Transmissão de Radiação Ultravioleta Através do Pelame e da Epiderme de Bovinos*. *Rev. bras. zootec.*, 30(6):1939-1947.
- Daltro, A. M., Bettencourt, A. F., Ximenes, C. A. K., Daltro, D. dos S., & Pinho, A. P. dos S. (2020). Efeito do estresse térmico por calor na produção de vacas leiteiras. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 26(1), 288–311. <https://doi.org/10.36812/pag.2020261288-311>
- De Masi, R. F., Ruggiero, S., Tariello, F., & Vanoli, G. P. (2021). Passive envelope solutions to aid design of sustainable livestock buildings in Mediterranean climate. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127444.
- De Rensis, F., I. Garcia-Ispuerto, and F. López-Gatius. 2015. Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology* 84:659–666.
- Deniz, M., de Sousa, K. T., Moro, M. F., Vale, M. M. do, Dittrich, J. R., Machado Filho, L. C. P., & Hötzel, M. J. (2021). Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Applied Animal Behaviour Science*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467>
- Deniz, M., Schmitt Filho, A. L., Hötzel, M. J., de Sousa, K. T., Pinheiro Machado Filho, L. C., & Sinisgalli, P. A. (2020). Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *International*

Journal of Biometeorology, 64(11), 1877–1887. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>

Dikmen, S., Khan, F. A., Huson, H. J., Sonstegard, T. S., Moss, J. I., Dahl, G. E., & Hansen, P. J. (2014). The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 97(9), 5508–5520. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8087>

dos Santos, M. M., Souza-Junior, J. B. F., Dantas, M. R. T., & de Macedo Costa, L. L. (2021). An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 30471–30485. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>

Duncan, I. J. H. (1981). Animal Rights – Animal Welfare: A Scientist's Assessment. *Poultry Science*, 60(3), 489–499. <https://doi.org/10.3382/ps.0600489>

Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA. Gado do Leite – Importância Econômica Disponível em <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/importancia.html> Acesso em: 10 fev. 2023.

Faria, A. F. P. A., Maia, A. S. C., Moura, G. A. B., Fonsêca, V. F. C., Nascimento, S. T., Milan, H. F. M., & Gebremedhin, K. G. (2023). Use of Solar Panels for Shade for Holstein Heifers. *Animals*, 13(3), 329. <https://doi.org/10.3390/ani13030329>

FAWC, Farm Animal Welfare Council. (1993). Second report on priorities for research and development in farm animal welfare." *Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Devolved Administrations. United Kingdom.*

Ferraz, P. F. P., Ferraz, G. A. e. S., Leso, L., Klopčič, M., Barbari, M., & Rossi, G. (2020). Properties of conventional and alternative bedding materials for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8661–8674. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18318>

Ferreira, I. C.; Martins, F. M.; Neto, A. M. F.; Cumpa, H. C. B. (2017). Conforto térmico em bovinos leiteiros a pasto. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023). FAOSTAT. Retrieved from <http://www.fao.org>

Foris, B., Zebunke, M., Langbein, J., & Melzer, N. (2019). Comprehensive analysis of affiliative and agonistic social networks in lactating dairy cattle groups. *Applied Animal Behaviour Science*, 210, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.10.016>

- Frigeri, K. D. M., Deniz, M., Damasceno, F. A., Barbari, M., Herbut, P., & Vieira, F. M. C. (2023). Effect of Heat Stress on the Behavior of Lactating Cows Housed in Compost Barns: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 13(4), 2044. <https://doi.org/10.3390/app13042044>
- Gao, S. T., Guo, J., Quan, S. Y., Nan, X. M., Fernandez, M. V. S., Baumgard, L. H., & Bu, D. P. (2017). The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 5040–5049. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11913>
- Golher, D. M., Patel, B. H. M., Bhoite, S. H., Syed, M. I., Panchbhai, G. J., & Thirumurugan, & P. (2021). *Factors influencing water intake in dairy cows: a review*. International Journal of Biometeorology. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02038-0>
- Grandin, T. (2016). Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. In *Veterinary and Animal Science* (Vols. 1–2, pp. 23–28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2016.11.001>
- Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). Produção de leite. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br> Acesso em: 10 fev. 2023.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for policymakers. Pages 1–29 in *Climate Change 2022: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom.
- Jensen P. (2002) *The Study of Animal Behaviour and its Applications*. The ethology of domestic animals: an introductory text. CABI Publishing, Londres, pp 3-11
- Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R. (2001). The Evolution of Climate Over the Last Millennium. *Science*, 292(5517):662-667
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review a a. In *Livestock Production Science* (Vol. 77). www.elsevier.com/locate/livprodsci
- Krueger, A., Cruickshank, J., Trevisi, E., & Bionaz, M. (2020). Systems for evaluation of welfare on dairy farms. *Journal of Dairy Research*, 87(S1), 13-19.

- Lacetera, N. (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*, 9(1), 26–31. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Maia, A. S. C., Culhari, E. de A., Fonsêca, V. de F. C., Milan, H. F. M., & Gebremedhin, K. G. (2020). Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120551>
- Maia, A. S. C., Moura, G. A. B., Fonsêca, V. F. C., Gebremedhin, K.G., Milan, H. M., Chiquitelli Neto, M., Simão, B. R., Campanelli, V. P. C, Pacheco, R. D. L. (2023). Economically sustainable shade design for feedlot cattle. *Frontiers in Veterinarian Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1110671>
- Maia, A. S. C., Silva, R. G. D., & Loureiro, C. M. B. (2008). Latent heat loss of Holstein cows in a tropical environment: a prediction model. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1837-1843.
- Maia, A. S. C., Silva, R. G., Loureiro, C. M. B. (2005). Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, 49(5), 332–336. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0244-0>.
- Maia, A. S.C., DaSilva, R. G., & Loureiro, C. M. B. (2005). Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, 49, 332-336.
- Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., Destruel, M., Dumont, B., Grillot, M., Hübner, S., Magne, M. A., Moerman, M., Mosnier, C., Parsons, D., Ronchi, B., Schanz, L., Steinmetz, L., Werne, S., Winckler, C., & Primi, R. (2020). Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. In *Agricultural Systems* (Vol. 181). Elsevier Ltd.
- McDonald, P. v., von Keyserlingk, M. A. G., & Weary, D. M. (2020). Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3447–3458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17456>
- Mench, J. A. (1998). Thirty years after Brambell: whither animal welfare science?. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 1(2), 91-102.
- Molento, C. F. M. (2006). Repensando as cinco liberdades. *Curitiba: LABEA–UFPR*.
- Mós, J. V. N., Teixeira, B. E., Murata, L. S., dos Santos, V. M., de Oliveira, E. M., Steidle Neto, A. J., & Nascimento, S. T. (2022). Thermal comfort provided by different shading structures in free-range systems in Brazilian savanna. *International Journal of Biometeorology*, 66(3), 535–544. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02214-w>

Murphy, M. R. 1992. Symposium: Nutritional factors affecting animal water and waste quality: Water metabolism of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 75:326–333. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77768-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77768-6).

National Research Council. (2000). Nutrient requirements of dairy cattle: 2001.

Nogues, E., Lecorps, B., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. G. (2020). Individual variability in response to social stress in dairy heifers. *Animals*, 10(8), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ani10081440>

Oliveira, S. E. O., de Melo Costa, C. C., Chiquitelli Neto, M., Dalla Costa, F. A., & Maia, A. S. C. (2019). Effects of shade location and protection from direct solar radiation on the behavior of Holstein cows. *International Journal of Biometeorology*, 63(11), 1465–1474. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01747-5>

Papageorgiou, M., & Simitzis, P. E. (2022). Positive Welfare Indicators in Dairy Animals. *Dairy*, 3(4), 814–841. <https://doi.org/10.3390/dairy3040056>

Pilatti, J. A., & Vieira, F. M. C. (2017). Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 5(3), 97–105. <https://doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v5n3p97-105>

Paranhos da Costa, M. J. R.; Costa e Silva, E. V. (2007). Aspectos básicos do comportamento social de bovinos. *Rev Bras Reprod Anim*, Belo Horizonte, v.31, n.2, p.172-176.

Pinheiro, A. C.; Saraiva, E. P.; Saraiva, C. A. S.; Fonseca, V. F. C.; Almeida, M. E. V.; Santos, S. G. G. C.; Amorim, M. L. C. M.; Neto, P. J. R. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical, *Revista AGROTEC*. v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015.

Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>.

Rao, G. P., & Sejian, V. (2016). Climate Change Impacts in Livestock Sector. *International Journal of Economic Plants*, 3(1), 8-12.

Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., & Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62–71. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>

- Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A., & Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, *92*(5), 1986–1997. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641>
- Sammad, A., Wang, Y. J., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B., & Wang, Y. (2020). Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: Consequences and opportunities. In *Animals* (Vol. 10, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani10050793>
- Schüller, L. K., Burfeind, O., & Heuwieser, W. (2014). Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, *81*(8), 1050–1057. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.029>
- Schütz, K. E., Rogers, A. R., Cox, N. R., Webster, J. R., & Tucker, C. B. (2011). Dairy cattle prefer shade over sprinklers: Effects on behavior and physiology. *Journal of Dairy Science*, *94*(1), 273–283. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3608>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, *12*(s2), s431-s444.
- Seyed Almoosavi, S. M. M., Ghoorchi, T., Naserian, A. A., Khanaki, H., Drackley, J. K., & Ghaffari, M. H. (2021). Effects of late-gestation heat stress independent of reduced feed intake on colostrum, metabolism at calving, and milk yield in early lactation of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *104*(2), 1744–1758. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19115>
- Sharpe, K. T., Heins, B. J., Buchanan, E. S., & Reese, M. H. (2021). Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. *Journal of Dairy Science*, *104*(3), 2794–2806. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18821>
- Shields, S., & Orme-Evans, G. (2015). The impacts of climate change mitigation strategies on animal welfare. In *Animals* (Vol. 5, Issue 2, pp. 361–394). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani5020361>
- Shilja, S., Sejian, V., Bagath, M., Mech, A., David, C. G., Kurien, E. K., ... & Bhatta, R. (2016). Adaptive capability as indicated by behavioral and physiological responses, plasma HSP70 level, and PBMC HSP70 mRNA expression in Osmanabadi goats

subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *International Journal of Biometeorology*, *60*, 1311-1323.

Shwartz, G., M. L. Rhoads, M. J. VanBaale, R. P. Rhoads, and L. H. Baumgard. 2009. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* *92*:935–942. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1496>.

Tao, S., Orellana Rivas, R. M., Marins, T. N., Chen, Y. C., Gao, J., & Bernard, J. K. (2020). Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, *150*, 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>

Teixeira, B. E., Nascimento, S. T., Mós, J. V. do N., de Oliveira, E. M., dos Santos, V. M., Maia, A. S. C., Fonsêca, V. de F. C., Passos, B. M., & Murata, L. S. (2022). The potential of natural shade provided by Brazilian savanna trees for thermal comfort and carbon sink. *Science of the Total Environment*, *845*(July). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157324>

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, *12*(2), 57-61.

Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of Ethology. *Ethology international journal of behavioural biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1963.tb01161.x>

Treichler, B. (2020). Emerging topics in dairy cattle welfare: Perspective for progressive practitioners. In *AABP ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS* (Vol. 53, Issue 2).

Turnpenny, J. R., Wathes, C. M., Clark, J. A., & McArthur, A. J. (2000). Thermal balance of livestock. 2. Applications of a parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, *101*(1), 29–52. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00157-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00157-4)

Valderrama, L. A. G. (2019). Sistemas Silvipastoris na Colômbia. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. de; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (Ed.). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília, DF: Embrapa, 754-786p.

van Eerdenburg, F. J. C. M., di Giacinto, A. M., Hulsen, J., Snel, B., & Stegeman, J. A. (2021). A new, practical animal welfare assessment for dairy farmers. *Animals*, *11*(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ani11030881>

Vizzotto, E. F., Fischer, V., Thaler Neto, A., Abreu, A. S., Stumpf, M. T., Werncke, D., Schmidt, F. A., & McManus, C. M. (2015). Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, *9*(9), 1559–1566. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000877>

West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* *86*:2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

- Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., & Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *93*(2), 644–655. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
- Yamaguchi, L. C. T.; Martins, P. C.; Carneiro, A. V. (2001). Produção de leite no Brasil nas três últimas décadas. In: Gomes, A. T.; Leite, J. L. B.; Carneiro, A. V. (Ed.). O agronegócio do leite no Brasil. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p. 33-48.

II – OBJETIVO GERAL

O Objetivo geral deste trabalho foi avaliar a eficiência de uma estrutura de sombreamento artificial composta pela associação entre tela refletora e de polipropileno e seu efeito sobre variáveis meteorológicas, fisiológicas e comportamentais de vacas de leite.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar as características microclimáticas de uma estrutura de sombreamento artificial para vacas de leite em pastagem composta pela associação entre tela refletora e de polipropileno;
- Avaliar as características microclimáticas do sombreamento natural para vacas de leite em pastagem;

- Comparar a eficiência microclimática do sombreamento artificial composto pela associação entre tela refletora e de polipropileno com o sombreamento natural;
- Estudar as respostas fisiológicas e comportamentais de vacas holandesas relacionadas a oferta de recursos de sombreamento natural ou artificial.

III - CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO SOMBREAMENTO NATURAL E ARTIFICIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE VACAS HOLANDESAS

Jardel Perrud Barcelos¹, Sheila Tavares Nascimento²

¹ Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, UEM/Maringá

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, UEM/Maringá

O artigo será submetido a revista *International Journal of Biometeorology*

RESUMO: Neste trabalho objetivou-se avaliar as condições microclimáticas do sombreamento natural promovido por Ipês (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos), e de uma estrutura de sombreamento artificial caracterizada pela associação de uma tela aluminizada na face externa e uma tela de polipropileno preta na face interna e seus efeitos sobre as respostas fisiológicas e comportamentais de vacas da raça holandesas mantidas a pasto em clima tropical. O experimento foi conduzido no Setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá entre os meses de março e julho de 2022. Dois piquetes do setor foram utilizados, sendo um com a presença das árvores e outro com árvores e a estrutura de sombreamento artificial. Oito vacas multíparas foram avaliadas durante 20 dias não consecutivos, sendo selecionadas de acordo com a predominância de coloração do pelame (pelo menos 60% do corpo): quatro com pelame predominantemente branco (60% do corpo) e quatro com pelame predominantemente preto. Os animais foram divididos de forma aleatória em dois grupos compostos por quatro animais cada. Os dias experimentais foram classificados em muito quentes, com radiação acima de 625 W.m⁻²; dias quentes, com radiação entre 300 e 625 W.m⁻²; e dias nublados abaixo de 300W.m⁻². Os dados meteorológicos e fisiológicos foram submetidos a análise de variância pelo método dos quadrados mínimos e as médias desdobradas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados comportamentais foram analisados por meio de análise de frequência e teste do qui-quadrado a 5% de probabilidade. A partir dos dados obtidos, foram calculados índices de conforto térmico como a Temperatura Radiante Média (TRM, °C), a Carga Térmica Radiante (CTR, W.m⁻²) e o Índice de Temperatura Globo e Umidade (ITGU). A Temperatura Radiante Média para o sombreamento

artificial foi menor para todos os dias ($P<0.05$) com valores inferiores a 30°C durante as horas do dia. A Carga Térmica Radiante também foi menor sob a estrutura de sombreamento artificial independentemente dos dias ($P<0.05$) com valores abaixo de $470\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ durante o dia. O sombreamento artificial através da associação das telas pela comparação microclimática com o recurso de sombreamento natural teve maior eficiência ($P<0.05$) em reduzir a TRM e a CTR para todos os dias e o ITGU para os dias quentes e muito quentes. E não alterou ($P>0.05$) o consumo de água e a frequência respiratória para os dias observados. Embora a variação comportamental ($P<0.05$) tenha sido observada, esses resultados estão relacionados a diferença no padrão de pelagem. Os animais com predominância de pelame preto pastejam nas primeiras horas da manhã e buscam proteção conforme os índices de conforto térmico se elevam.

Palavras-Chave: Ambiência, Bovinos leiteiros, Clima tropical, Pelame

ABSTRACT This study aimed to evaluate the microclimatic conditions of natural shade provided by Ipê trees (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos) and an artificial shade structure characterized by the association of an aluminized net on the outside and a black polypropylene net on the inside separated by 15 cm, and its effects on the physiological and behavioral responses of Holstein cows grazing in a tropical climate. The experiment was conducted in the Dairy Cattle Sector of the Fazenda Experimental de Iguatemi of the Universidade Estadual de Maringá between March and July 2022. Two paddocks of the sector were used, one with the presence of trees and the other with trees and the artificial shading structure. Eight multiparous cows were evaluated during 20 non-consecutive days. They were selected according to the predominant coat color (at least 60% of the body): four with predominantly white coat (60%) and four with predominantly black coat. The animals were randomly divided into two groups consisting of four animals each. The experimental days were classified as very hot days with radiation above 625 W.m^{-2} , hot days with radiation between 300 and 625 W.m^{-2} , and cloudy days below 300 W.m^{-2} . The meteorological and physiological data were submitted to analysis of variance by the method of least squares, and the means were split by the Tukey test at 5% probability. The frequency analysis and chi-square test analyzed behavioural data at 5% probability. We calculated thermal comfort indexes from the data obtained, such as Mean Radiant Temperature (MRT, °C), the Radiant Heat Load (RHL, W.m^{-2}) and the Globe Temperature and Humidity Index (GTHI). Mean Radiant Temperature for artificial shading was lower for all days ($P < 0.05$), with values below 30°C during daylight hours. The Radiant Heat Load was also lower under the artificial shading structure regardless of days ($P < 0.05$) with values below 470 W.m^{-2} during the daytime. The artificial shading through the association of nets by microclimate comparison with the natural shading resource had greater efficiency ($P < 0.05$) in reducing the TMR and RHL for all days and the BGHI for the hot and very hot days. And it did not change ($P > 0.05$) water intake and respiratory rate for the observed days. Although behavioral variation ($P < 0.05$) was observed, these results are related to the difference in coat pattern of the animals. Because animals with predominantly black coats grazing in the early morning hours and seeking comfort protection, thermal comfort indexes are higher.

Keywords: Ambience, Dairy cattle, Hair Coat, Tropical climate

INTRODUÇÃO

O ambiente térmico representa um grande desafio para animais criados em pastagens em ambientes tropicais (da Silva *et al.*, 2012), devido à combinação entre elevados níveis de radiação e temperatura do ar. Em regiões tropicais, os níveis de radiação solar podem ultrapassar os 1000 W.m^{-2} , e estudos prévios demonstraram que vacas holandesas procuram por recursos de sombreamento quando este elemento ultrapassa os 500 W.m^{-2} (Oliveira *et al.*, 2019). A fim de classificar os diferentes padrões de dias, Maia *et al.* (2023) descreveram um índice (*InComfort Index*) para ambiente tropical considerando a correlação entre respostas fisiológicas e elementos meteorológicos, classificando os dias entre: nublados, chuvosos, quentes ou muito quentes.

Elevados níveis de radiação de ondas curtas combinados à temperatura do ar acima de 25°C implicam em temperaturas radiante médias superiores a temperatura corporal dos animais, e estes ganham energia térmica do ambiente (da Silva *et al.*, 2012). Desta forma, o animal sofre mudanças nos seus mecanismos fisiológicos, como elevação da frequência respiratória, temperatura corporal, batimentos cardíacos e taxa de sudorese (Pinheiro *et al.*, 2015; Maia *et al.*, 2015).

Os bovinos são animais de hábito majoritariamente diurno, ficando expostos a ambientes térmicos desafiadores (Becker *et al.*, 2020). O comportamento de deitar-se e descansar é essencial para a boa saúde dos bovinos, visto que em condições termoneutras, os bovinos passam entre 11 e 14 horas em repouso e raramente descansam em pé (Schütz *et al.*, 2011; Grandin, 2016).

As condições do pelame e do tegumento do animal demonstra a interação direta entre vaca e o ambiente a sua volta (Burow *et al.*, 2013). O pelame é essencial para as trocas térmicas dos bovinos com o ambiente, as estruturas físicas das fibras estão diretamente relacionadas a transferência de calor e proteção contra a radiação solar, atuando na capacidade do animal perder ou ganhar calor do ambiente (Bertipaglia *et al.*, 2007). A predominância de pelos claros ou escuros influenciam na tolerância do animal ao estresse (Becker *et al.*, 2020). O ideal é que o animal possua um pelame de cor clara, com epiderme bem pigmentada, além de pelos grossos, medulados e curtos, pois essa configuração favorece a transferência de calor latente e sensível em ambientes tropicais (Maia *et al.*, 2003; Pinheiro *et al.*, 2015).

Animais em condições de estresse térmico diminuem o consumo de matéria seca, mas o consumo de água aumenta durante os períodos mais quentes do dia, sendo esse aumento uma das principais respostas fisiológicas dos animais ao estresse (Becker *et al.*, 2020).

Dessa forma é de extrema importância fornecer recursos para os animais se protegerem de condições ambientais adversas (Cardoso *et al.*, 2021). A proteção da radiação solar direta proporcionada pelo uso do sombreamento é um fator importante para manter o conforto térmico das vacas leiteiras mantidas em pastagens em ambientes tropicais (Oliveira *et al.*, 2019).

O sombreamento artificial é recomendado quando o sombreamento natural não está disponível (Mós *et al.*, 2022), assim, algumas estruturas podem ser usadas para fornecer sombra aos animais de forma artificial, podendo ser usado diferentes tipos de materiais, porém algumas características devem ser levadas em consideração como a eficácia do material em fornecer sombra, resposta do animal ao tipo de cor do material, a capacidade do material de resistir ao clima e o custo da sombra (Brown-Brandl *et al.*, 2017).

As telas refletoras possuem coloração mais clara, tom perolado, e tem alta capacidade de refletir os raios solares, essas telas refletoras são formadas por mantas entrelaçadas com fitas aluminizadas que refletem parte da radiação. Essas telas possuem diversas aplicações e na criação animal são capazes de reduzir a amplitude térmica, ou seja, a variação de temperatura, e sua capacidade de refletir a luz ajuda a promover uma sombra uniforme como o Aluminet® (Ginegar Polysack) que possui 80% de bloqueio de radiação solar é capaz de reduzir a carga térmica radiante em até 16% (Mós *et al.*, 2022). O trabalho conta com a hipótese que a combinação das telas forneça um sombreamento com condições similares ao das árvores. Com isso o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de uma estrutura de sombreamento artificial composta pela associação entre tela refletora e de polipropileno e seu efeito sobre variáveis meteorológicas, fisiológicas e comportamentais de vacas de leite.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e Estruturas de Sombreamento

O experimento foi conduzido durante 20 dias não consecutivos entre os meses de março e julho de 2022 no setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual de Maringá - UEM, PR, Brasil, com coordenadas geográficas (23° 55' S, 52°07' O) e altitude de 338 m (Figura 1a).



Figura 1 - a) Setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM); b) Piquetes do setor utilizados durante o experimento. Fonte: Imagem aérea cedida pelo GESF – Grupo de Estudo em Silagem e Feno da Universidade Estadual de Maringá.

O padrão climático de Maringá, a partir do subtipo do sistema climático de Köppen-Geiger, é "Cfa", classificado como subtropical úmido (Alvares *et al.*, 2013).

As coletas foram realizadas entre 09:00h e 16:00h. Foram utilizados dois piquetes de dimensões similares, com área média correspondente a 3521 m² (Figura 1b). Em ambos os piquetes há a presença de Ipês (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos), árvores utilizadas como recursos de sombreamento natural, devido sua presença em todo o Brasil (IUCN, 2019). Em apenas um deles foi instalado uma estrutura de sombreamento artificial. Os ipês apresentavam altura média de 15m de altura, promovendo uma área de sombra média ao longo do dia de 10m² por animal.

A estrutura de sombreamento artificial utilizada foi construída a partir dos resultados de Mós *et al.* (2022), a partir da associação entre dois materiais de tela: a tela superior composta por material aluminizado (Aluminet®, Ginegar); e a inferior, composta por tela de polipropileno preto com 80% de bloqueio da radiação (Polysombra®, Ginegar). Adotou-se uma distância de 15 cm entre elas, a uma altura de

2,5m do solo. A estrutura foi dimensionada de forma a proporcionar uma área mínima de 4 m² de sombra por animal (Oliveira *et al.*, 2019) (Figura 2).



Figura 2 – Estrutura de sombreamento artificial composta por uma tela superior aluminizada e tela inferior de polipropileno preta construída no setor de Bovinocultura Leiteira da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Brasil. Fonte: Arquivo pessoal

A estrutura de sombreamento foi projetada de forma com que a sombra permanecesse sempre projetada dentro do piquete, independente do horário avaliado (Figura 3).

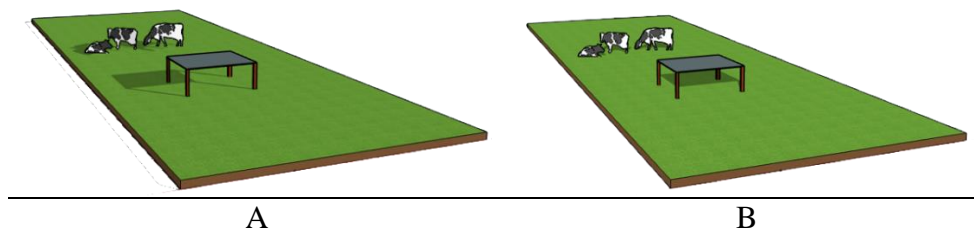


Figura 3 – Estrutura de sombreamento artificial desenvolvida para a pesquisa. Demonstra-se a projeção do sombreamento artificial durante as horas de coleta - a) Projeção da sombra as 10:00 horas da manhã; b) Projeção da sombra as 14 horas da tarde.

Animais

Oito vacas leiteiras multíparas da raça Holandesa com idade entre 36 e 60 meses, no terço inicial da lactação, com peso médio de 560 kg de peso vivo, foram avaliadas. Os animais foram selecionados por análise visual de acordo com a pelagem, caracterizados pela presença de pelo menos 60% de pelagem branca ou preta, sendo quatro animais com predominância de malha branca e quatro com predominância de malha preta (Figura 4). As vacas foram identificadas individualmente e separadas de forma aleatória em dois grupos de quatro animais, onde cada grupo foi alocado em um dos piquetes do experimento, composto por duas vacas com predominância de malha preta e duas vacas com predominância de malha branca. Todos os animais tinham disponibilidade de sombreamento nos piquetes.



Figura 4 – Vacas da raça Holandesa avaliadas na pesquisa – a) animais com pelo menos 60% do corpo composto por malha branca; b) animais com pelo menos 60% do corpo composto por malha preta. Fonte: Arquivo pessoal

Por estarem em lactação, as vacas eram ordenhadas em dois horários ao longo dos dias: às 07:00h e às 16:00h. Após a primeira ordenha, os animais eram contidos em canzil e alimentados com silagem de milho e concentrado, posteriormente eram conduzidas aos respectivos piquetes de avaliação. Às 16:00h, as vacas eram manejadas dos piquetes em direção à sala de ordenha.

Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas foram mensuradas em três locais: na sombra projetada pelas árvores; na sombra projetada pela estrutura de sombreamento artificial; e em local exposto à radiação solar direta. Foram mensuradas ao longo do experimento, em intervalos de dez minutos, as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do

bulbo seco (TBS, °C), temperatura do bulbo úmido (TBU, °C), temperatura do globo negro (Tgn), com o auxílio de um termohigrômetro (modelo Protemp-2, Criffer®). A umidade relativa (UR, %) foi calculada a partir das temperaturas dos bulbos seco e úmido. Os termohigrômetros registraram os dados automaticamente e foram instalados a uma altura de 1,40 m do solo.

A partir da temperatura do globo negro, foi calculada a Temperatura Radiante Média (TRM, °C) da sombra derivada das árvores, da estrutura de sombreamento artificial e ao sol. A Temperatura Radiante Média é um parâmetro que combina o fluxo de calor radiante de ondas longas e ondas curtas do ambiente e foi calculada pela equação descrita por da Silva e Maia (2013).

$$TRM = \left[\frac{h_G(T_G - T_A) + \varepsilon_G \sigma T_G^4}{\varepsilon_G \sigma} \right]^{0,25} - 273,15, \text{ °C}$$

Onde:

ε_G é a emissividade do globo negro, igual a 0,95; T_G é a temperatura do globo negro, K; T_A é a temperatura do ar, K; σ é a constante de Stefan-Boltzmann, igual a $5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$; h_G é o coeficiente de convecção do globo negro, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

A radiação de ondas curtas (RS, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) foi mensurada com o auxílio de um sensor de Radiação Solar Global (modelo S-LIB-M003, OnsetComp HOBO®) conectado a um registrador automático (HOBO Data Logger H21-USB), que registrava os dados em intervalos de dez minutos. O sensor foi instalado ao sol entre os dois piquetes a uma altura de 1,40m de altura do solo.

Índices de Conforto Térmico

Foram calculados o Índice de Temperatura de Globo Negro (ITGU) e a Carga Térmica Radiante para a estrutura de sombreamento artificial, para a sombra projetada pelas árvores e no ambiente exposto ao sol. A Carga Térmica Radiante (CTR, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) foi calculada para a comparação do conforto térmico proporcionado aos animais durante o período experimental (Da Silva e Maia, 2013) pela equação descrita por Da Silva & Maia (2013):

$$CTR = \sigma \cdot TRM^4, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Onde:

σ é a constante de Stefan-Boltzmann, igual a $5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$; TRM é a temperatura radiante média.

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

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 \cdot T_{po} + 41,5$$

Onde:

T_{gn} é a temperatura do globo negro, °C; T_{po} é a temperatura do ponto de orvalho, °C.

O Índice *InComfort* proposto por Maia *et al.* (2023) foi utilizado para a classificação dos dias de coletas de dados. Este índice foi desenvolvido a partir de uma análise de componentes principais para relacionar respostas fisiológicas de bovinos manejados em ambiente tropical (frequência respiratória e ingestão de água) com o nível de estresse ao qual esses animais estão expostos. O índice classifica os dias entre: chuvosos, nublados, quentes e muito quentes. Considerando que a radiação solar é o elemento meteorológico que mais impacta as respostas produtiva, fisiológica e comportamental de animais criados em pastagem em ambiente tropical (Da Silva *et al.*, 2010), os 20 dias de coleta de dados foram classificados pelo *InComfort Index* da seguinte maneira: dias chuvosos - níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 300 W m^{-2} e umidade relativa do ar média de 80%; dias nublados – níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 300 W m^{-2} ; dias quentes – níveis diários médios de radiação solar entre 300 e 635 W m^{-2} ; dias muito quentes – níveis diários médios de radiação solar maiores ou igual a 635 W m^{-2} .

Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas mensuradas nas vacas holandesas foram: a temperatura superficial (T_s , °C) do pelame, coletada em intervalos de 60 minutos com o auxílio de um termômetro digital a laser (TERMC, Mira Laser, Termômetro Laser Digital Industrial) a partir das 9:30h. A temperatura superficial era mensurada em dois animais por piquete, escolhidos de forma aleatória, sendo um com predominância de malha branca e outro com predominância de malha preta. Manteve-se uma distância de dois metros das vacas, para que não houvesse interferência no comportamento dos animais.

A temperatura retal foi mensurada com o auxílio de um termômetro clínico digital (Termômetro Digital Incoterm), que era inserido no reto das vacas até a estabilização da leitura (sinal sonoro emitido pelo equipamento). As coletas foram realizadas em dois períodos: às 8:00h e às 16:30h, enquanto os animais eram contidos e recebiam a alimentação nos canzís.

A frequência respiratória (FR, respirações minuto^{-1}) foi aferida pela contagem da movimentação do flanco das vacas durante o período de um minuto (Rashamol *et al.*, 2018). A FR era mensurada a uma distância de 2,0 metros em dois animais por piquete, escolhidos de forma aleatória, sendo um com predominância de malha branca e outro com predominância de malha preta. A frequência respiratória foi coletada em intervalos de 30 minutos a partir das 9:00h, com o auxílio de um contador manual (Contador Manual Analógico - NOLL-110,0001).

O consumo de água dos animais (CA, Litros) foi mensurado a partir da leitura fornecida por hidrômetros instalados nos bebedouros de ambos os piquetes. O consumo foi mensurado para as quatro vacas em cada piquete em dois horários: às 12:00h e às 16:00h.

Variáveis comportamentais

Elaborou-se um etograma para avaliação do comportamento das vacas, que incluiu o local de permanência dos animais, postura corporal e atividades realizadas (Tabela 1). Utilizou-se o método de observação contínua dos oito animais presentes no estudo entre as 9:00 e 16:00h ao longo dos 20 dias de pesquisa por apenas um observador.

Tabela 1 – Etograma para a observação de vacas da raça Holandesa no Setor de Bovinocultura de Leite da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá

Categoria	Comportamento	Descrição
Local de permanência	Ao sol	Animal com no mínimo 50% do corpo exposto ao sol
	Sombreamento Natural	Animal com no mínimo 50% do corpo sob a estrutura de sombreamento natural
	Sombreamento Artificial	Animal com no mínimo 50% do corpo sob a estrutura de sombreamento artificial
Postura	Postura em pé	Animal sobre os 4 membros
	Postura deitada	Animal deitado em posição esternal
Atividade	Pastejando	Animal se alimentando de grama nos piquetes
	Ruminando	Animal regurgitando e remastigando o alimento
	Descanso	Animal em ócio sem exercer nenhuma atividade
Evento	Ingerindo água	Animal utilizando os bebedouros

Adaptado de Broom & Fraser (2010)

Análise estatística

Os dados referentes às variáveis meteorológicas e fisiológicas foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa “Statistical Analysis System” (SAS, versão 9.2) de acordo com Littell e Freund (1991). Esse programa foi utilizado para a organização dos arquivos, exame de distribuição dos dados com relação à normalidade, estatísticas de tendência central, de dispersão, de associação e análise de variância, com base no método dos quadrados mínimos (HARVEY, 1960). As médias significativas foram desdobradas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

A análise de variância foi realizada por meio do seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + H_j + T_k + (DT)_{ik} + (DH)_{ij} + (TH)_{kj} + e_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} é a l-ésima observação das variáveis meteorológicas e fisiológicas (Tar, ITGU, TRM, CTR, UR, FR, TR, Tsup, CA); μ é a média paramétrica; D_i é a i-ésima classificação dos dias de coleta pelo Incomfort Index (i = dias chuvosos, dias nublados, dias quentes, dias muito quentes); H_j : j-ésima hora de coleta (j =9,....,16); T_k : k-ésimo

local avaliado (exposto ao sol, sombra projetada pelas árvores, sombra projetada pela estrutura de sombreamento artificial); $(DT)_{ik}$: é a interação entre a i-ésima classificação dos dias de coleta pelo Incomfort Index e o k-ésimo local avaliado; $(DH)_{ij}$: é a interação entre a i-ésima classificação dos dias de coleta pelo Incomfort Index e a j-ésima hora de coleta; $(TH)_{kj}$: é a interação entre o k-ésimo local e a j-ésima hora de coleta; e_{ijkl} : é o erro aleatório.

Os dados comportamentais foram analisados por meio de análise de frequência e teste do qui-quadrado a 5% de probabilidade, pela rotina PROC FREQ do Statistical Analysis System (SAS, version 9.2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis meteorológicas

As médias gerais, bem como os valores mínimo e máximo das variáveis meteorológicas e dos índices de conforto térmico avaliados ao longo da pesquisa são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias (\pm EP) e valores mínimo e máximo das variáveis meteorológicas e índices de conforto térmico na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), Maringá, PR, durante a pesquisa.

Variável	Média (\pm EP)	Mínimo	Máximo
Temperatura do Ar ($^{\circ}$ C)	26,79 (0,07)	16,90	38,40
Temperatura do Globo Negro ($^{\circ}$ C)	29,39 (0,10)	16,20	47,00
Temperatura Radiante Média ($^{\circ}$ C)	33,49 (0,16)	14,82	59,73
Umidade Relativa (%)	68,7 (0,24)	39,0	100,0
Radiação solar ($W m^{-2}$)	553,85 (7,44)	40,60	1113,10
ITGU	78 (0,10)	62	98
Carga Térmica Radiante ($W m^{-2}$)	503,75 (1,09)	389,98	696,23

Uma vez que as vacas eram mantidas em pastagem, elas estavam expostas a uma grande variação em relação aos parâmetros meteorológicos entre os dias de coleta. Observou-se, por exemplo, uma variação de aproximadamente 22° C para a temperatura do ar e de aproximadamente $1000 W m^{-2}$ de radiação solar, considerando os respectivos

valores mínimos e máximos (Tabela 2). Desta forma, todas as variáveis meteorológicas diferiram em relação aos dias e horários avaliados e sua interação ($P < 0,05$).

Maia *et al.* (2023) propuseram um índice a partir de dados meteorológicos (InComfort Index – InCI) com o uso de análise de componentes principais para relacionar respostas fisiológicas de bovinos manejados em ambiente tropical (frequência respiratória e ingestão de água) com o nível de estresse ao qual esses animais estavam expostos. O índice classifica os dias entre: chuvosos, nublados, quentes e muito quentes. Considerando que a radiação solar é o elemento meteorológico que mais impacta as respostas produtiva, fisiológica e comportamental de animais criados em pastagem em ambiente tropical (Da Silva *et al.*, 2010), classificou-se os 20 dias de coleta de dados pelo InComfort Index da seguinte maneira: dias chuvosos - níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 300 W m^{-2} e umidade relativa do ar média de 80%; dias nublados – níveis diários médios de radiação solar menores ou iguais a 300 W m^{-2} ; dias quentes – níveis diários médios de radiação solar entre 300 e 635 W m^{-2} ; dias muito quentes – níveis diários médios de radiação solar maiores ou igual a 635 W m^{-2} . Não houve o registro de dias chuvosos durante o experimento, sendo três dias classificados como muito quentes, um dia nublado e os demais 16 dias foram classificados como dias quentes (Figura 5).

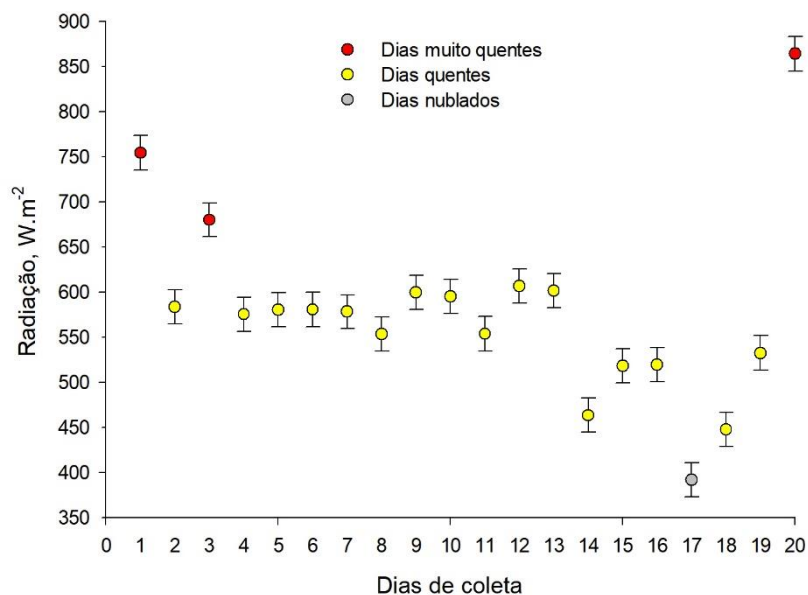


Figura 5 - Classificação dos dias de coleta de acordo com o *InComfort Index* proposto por Maia *et al.* (2023).

A radiação solar diferiu de forma significativa entre as horas de coleta (Figura 6). Verificou-se que entre 11:00h e 13:00h os valores médios foram superiores a 650 W m^{-2} , diferindo dos demais horários ($P < 0,05$). Oliveira et al. (2019) descreveram que a radiação solar interfere diretamente na busca por sombra por vacas holandesas, e que níveis a partir de 500 W m^{-2} desencadeiam este comportamento. Portanto, considerando a significativa variação da radiação solar ao longo das horas do dia e entre os dias, determinou-se o quão eficientes foram a estrutura de sombreamento artificial e a presença de árvores para a redução do estresse térmico ao qual os animais foram expostos; e se houve diferença significativa ($P < 0,05$) para as respostas comportamentais e fisiológicas de vacas Holandesas com predominância de malha branca ou preta.

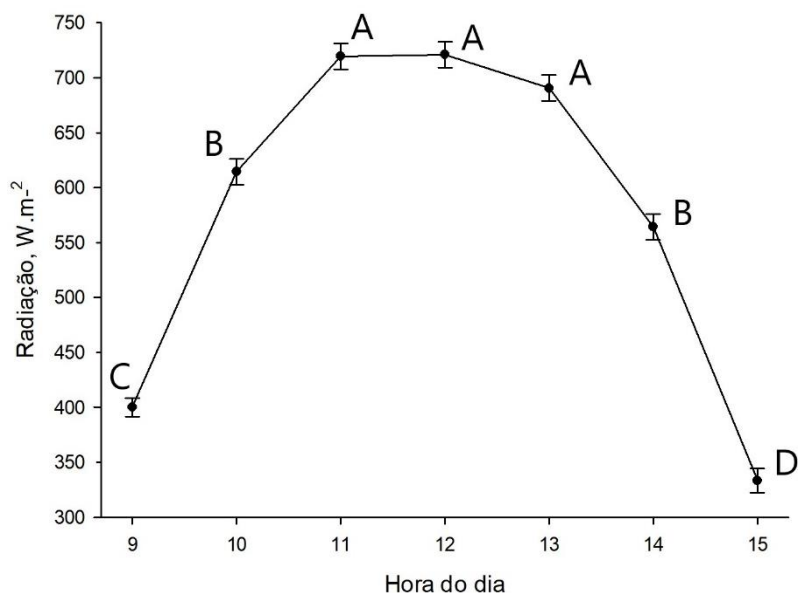


Figura 6 - Médias (\pm EP) da radiação solar durante as horas do dia na Fazenda Experimental de Iguatemi, Maringá, PR, Brasil. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A temperatura do ar e a umidade relativa diferiram de forma significativa entre os dias e os locais avaliados ($P < 0,05$; Figura 7). Observou-se que houve uma redução significativa para a temperatura do ar para os dias muito quentes e quentes ($P < 0,05$) entre o sombreamento natural e o artificial em relação aos dias muito quentes e que ambos os locais apresentaram uma redução de aproximadamente 1°C comparado ao ambiente exposto ao sol ($P < 0,05$). A mesma tendência foi observada para os dias nublados, que apesar de não diferirem ($P > 0,05$), tanto as árvores quanto a estrutura de

sombreamento artificial também apresentaram uma redução de aproximadamente 1°C comparado ao sol.

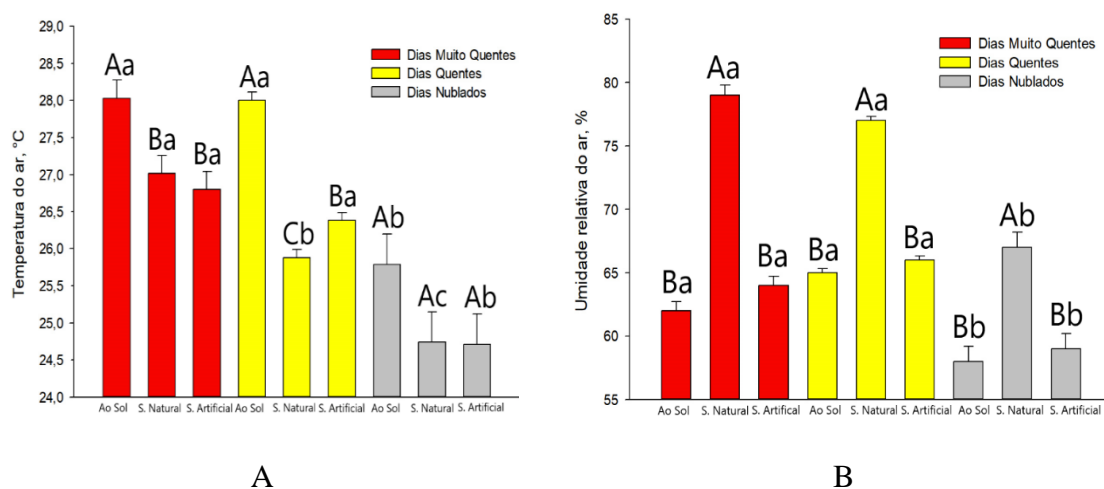


Figura 7 - Médias (\pm EP) – a) da temperatura do ar; b) da umidade relativa do ar - para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A umidade relativa do ar diferiu ($P < 0,05$) entre os dias (Figura 7), e independente da classificação (nublado, quente ou muito quente), os maiores valores foram mensurados sob as árvores, com valores superiores a 60%, resultado semelhante ao encontrado por Teixeira et al. (2022) que observou valores entre 64,9 e 67,4% de umidade relativa sob o sombreamento natural, fato devido a capacidade de evapotranspiração das árvores.

A temperatura radiante média reflete a sensação térmica dos animais frente a um ambiente radiante (Da Silva & Maia, 2013). Na pesquisa, observou-se que independente da classificação dos dias, a sensação térmica dos animais ao sol era mais desconfortável em comparação ao uso do sombreamento, tanto natural quanto artificial ($P < 0,05$; Figura 7). Destaca-se que a temperatura radiante média foi superior a 40°C para os dias quentes e muito quentes, e que a estrutura de sombreamento artificial composta pela combinação entre a tela refletora e a tela de polipropileno apresentou os menores valores ($P < 0,05$), independente dos dias (Figura 8). A redução da temperatura radiante média foi superior

a 10°C para os dias quentes e muito quentes ($P < 0,05$), o que indica a eficiência da estrutura proposta para o sombreamento artificial; tal combinação de telas, é portanto, uma alternativa válida para ambiente tropical. O mesmo resultado foi observado por Mós *et al.* (2022), que observaram uma TRM próxima a 30°C sob a associação de telas, variando significativamente das demais estruturas entre as 8 e 13 horas.

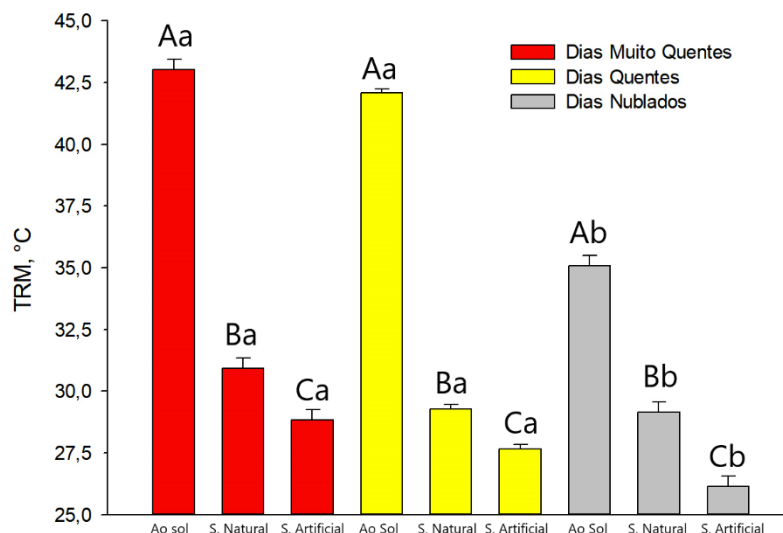


Figura 8 - Médias (\pm EP) da temperatura radiante média para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Ademais, a temperatura radiante média variou significativamente ($P < 0,05$) para a interação entre local avaliado e as horas do dia (Figura 9). Pache *et al.* (2007) afirmaram que valores superiores a 36°C implicam em aumento da frequência respiratória e da temperatura retal de vacas leiteiras, sendo portanto, indesejável. Ao sol, os únicos horários em que a temperatura radiante média foi menor do que 36°C correspondem a antes das 9:00h ou após as 15:00h (Figura 8), mostrando-se de forma indiscutível a necessidade de oferta de recursos de sombreamento aos animais. Independente do horário avaliado, a estrutura de sombreamento artificial apresentou as menores temperaturas radiante médias, diferindo de forma significativa ($P < 0,05$) em comparação as árvores entre 8:00h e 10:00h.

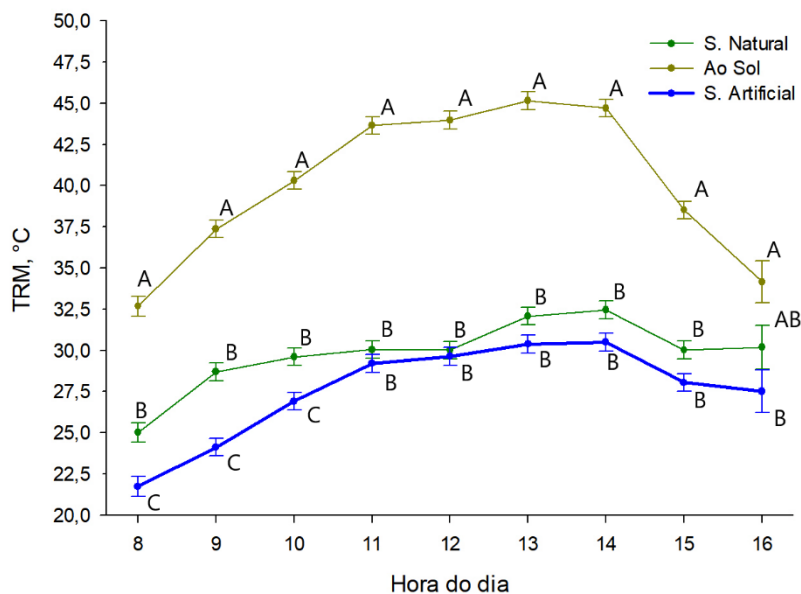


Figura 9 - Médias (\pm EP) da temperatura radiante média para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A temperatura radiante média é utilizada para calcular a carga térmica radiante, índice que permite realizar uma comparação entre diferentes ambientes. A aplicação em ambientes de clima tropical é uma ferramenta útil de avaliação, onde considera-se que quanto o menor valor, melhor o conforto proporcionado (Da Silva, 2000; Mós *et al.*, 2020). Variação significativa foi observada para a interação entre os dias e os locais avaliados, bem como para a interação entre locais e horas do dia (Figuras 10a e 10b). Nota-se que a estrutura de sombreamento artificial reduziu aproximadamente 25% a Carga Térmica Radiante comparado ao sol nos horários mais quentes do dia, não diferindo das árvores ($P > 0,05$; Figura 9b). Os resultados obtidos neste estudo são similares aos encontrados por Mós *et al.*, (2022), que observou a CTR sob a estrutura com a associação de telas abaixo de 487 W.m^{-2} , porém não diferiu significativamente do sombreamento natural após as 15 horas.

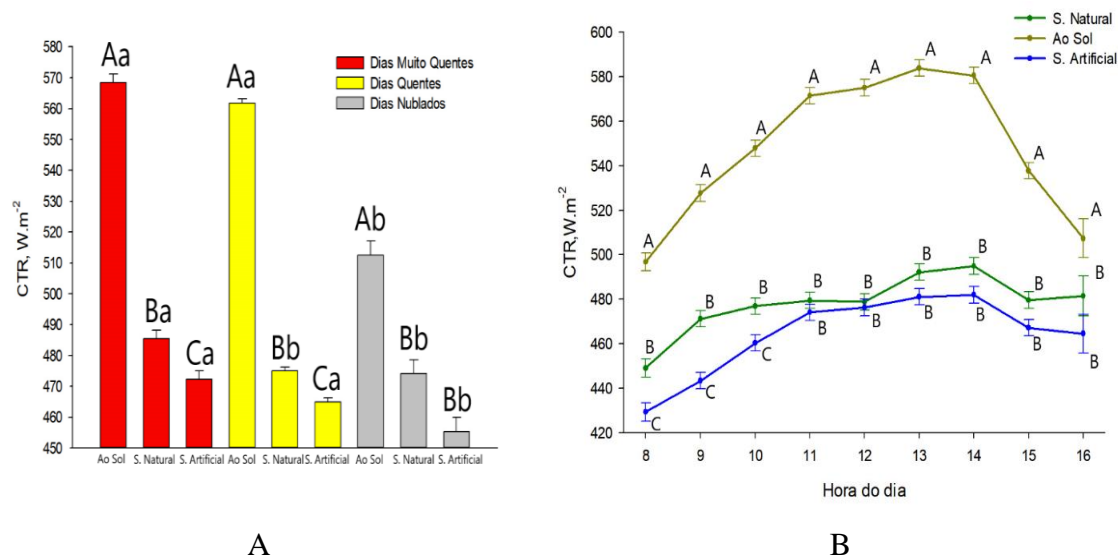


Figura 10 - Médias (\pm EP) da carga térmica radiante – a) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes); b) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O estresse térmico de bovinos leiteiros é usualmente avaliado através do ITGU. Este representa as condições climáticas correlacionando a temperatura do ar e a umidade relativa. Quando esse índice apresenta valores iguais ou superiores a 68 é possível afirmar que os animais enfrentam algum grau de estresse térmico (McDonald *et al.*, 2020). Porém, de acordo com o proposto por Buffington *et al.* (1981) valores até 74 indicam conforto; de 74 a 78 uma condição alarmante de estresse; de 79 a 84 uma condição perigosa de estresse; e acima de 84, uma condição emergencial e severa de estresse.

Pelos resultados obtidos, o ITGU apresentou variação significativa ($P < 0,05$) para as interações entre os dias, locais avaliados e as horas de observação (Figuras 11a e 11b). É possível observar que para os dias quentes e muito quentes, os valores de ITGU ao sol foram caracterizados por estresse severo; e mesmo nos dias nublados, os animais estavam expostos a uma situação alarmante de estresse (Buffington *et al.* 1981). Desta

forma, tanto o sombreamento natural quanto artificial reduziram o valor do ITGU ($P < 0,05$). O sombreamento artificial apresentou os menores valores de acordo com a classificação dos dias ($P < 0,05$) e não diferiu ($P > 0,05$) do sombreamento natural ao longo dos horários (Figuras 11a e 11b). De Masi *et al*, 2021, encontraram valores médios para ITGU de 76,7 durante o verão, sendo que as 8 horas da manhã esse valor estava maior que 70, com o nível de radiação baixo no início do dia com 300 W.m^{-2} .

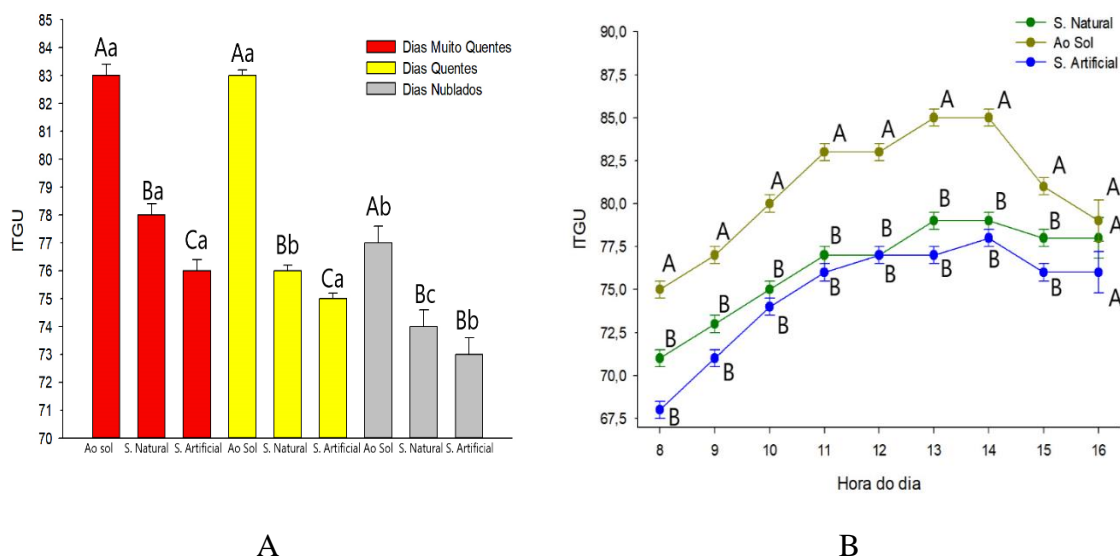


Figura 11 - Médias (\pm EP) do ITGU – a) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função da classificação dos dias pelo InComfort Index (dias nublados, quentes ou muito quentes); b) para os locais avaliados (exposto ao sol, sob a estrutura de sombreamento artificial, sob as árvores) em função das horas do dia. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a classificação dos dias e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cada um dos locais avaliados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variáveis Fisiológicas

O consumo de água de vacas da raça Holandesa não diferiu ($P > 0,05$) entre os animais com disponibilidade do sombreamento artificial em relação aos animais com acesso ao sombreamento proporcionado pelas árvores. Entretanto, observou-se um consumo de água maior pelos animais no período da manhã, em relação ao período da tarde ($P < 0,05$), com médias iguais a 110,35 litros no período da manhã e 73,75 litros no período da tarde - sendo esse valor correspondente ao consumo total das quatro vacas em cada um dos piquetes (Figura 12).

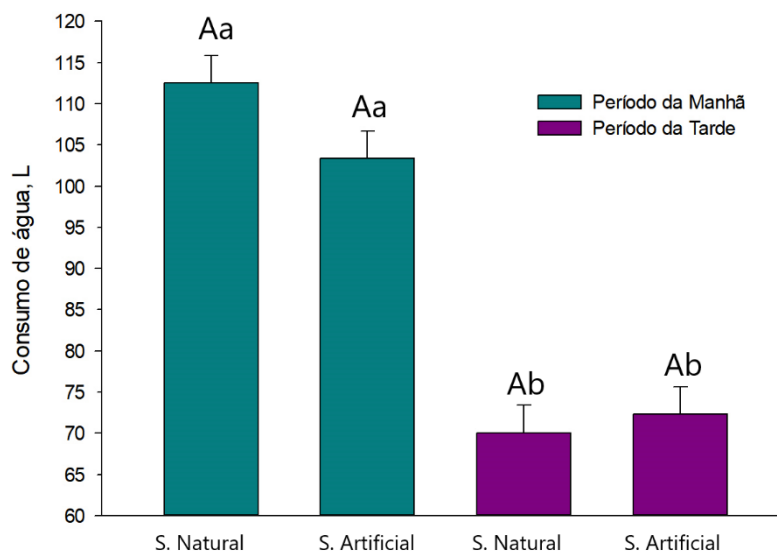


Figura 12 – Médias (\pm EP) do consumo de água de vacas da raça Holandesa a pasto em função da oferta de recursos de sombreamento natural ou artificial para os períodos da manhã e da tarde. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o sombreamento natural e artificial em cada um dos períodos e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa para o sombreamento natural e artificial entre o período da manhã e da tarde pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

McDonald *et al.* (2020) em um estudo durante o verão na América do Norte com vacas holandesas descreveram que os horários de pico de maior consumo de água ocorrem entre as 08:00 e 12:00 horas e entre as 16:00 e 20:00 horas. Outro fator que pode ter influenciado o maior consumo no período da manhã é a realização da ordenha, uma vez que o leite é composto por aproximadamente 87% de água. Além disso, a ingestão de silagem e concentrado antes dos animais serem conduzidos para a área experimental também aumentam o consumo de água, pois tal consumo é positivamente correlacionado com a ingestão de matéria seca (Golher *et al.*, 2021).

Ressalta-se que as médias para o consumo de água estão de acordo com o descrito pela literatura, correspondente a uma ingestão entre 68 e 151 litros de água por dia (Golher *et al.*, 2021). Durante a pesquisa, não foi observada diferença significativa entre a oferta de sombreamento natural e artificial ($P > 0,05$), o que demonstra que a composição da tela dupla é uma alternativa eficiente de sombreamento para os animais em clima tropical.

A temperatura superficial dos animais diferiu entre a predominância de cor da malha, entre dias nublados, quentes e muito quentes e entre as horas avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Médias (\pm EP) da temperatura superficial de vacas da raça Holandesa em função do tipo de sombreamento, da cor predominante da malha corporal e dos horários avaliados ao longo da pesquisa.

Efeito	Média (\pm EP), °C
Estrutura de sombreamento	
Sombreamento natural	33,36 ^A (0,22)
Sombreamento artificial	32,74 ^B (0,22)
Cor predominante da malha	
Preta	34,26 ^A (0,22)
Branca	31,84 ^B (0,22)
Horário avaliado	
9:30h	35,55 ^A (0,33)
10:30h	30,05 ^C (0,33)
11:30h	30,39 ^C (0,33)
12:30h	32,92 ^B (0,33)
13:30h	34,95 ^A (0,33)
14:30h	33,28 ^B (0,33)
15:30h	34,21 ^B (0,33)

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As maiores médias da temperatura superficial observadas no início da manhã e, entre as 13:00 e 14:00 horas, coincidem com o momento em que os animais não estavam utilizando os recursos de sombreamento. Isto é, pastejando ou realizando a ingestão de água. As menores temperaturas observadas entre as 10:00 e 12:00 horas correspondem aos horários em que os animais estavam descansando sob os sombreamentos.

A temperatura superficial sofre variação de acordo com a quantidade de raios solares que o corpo é exposto. Consequentemente, um aumento da temperatura superficial está relacionado a um aumento do fluxo de sangue para a pele através da

vasodilatação periférica para auxiliar a transferência de calor com o ambiente (Rashamol *et al.*, 2018). Kamal *et al.* (2016) indicaram que bezerros mestiços apresentaram menores temperaturas superficiais no início da manhã, com elevação entre 2°C e 5°C por volta das 14:00 horas. São resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho para vacas holandesas, onde a temperatura superficial aumentou acima de 3°C entre as 10:30 horas e o período da tarde a partir das 13:30 horas.

A temperatura superficial também diferiu ($P < 0,05$) de acordo com a cor predominante da pelagem do animal, sendo que animais predominantemente pretos apresentaram maior temperatura quando comparada às brancas (Tabela 3). Vacas holandesas em geral são pouco adaptadas ao ambiente tropical (Becker *et al.*, 2020), pois a coloração da epiderme acompanha a coloração do pelame (Maia *et al.*, 2003), e as áreas dos animais com coloração escura absorvem maior quantidade de calor através da radiação (Silva *et al.*, 2001; Maia *et al.*, 2003). A absorvância do pelame preto é 0,94, enquanto do pelame branco é 0,427 (da Silva *et al.*, 2012).

Maia *et al.* (2003) observaram uma maior refletância do pelame branco e uma maior absorvância do pelame preto, dessa forma as regiões com coloração escura absorvem mais calor do que as áreas brancas. A diferença média entre as pelagens igual a 2,32°C observada nesse estudo foi maior do que a observada por da Silva *et al.* (2012), que descreveram uma diferença entre as pelagens equivalente a 0,4°C em regiões subtropicais; porém, essa diferença é menor do que a encontrada pelos mesmos autores em região semiárida, de 4,5°C.

Essa diferença na temperatura superficial dos animais pode ser explicada pela diferença da temperatura do globo negro entre as regiões. Os resultados encontrados no presente trabalho diferem dos valores relatados por Anzures-Olvera *et al.* (2019) com vacas holandesas durante o verão, que não observaram diferença estatística significativa entre as pelagens, mas encontraram diferenças significativas entre as regiões do corpo, com o as extremidades e ao redor dos olhos, como os locais que mais variam a temperatura de acordo com a temperatura ambiente.

A frequência respiratória não diferiu ($P > 0,05$) para a predominância de cor da pelagem dos animais, com médias iguais a 66 resp min⁻¹ para os animais brancos e 67 resp min⁻¹ para os animais pretos. Anzures-Olvera *et al.* (2019) também não observaram

diferença significativa para a frequência respiratória em função da coloração da pelagem.

Também, não houve diferença significativa entre os recursos de sombreamento, sendo mensuradas médias para as árvores e a estrutura de sombreamento artificial iguais a 66 e 67 resp min⁻¹, respectivamente. Porém, os resultados desta pesquisa sugerem que os animais apresentavam taquipneia, condição normalmente relatada em vacas holandesas em ambientes quentes (da Silva *et al.*, 2012), pois em condições termoneutras a frequência respiratória é de aproximadamente 60 resp min⁻¹ (Kendall *et al.*, 2007). Animais ao sol podem chegar a valores superiores a 100 resp min⁻¹ quando expostos ao sol, dessa forma o sombreamento foi eficaz em reduzir a frequência respiratória dos animais (Rashamol *et al.*, 2018).

Variáveis Comportamentais

As respostas comportamentais variaram ($P < 0.05$) nos dias quentes entre a predominância de pelame para a postura corporal deitada durante a manhã, atividade de descanso e frequência do uso do sombreamento natural no período da tarde. Os demais comportamentos não diferiram ($P > 0.05$) entre os dias, pelame e período.

As respostas comportamentais para a postura corporal dos animais apresentaram variação ($P < 0,05$) para a postura deitada, durante o período da manhã entre as predominâncias de pelame nos dias classificados como quentes (Figura 13). Os animais predominantemente brancos apresentaram maior frequência de comportamento deitada durante as manhãs dos dias quentes em relação aos animais predominantemente pretos. Porém essa diferença não foi encontrada no período da tarde ($P > 0.05$). Os animais predominantemente brancos se deitaram mais vezes entre as 09:00 horas (75,86%) e as 10:00 horas (62,50%) ($P < 0.05$) e esse comportamento não diferiu ($P > 0.05$) a partir das 11:00 horas da manhã. Vacas buscam alterar sua postura para evitar um ganho excessivo de calor do ambiente. Portanto os animais de predominância de pelame preto tendem a passar menos tempo deitados para diminuir o contato com a superfície quente, diminuir o ganho de calor por condução e aumentar a área corporal para que a convecção ocorra (Herbut *et al.*, 2018).

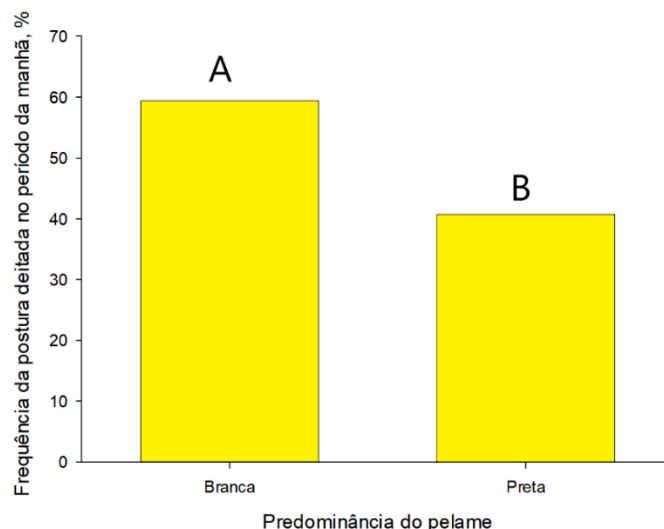


Figura 13 – Frequência do comportamento deitada no período da manhã dos animais predominantemente brancos e pretos dias quentes classificados pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o tipo de pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O comportamento de deitar-se é um importante indicador de bem-estar (Tucker *et al.*, 2021). Herbut *et al.* (2018) encontraram que bovinos holandeses tem comportamento ativo até as 10:00 horas da manhã, demonstrando comportamento de deitar-se no período da tarde. O que está de acordo com os dados obtidos nesse trabalho, onde os animais apresentavam maior atividade até as 10:00 horas com os animais de predominância de pelagem preta mais ativos. Já no período da tarde independente do pelame os animais apresentaram uma frequência similar de descanso e de deitar-se. Deniz *et al.* (2020) observaram o mesmo padrão com bovinos leiteiros em sistemas de ILPF onde os animais passavam 45% do tempo de pastejo entre as 9 horas e 10 horas da manhã e maior frequência dos animais se deitarem no período da tarde.

Schütz *et al.* (2009) em ambiente com níveis de radiação de 582W.m^{-2} , observaram que vacas com coloração do pelame clara passaram mais tempo deitadas quando comparadas com vacas de pelame escuro. Portanto, vacas de pelame escuro alteram seu comportamento para evitar o ganho de calor. Esses resultados corroboram com esse estudo em que os animais de pelame predominantemente preto buscavam a sombra após as 11:00 horas, quando os níveis de radiação e temperatura aumentavam acima de 700W.m^{-2} e 25°C respectivamente. O aumento na frequência do uso do sombreamento natural pelos animais de pelame branco pode indicar que esses animais

saiam mais vezes da sombra para pastejar do que os animais de pelame preto, que após irem para a sombra permaneciam por mais tempo, uma vez que passaram mais tempo do período da manhã pastejando.

Para as respostas comportamentais de atividade o comportamento de descanso variou significativamente ($P < 0.05$) para os dias quentes entre a cor do pelame dos animais, com os animais de pelame predominantemente branco com uma frequência maior de descanso em relação aos animais predominantemente pretos (Figura 14). Os animais predominantemente brancos apresentaram uma frequência maior de descanso durante as 10:00 horas (54,8%) em relação as pretas, esse comportamento não variou nos demais horários da manhã ($P > 0.05$).

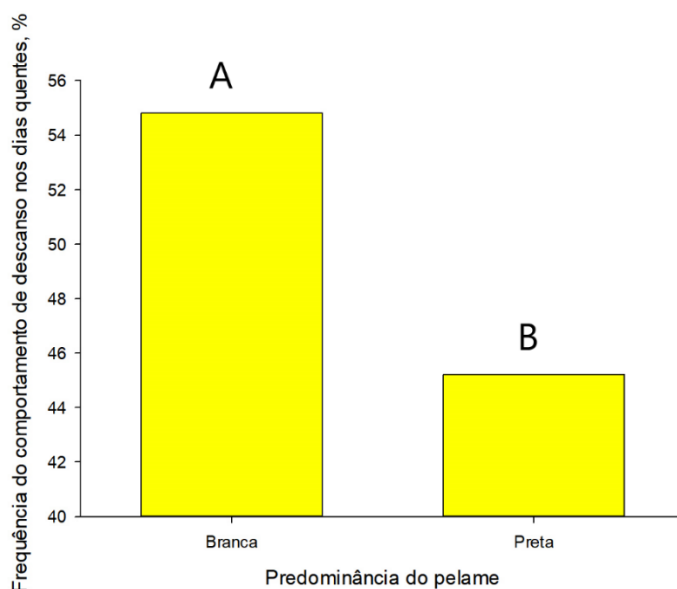


Figura 14 – Frequência do comportamento de descanso nos dias classificados como quentes pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a predominância da cor do pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Charlton *et al.* (2011) encontraram que vacas permanecem 58% do seu tempo deitadas, descansando e ruminando, independente da predominância da coloração do pelame o tempo gasto ruminando foi similar para todos os animais com uma frequência próxima a 50% para os pelames e períodos do dia. Deniz *et al.*, (2020) estudando bovinos leiteiros em sistemas ILPF, identificaram que as vacas ruminavam e descansavam a maior parte do tempo sob as áreas sombreadas, correlacionando esse fato a menores temperatura do ar, do solo e da radiação nessas áreas.

A resposta comportamental por procura de recursos de sombreamento apresentou variação apenas para o sombreamento natural ($P < 0.05$) durante a tarde para os dias quentes (Figura 15), com os animais predominantemente brancos buscando esse recurso mais vezes. Porém apenas as 14:00 horas houve diferença estatística ($P < 0.05$) na busca pelo sombreamento natural, com os animais predominantemente brancos, responsáveis por 56,7% dos dados registrados nesse horário. A diferença na frequência do uso do sombreamento natural pode estar relacionada as diferenças nos valores de refletância, absorvância e transmitância entre o pelame branco e preto relatados por Maia *et al.* (2003).

Portanto os animais de pelame preto que possuem maior valor de absorvância e menor refletância, buscam pastejar nas horas com menor nível de radiação de forma a evitar o ganho de calor através da radiação, ou seja, antes das 10:00 horas da manhã e após as 15:00 horas da tarde.

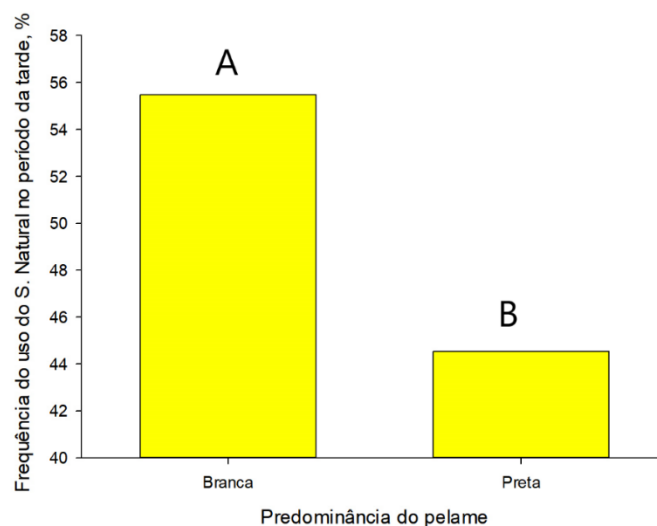


Figura 15 - Frequência do uso do sombreamento natural pelos animais predominantemente brancos e pretos nos dias quentes classificados pelo *InComfort Index*. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre o tipo de pelame pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O uso com maior frequência do sombreamento natural em detrimento do artificial pode estar associado ao microclima criado pela presença das árvores. Devido a evapotranspiração que mantém temperatura do ar menor, uma umidade do ar entre 30% e 70% e menor entrada de radiação, proporciona assim um ambiente térmico próximo

ao ideal para bovinos leiteiros (Deniz *et al.*, 2021; Mós *et al.*, 2022; Teixeira *et al.*, 2022).

CONCLUSÕES

A estrutura de sombreamento artificial com a associação de telas demonstrou promover conforto térmico para bovinos leiteiros, independentemente da classificação dos dias. Com resultados semelhantes aos encontrados sob o sombreamento natural revelando ser uma alternativa viável se sombreamento quando o componente arbóreo não estiver presente em ambientes tropicais. A frequência respiratória e o consumo de água não sofreram alteração entre os sombreamentos, sendo possível afirmar que a utilização do sombreamento artificial não causa incremento nessas variáveis. Animais com predominância de pelagem branca tem maior frequência de descanso em relação aos animais pretos, com animais de coloração preta pastejando nos primeiros horários da manhã para evitar o ganho de calor excessivo nos horários com maior nível de radiação e temperatura alta, já que apresentavam temperatura superficial maior do que as brancas.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6). <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Anzures-Olvera, F., Véliz, F. G., de Santiago, A., García, J. E., Mellado, J., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., & Mellado, M. (2019). The impact of hair coat color on physiological variables, reproductive performance and milk yield of Holstein cows in a hot environment. *Journal of Thermal Biology*, 81(January), 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.020>
- Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 103, Issue 8, pp. 6751–6770). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>
- Bertipaglia, E. C. A., Silva, R. G. D., Cardoso, V., & Maia, A. S. C. (2007). Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de características do pelame e de desempenho reprodutivo de vacas holandesas em clima tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 350-359.

- Brown-Brandl, T. M., Chitko-Mckown, C. G., Eigenberg, R. A., Mayer, J. J., Welsh, T. H., Davis, J. D., & Purswell, J. L. (2017). Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal*, *11*(8), 1344–1353. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002664>
- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G. H., Pitt, D., Thatcher, W. W., & Collier, R. J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, *24*(3), 711-0714.
- Burow, E., Rousing, T., Thomsen, P. T., Otten, N. D., & Sorensen, J. T. (2013). Effect of grazing on the cow welfare of dairy herds evaluated by a multidimensional welfare index. *Animal*, *7*(5), 834–842. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002297>
- Cardoso, C. S., von Keyserlingk, M. A. G., Machado Filho, L. C. P., & Hötzel, M. J. (2021). Dairy heifer motivation for access to a shaded area. *Animals*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/ani11092507>
- Charlton, G. L., Rutter, S. M., East, M., & Sinclair, L. A. (2011). Effects of providing total mixed rations indoors and on pasture on the behavior of lactating dairy cattle and their preference to be indoors or on pasture. *Journal of Dairy Science*, *94*(8), 3875-3884.
- Da Silva, R. G. (2000). Introduction to animal bioclimatology. *Nobel, São Paulo, Brazil (in Portuguese, with abstract in English)*.
- da Silva, R. G., & Maia, A. S. C. (2013). *Principles of animal biometeorology* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- da Silva, R. G., Guilhermino, M. M., & de Moraes, D. A. E. F. (2010). Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *International Journal of Biometeorology*, *54*(1), 5–11. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0244-1>
- da Silva, R. G., Maia, A. S. C., de Macedo Costa, L. L., & de Queiroz, J. P. A. F. (2012). Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. *International Journal of Biometeorology*, *56*(5), 927–932. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0501-y>
- Da Silva, R.G., La Scala Jr, N., Pocay, P. L. B. (2001). *Transmissão de Radiação Ultravioleta Através do Pelame e da Epiderme de Bovinos*. *Rev. bras. zootec.*, *30*(6):1939-1947.

- De Masi, R. F., Ruggiero, S., Tariello, F., & Vanoli, G. P. (2021). Passive envelope solutions to aid design of sustainable livestock buildings in Mediterranean climate. *Journal of Cleaner Production*, *311*, 127444.
- Deniz, M., de Sousa, K. T., Moro, M. F., Vale, M. M. do, Dittrich, J. R., Machado Filho, L. C. P., & Hötzel, M. J. (2021). Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Applied Animal Behaviour Science*, *244*. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467>
- Deniz, M., Schmitt Filho, A. L., Hötzel, M. J., de Sousa, K. T., Pinheiro Machado Filho, L. C., & Sinisgalli, P. A. (2020). Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, *64*(11), 1877–1887. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>
- Golher, D. M., Patel, B. H. M., Bhoite, S. H., Syed, M. I., Panchbhai, G. J., & Thirumurugan, & P. (2021). *Factors influencing water intake in dairy cows: a review*. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02038-0>
- Grandin, T. (2016). Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. In *Veterinary and Animal Science* (Vols. 1–2, pp. 23–28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2016.11.001>
- Harvey, W. R. (1960). *Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers* (Vol. 20, No. 8). Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.
- Herbut, P., Angrecka, S., & Walczak, J. (2018). Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. In *International Journal of Biometeorology* (Vol. 62, Issue 12, pp. 2089–2097). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
- Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Chandran, P. C., Bharti, P. K., & Barari, S. K. (2016). Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *Journal of Applied Animal Research*, *44*(1), 347–354. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1074076>
- Kendall, P. E., Verkerk, G. A., Webster, J. R., & Tucker, C. B. (2007). Sprinklers and shade cool cows and reduce insect-avoidance behavior in pasture-based dairy systems. *Journal of Dairy Science*, *90*(8), 3671–3680. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-766>

- Littell, R. C., Freund, R. J., & Spector, P. C. (1991). SAS system for linear models. SAS Inst. Inc., Cary, NC, 329.
- Maia, A. S. C., Da Silva, R. G., & Bertipaglia, E. C. A. (2003). Haircoat traits in holstein cows in tropical environments: A genetic and adaptative study. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(4), 843–853. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982003000400009>
- Maia, A. S. C., da Silva, R. G., Nascimento, S. T., Nascimento, C. C. N., Pedroza, H. P., & Domingos, H. G. T. (2015). Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of Biometeorology*, 59(8), 1025–1033. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0916-3>
- Maia, A. S. C., Moura, G. A. B., Fonsêca, V. F. C., Gebremedhin, K.G., Milan, H. M., Chiquitelli Neto, M., Simão, B. R., Campanelli, V. P. C, Pacheco, R. D. L. (2023). Economically sustainable shade design for feedlot cattle. *Frontiers in Veterinarian Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1110671>
- McDonald, P. v., von Keyserlingk, M. A. G., & Weary, D. M. (2020). Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3447–3458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17456>
- Mós, J. V. do N., Nascimento, S. T., Murata, L. S., dos Santos, V. M., Neto, A. J. S., de Oliveira, E. M., da Silva Lisboa, Á., & de Freitas Silva, L. (2020). Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. *Journal of Thermal Biology*, 88(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102489>
- Mós, J. V. N., Teixeira, B. E., Murata, L. S., dos Santos, V. M., de Oliveira, E. M., Steidle Neto, A. J., & Nascimento, S. T. (2022). Thermal comfort provided by different shading structures in free-range systems in Brazilian savanna. *International Journal of Biometeorology*, 66(3), 535–544. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02214-w>
- Oliveira, S. E. O., de Melo Costa, C. C., Chiquitelli Neto, M., Dalla Costa, F. A., & Maia, A. S. C. (2019). Effects of shade location and protection from direct solar radiation on the behavior of Holstein cows. *International Journal of Biometeorology*, 63(11), 1465–1474. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01747-5>
- Pache, S., S. Rössner, O. Hörig, U. Bergfeld, (2007). Requirements of the dairy cows for outdoor climate stables suited for summer – examinations to the thermo regularization, stable climate control and construction method. In: Proceedings of the 8th International conference on Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming, 264-269

Pinheiro, A. C.; Saraiva, E. P.; Saraiva, C. A. S.; Fonseca, V. F. C.; Almeida, M. E. V.; Santos, S. G. G. C.; Amorim, M. L. C. M.; Neto, P. J. R. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical, *Revista AGROTEC.* v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015.

Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., & Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62–71. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>

Schütz, K. E., Rogers, A. R., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2009). Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: Shade use, behaviour, and body temperature. *Applied Animal Behaviour Science*, 116(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.07.005>

Schütz, K. E., Rogers, A. R., Cox, N. R., Webster, J. R., & Tucker, C. B. (2011). Dairy cattle prefer shade over sprinklers: Effects on behavior and physiology. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 273–283. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3608>

Teixeira, B. E., Nascimento, S. T., Mós, J. V. do N., de Oliveira, E. M., dos Santos, V. M., Maia, A. S. C., Fonsêca, V. de F. C., Passos, B. M., & Murata, L. S. (2022). The potential of natural shade provided by Brazilian savanna trees for thermal comfort and carbon sink. *Science of the Total Environment*, 845(July). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157324>

Tucker, C. B., Jensen, M. B., de Passillé, A. M., Hänninen, L., & Rushen, J. (2021). Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 20-46.

IV CONCLUSÕES GERAIS

De forma geral, podemos destacar a importância de fornecer sombreamento para bovinos leiteiros em ambientes tropicais devido a elevada radiação solar que influencia as respostas fisiológicas e comportamentais dos bovinos.

Pode-se concluir que o recurso de sombreamento artificial construído com a associação de telas aluminizadas e as telas de polipropileno proporcionou uma redução nos índices de conforto térmico, reduzindo os efeitos da radiação solar direta, e foi utilizado em todos os horários pelos animais. Os resultados dos índices de conforto térmico para as árvores e para a estrutura de sombreamento artificial foram similares, com as árvores apresentando maior umidade relativa do ar durante o período experimental.

As respostas fisiológicas e dos animais foram influenciadas pelos sombreamentos, com alteração na temperatura superficial e retal dos animais, não influenciou na ingestão de água e na frequência respiratória, sendo os mecanismos comportamentais os principais responsáveis pela homeostase dos bovinos leiteiros mantidos em pastagem.

Baseado no conjunto dessas informações, observou-se que os objetivos específicos foram alcançados, o que propiciou também, atingir o objetivo geral dessa dissertação, mostrando que os sombreamentos afetam as respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos leiteiros mantidos em pastagem. Entretanto, estudos que

considerem outras épocas, e a interação com o ambiente e comportamento desses animais, devem ser explorados.