



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR NO DESEMPENHO E
CONTAGEM DE CÉLULAS SOMÁTICAS DE VACAS
LEITEIRAS**

Daniela Arestides Alves Castilho Teixeira

Campo Grande, MS.

2025

**EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR NO DESEMPENHO E
CONTAGEM DE CÉLULAS SOMÁTICAS DE VACAS
LEITEIRAS**



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR NO DESEMPENHO E
CONTAGEM DE CÉLULAS SOMÁTICAS DE VACAS
LEITEIRAS

Effects of heat stress on performance and somatic cell counts of dairy cows

Daniela Arestides Alves Castilho Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Tadeu Dos Santos

Corientadora: Profa. Dra. Camila Soares Cunha

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS 2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

DANIELA ARESTIDES ALVES CASTILHO TEIXEIRA

**EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR NO DESEMPENHO E CONTAGEM DE CÉLULAS SOMÁTICAS
DE VACAS LEITEIRAS**

**EFFECTS OF HEAT STRESS ON PRODUCTIVE PERFORMANCE AND SOMATIC CELL COUNT IN
DAIRY COWS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 10-12-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Camila Soares Cunha
(UFMS) – Presidente

Dra. Fabiana de Andrade Melo Sterza
(UEMS)

Dr. Gercino Ferreira Virginio Júnior
(UNESP)

Dr. Luis Carlos Vinhas Itavo
(UFMS)

Dra. Priscilla Dutra Teixeira Borges
(UFMS)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Luis Carlos Vinhas Itavo, Professor do Magisterio Superior**, em 11/12/2025, às 18:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Camila Soares Cunha, Professora do Magistério Superior**, em 12/12/2025, às 05:57, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Fabiana de Andrade Melo Sterza, Usuário Externo**, em 12/12/2025, às 06:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gercino Ferreira Virginio Junior, Usuário Externo**, em 12/12/2025, às 14:13, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla Dutra Teixeira, Usuário Externo**, em 12/12/2025, às 16:02, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6117621** e o código CRC **7ABDD4B3**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Dedicatória

À Deus, minha família que tanto amo e meus amigos que contribuíram para a realização desse sonho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ser o centro da minha vida e me dar forças nos momentos em que mais preciso, trazendo sabedoria e graça para lidar com todas as situações do dia a dia, sendo meu melhor amigo e companheiro.

Ao meu esposo, Gabriel Teixeira, que está comigo desde a graduação e, agora, no doutorado, acompanhou-me inúmeras vezes à fazenda escola e me ajudou a não desistir nos momentos mais difíceis.

À minha filha, Eloise, que é o meu maior motivo de inspiração e alegria, meu maior amor e o combustível para concluir esta fase.

À minha mãe, Gilcenyrr Alves, que sempre esteve ao meu lado em cada etapa, sendo meu auxílio em diversas áreas e me dando o maior exemplo de vida.

Aos meus avós, Olga Alves e José Alves (*in memoriam*), que sempre me ofereceram suporte emocional, amor e carinho, especialmente nos momentos em que nem eu mesma acreditava ser capaz.

Ao meu pai, Joaquim Castilho, por todo o carinho e auxílio durante minha trajetória.

Às minhas tias, Sílvia, Verlaine e Milka, que, sempre que podiam, ficavam com minha filha para que eu pudesse terminar de escrever.

Aos meus primos, Joshua, Raquel e Letícia, que foram como irmãos para mim, por todo amor e companheirismo, e aos meus primos Adriano e Lisandra, que disponibilizaram suas casas enquanto eu ainda não tinha onde ficar em Campo Grande.

Ao meu orientador, professor Geraldo Tadeu dos Santos, pelo auxílio indispensável à realização deste trabalho, pela ajuda constante durante o doutorado, pela paciência, pelos conselhos e por compartilhar tanto conhecimento.

À professora Camila Soares Cunha, por ter me transmitido tanto conhecimento ao longo desses anos, por seus conselhos, apoio e presença constante. Sua orientação foi indispensável.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por este período de aprendizado, bem como aos professores da unidade, pelo conhecimento adquirido.

Aos funcionários que tornaram tudo mais leve — Girlei, seu Ivalcir, seu Ivan, Wellington e Ricardo. À professora Carolina Marques e Evellyn Richelly pelo auxílio com os dados.

À FUNDECT, pela bolsa de doutorado que possibilitou a realização desta pesquisa, e ao grupo de estudos GEBOV, por todo o tempo compartilhado.

Epígrafe

Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e Ele o fará.

Salmos 37:5

TEIXEIRA, D.A.A.C. Efeitos do estresse por calor no desempenho e contagem de células somáticas de vacas leiteiras. 2025. 90. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

RESUMO

O estresse por calor em vacas leiteiras é um dos principais fatores que afetam o bem-estar e desempenho produtivo desses animais, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Objetivou-se avaliar os efeitos do estresse térmico sobre variáveis fisiológicas, imunológicas (CCS), produtivas e qualitativas em vacas leiteiras de diferentes raças e sistemas de criação. O primeiro capítulo teve como objetivo sintetizar, através de uma revisão narrativa, os principais fatores que interferem no estresse térmico de vacas leiteiras. O segundo capítulo teve como objetivo a realização de uma revisão sistemática com metanálise. Para elaboração da questão norteadora foi utilizada a estratégia PICOS, onde população (P): vacas leiteiras; intervenção (I): estresse por calor; comparação (C): conforto térmico; e resultados esperados, do inglês “outcome” (O): produção e composição do leite, e contagem de células somáticas. O tipo de estudo (S) foi aceito apenas estudos experimentais bem delineados. Foram utilizadas as bases de dados *SCOPUS (Elsevier)*, *CAB Direct*, *Science Direct (Elsevier)* e *Wiley Online Library*, para busca. A pesquisa considerou 1835 artigos, e 24 artigos foram considerados elegíveis para extração de dados devido a robustez metodológica. Os artigos foram considerados para extração dos dados quando decorressem sobre a influência do Índice de Temperatura e Umidade (THI) sobre a termorregulação, a produção e composição do leite e fornecessem diferentes estratégias de mitigação do estresse calórico. Os resultados encontrados, comprovam que o aumento do THI acima de 68 ativa mecanismos de dissipação de calor, com resultados negativos principalmente na produção de leite. Observou-se também a diminuição dos teores de proteína e gordura do leite, além de alterações na contagem de células somáticas (CCS). Conclui-se que o estresse térmico, gera impactos negativos sobre o metabolismo e a imunidade das vacas leiteiras, tornando-se indispensável a utilização de estratégias de mitigação, como sombreamento natural ou artificial e resfriamento que possa garantir o bem-estar e a produtividade das vacas.

Palavras-chave: bovinos leiteiros, conforto térmico; estresse por calor; produção de leite; revisão sistemática.

TEIXEIRA, D.A.A.C. Effects of heat stress on performance and somatic cell counts of dairy cows. 2025. 90. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

ABSTRACT

Heat stress in dairy cows is one of the main factors affecting the welfare and productive performance of these animals, especially in tropical and subtropical regions. The objective was to evaluate the effects of thermal stress on physiological, immunological (SCC), productive, and qualitative variables in dairy cows of different breeds and production systems. The first chapter aimed to synthesize, through a narrative review, the main factors that influence heat stress in dairy cows. The second chapter focused on conducting a systematic review with meta-analysis. To formulate the guiding research question, the PICOS strategy was used, where the population (P): dairy cows; intervention (I): heat stress; comparison (C): thermal comfort; and expected outcomes (O): milk yield and composition, and somatic cell count. Only well-designed experimental studies were accepted as the study type (S). The databases SCOPUS (Elsevier), CAB Direct, Science Direct (Elsevier), and Wiley Online Library were used for the search. The review initially identified 1,835 articles, of which 24 were considered eligible for data extraction due to their methodological robustness. Articles were included when they addressed the influence of the Temperature–Humidity Index (THI) on thermoregulation, milk yield and composition, and when they provided different strategies for mitigating heat stress. The results confirmed that an increase in THI above 68 triggers heat-dissipation mechanisms, leading to negative impacts mainly on milk production. A reduction in milk protein and fat contents was also observed, along with changes in somatic cell count (SCC). It is concluded that heat stress has negative effects on the metabolism and immunity of dairy cows, making the adoption of mitigation strategies—such as natural or artificial shading and cooling—essential to ensure cow welfare and productivity.

Keywords: dairy cattle; heat stress; milk production; systematic review; thermal comfort.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
Fundamentos do estresse por calor	1
Variáveis meteorológicas.....	1
Índices de conforto térmico	3
Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU).....	4
Fisiologia do estresse por calor em vacas leiteiras	5
Vias de dissipação de calor dos animais para o ambiente.....	6
Zona de conforto térmico.....	8
Efeitos do estresse por calor em vacas leiteiras.....	9
<i>Temperatura retal</i>	11
<i>Frequência cardíaca</i>	11
<i>Temperatura do pelame</i>	12
<i>Parâmetros hematológicos</i>	12
<i>Minerais</i>	13
<i>Alterações hormonais</i>	14
Produção e composição do leite	17
Imunidade.....	19
Estratégias para amenizar os efeitos do estresse térmico em bovinos leiteiros	19
<i>Sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE)</i>	22

Capítulo 2	37
Influência das práticas de mitigação do estresse térmico sobre o desempenho produtivo e a qualidade do leite	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT	38
Introdução	39
METODOLOGIA.....	40
<i>Questão norteadora e protocolo</i>	<i>40</i>
<i>Crítérios de elegibilidade</i>	<i>40</i>
<i>Fontes de informação</i>	<i>40</i>
<i>Estratégia de busca</i>	<i>41</i>
<i>Seleção dos estudos</i>	<i>42</i>
<i>Coleta de dados</i>	<i>42</i>
<i>Qualidade metodológica e risco de viés</i>	<i>42</i>
<i>Abordagem estatística</i>	<i>42</i>
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
<i>Artigos incluídos na avaliação sistemática</i>	<i>43</i>
<i>Características dos estudos</i>	<i>44</i>
<i>Efeitos das estratégias de mitigação do estresse por calor</i>	<i>50</i>
<i>Relação entre THI e produção e composição do leite</i>	<i>52</i>
Conclusão	58

Considerações finais	66
-----------------------------------	-----------

APÊNDICES	67
------------------------	-----------

INTRODUÇÃO

A maior parte do território brasileiro está localizada em regiões de baixas latitudes, situadas entre o Equador e o Trópico de Capricórnio. Por esse motivo, predominam climas quentes e úmidos (ROHLEDER et al., 2022; GUIMARÃES-YAMADA et al., 2023), inclusive, em termos de avaliação da umidade, o clima varia entre as diferentes áreas, indo desde o superúmido, caracterizado por volumes de chuva superiores a 2.500 mm por ano, ao semiárido com médias de anuais que variam de 200 a 80 mm. Nessas regiões, há maior incidência de radiação solar, o que eleva as temperaturas médias. Apenas uma pequena fração do país, localizada na região Sul, encontra-se na zona subtropical. Assim, nas regiões mais quentes, os fatores climáticos impactam significativamente o conforto e o bem-estar animal, especialmente para bovinos de origem europeia, que podem não encontrar condições ideais para expressar plenamente seu potencial produtivo (FAÇANHA-MORAIS et al., 2013).

Segundo pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), os estados com maior produção de leite estão da região Sudeste e Sul do Brasil, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor nacional representando 27,4% da produção nacional com uma produtividade de 9,8 bilhões de litros. Com isso, observa-se que o clima dessa região é propício para a produção de leite, a topografia do estado de Minas Gerais possui características que envolvem, altitudes variando entre 76 a 2892m, que vai favorecer o aparecimento de circulações de mesoescala: brisa de vale e montanha, logo haverá influência na intensidade do vento e também a sua direção. Portanto, o estado classificado como tropical de altitude, terá temperaturas mais amenas e baixas, quando comparadas aos estados que estão mais próximos ao nível médio do mar, além de possuírem áreas com elevação (REBOITA et al., 2015).

Grande parte da produção leiteira no Brasil tem origem em pequenas e médias propriedades rurais, onde os animais são criados a pasto, mantidos ao ar livre e com isso, mais expostos à radiação solar, trazendo uma necessidade para a adaptação desses animais (CHEN et al., 2022; FERREIRA et al., 2024). Apesar das condições climáticas variadas, o país ocupa posição de destaque no cenário global da produção de leite, sendo o quarto maior produtor mundial, com uma estimativa de 35,7 bilhões de litros em 2024 (IBGE, 2024).

Bovinos leiteiros apresentam uma faixa de temperatura ideal, conhecida como zona de conforto térmico, na qual conseguem expressar seu potencial genético. Essa zona varia conforme raça, idade, sexo e condição fisiológica dos animais (GUIMARÃES-YAMADA et al., 2023). Quando as temperaturas ultrapassam os 21 °C, especialmente sob alta umidade, o bem-estar de vacas de raças europeias pode ser comprometido (GUIMARÃES-YAMADA et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2025).

A definição do estresse térmico por calor em vacas leiteiras é dada quando o animal é submetido ao estresse induzido, logo, não sendo capaz de dissipar o calor sem que ocorra uma modificação do equilíbrio térmico do corpo, entrando em situação de estresse por calor (GIANNONE et al., 2023).

Logo, o uso de indicadores que avaliem o conforto térmico dos animais é necessário para controle do estresse nos animais. Desses índices, os mais utilizados são: o Índice de Temperatura e Umidade (THI), que relaciona a temperatura de bulbo seco com a do ponto de orvalho (EL-TARABANY et al., 2017), e o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), que associa a temperatura de globo negro à temperatura do ponto de orvalho (BUFFINGTON et al., 1981). Sendo que, ambos fornecem valores numéricos que expressam o nível de estresse térmico sofrido pelos animais. Segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Girolando (2022), existe um limiar referente ao estresse por calor desses animais, sendo que o limite de conforto térmico é identificado por meio do índice de THI, ou seja, o índice de temperatura e umidade, em animais 7/8H, o limite é de THI: 77, cruzamentos 3/4H THI: 78, e para os cruzamentos 1/4H, 1/2H e 5/8H o limite foi 80.

Sob estresse térmico, os bovinos tendem a modificar seus comportamentos e funções fisiológicas em busca de amenizar os efeitos do calor. Reduções na frequência e quantidade de ingestão alimentar são comuns, pois visam reduzir o calor metabólico gerado pela digestão. Por outro lado, observa-se aumento na ingestão de água e procura por áreas sombreadas, principalmente durante as horas mais quentes do dia (WANKAR & YADAV, 2018; GUIMARÃES-YAMADA et al., 2023). No entanto, essas adaptações nem sempre são suficientes para dissipar o calor acumulado, o que pode acarretar queda significativa na produção de leite, com perdas estimadas em até 40% (STAPLES & THATCHER, 2011), além de impactos na hemodinâmica (SOUZA et al., 2011), alterações hormonais (SILVA, 2016) e prejuízos à reprodução.

A incapacidade dos animais de dissipar adequadamente o calor corporal pode provocar alterações nos parâmetros fisiológicos considerados normais, como a

temperatura retal (38,1 °C - 39,1 °C ; FERREIRA et al., 2006); a frequência respiratória (50 movimentos por minuto; SILVA et al., 2012); a frequência cardíaca, situada entre 60 e 70 batimentos por minuto (ROSSAROLLA, 2007); e a temperatura do pelame (31,6 °C - 34,7 °C ; MARTELLO et al., 2004). No entanto, a alteração isolada de apenas um desses indicadores pode não ser suficiente para caracterizar, por si só, um quadro de estresse térmico (ROSSAROLLA, 2007).

O estresse térmico também afeta sistemas hormonais, em especial os eixos hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) e hipotálamo-hipófise-gonadal (HHG) (SILVA, 2016; FERRO et al., 2010). A ativação do HHA resulta no aumento dos níveis de cortisol e catecolaminas, o que influencia o funcionamento do eixo hipotálamo-hipófise-tireoide (HHT), reduzindo a produção dos hormônios tireoidianos (T3 e T4) e gonadais, além de comprometer a função imunológica (MUKHERJEE et al., 2011). Em vacas leiteiras, uma das consequências mais evidentes é a queda tanto na quantidade quanto na qualidade do leite, resultado da redução no consumo alimentar e do aumento nos hormônios do estresse (COWLEY et al., 2015). Portanto, torna-se essencial adotar estratégias que atenuem os impactos negativos do calor sobre o bem-estar e o desempenho produtivo dos animais (BERNABUCCI et al., 2014).

Diante dos fatos referentes ao estresse por calor sobre a produção e metabolismo das vacas leiteiras, compreende-se a necessidade em saber, como os efeitos referentes ao estresse, serão expressos nas diversas condições ambientais, raças e tipos de sombreamento ou resfriamento. Mesmo que alguns estudos tratem sobre os efeitos do calor sobre parâmetros produtivos e fisiológicos, existem lacunas referentes às respostas entre diferentes condições experimentais e regiões geográficas. Logo, revisões de literatura, narrativas ou sistemáticas, permitem agrupar e analisar quantitativamente os resultados disponíveis na literatura.

Considerando os impactos conhecidos das condições térmicas elevadas sobre bovinos leiteiros, formula-se a hipótese que o estresse térmico promove reduções na produção de leite, modifica sua composição e compromete a imunidade das vacas, trazendo maior desafio fisiológico e menor eficiência produtiva desses animais. Em suma, o presente estudo teve como objetivo avaliar, por meio de uma revisão sistemática e uma metanálise, os efeitos do estresse por calor sobre o desempenho produtivo e a resposta imunológica de vacas leiteiras, auxiliando no aprimoramento de estratégias de manejo que minimizem os impactos das condições de estresse por calor sobre a produção de vacas leiteiras.

Capítulo 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fundamentos do estresse por calor

A definição de estresse é dada como uma condição externa que causa uma “tensão” no sistema biológico do animal. Definindo o estresse ambiental, essa tensão será mensurada através de uma mudança na temperatura corporal, fisiologia, produtividade, conservação de calor além de mecanismos de dissipação. O estresse por calor será induzido a partir do momento em que as condições ambientais forem maiores que a temperatura crítica superior do animal, tendo então uma demanda do aumento no metabolismo basal para lidar com esse estresse (COLLIER et al., 2019).

A transferência do calor é realizada através de mecanismos sensíveis (não evaporativos) e latentes (evaporativos). Condução, convecção e radiação são resultantes dos gradientes de temperatura entre o corpo e seu ambiente, já a evaporação é conduzida principalmente pelo gradiente de pressão de vapor. Logo, conforme a umidade relativa aumenta, o gradiente é reduzido, diminuindo assim a eficiência evaporativa. Com isso, a redução na eficiência nos mecanismos de dissipação de calor favorece o acúmulo de calor corporal e intensifica o estresse por calor (JO & LEE., 2025).

O comportamento, produtividade, reprodução e fisiologia das vacas, são resultados de várias interações, e uma delas é a interação entre o ambiente térmico e o corpo desse animal (HEMPEL et al., 2019). Logo, quando ocorre uma alteração no ambiente, as condições que garantem a homeostase, são excedidas, portanto, com o aumento da temperatura a vaca vai lidar com a nova situação ambiental, tentando trazer o equilíbrio novamente (HERBUT et al., 2021). A temperatura corporal das vacas normalmente se encontra entre 38 e 39 °C tendo variabilidade no período da manhã de aproximadamente $\pm 0,5$ °C, variando conforme a temperatura ambiente (TOGOE et al., 2024).

Variáveis meteorológicas

A criação de animais a pasto em regiões de clima tropical os torna mais expostos às variações climáticas extremas do que aqueles mantidos em sistemas de confinamento, sendo mais vulneráveis ao estresse térmico (BERMAN, 2011; MURGA-ORRILLO et al., 2025).

O clima é composto pela interação de diversas variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento e radiação solar. Esses elementos influenciam diretamente o desempenho dos animais, podendo afetar aspectos produtivos, fisiológicos e reprodutivos. Dessa forma, o clima constitui um dos principais fatores limitantes da eficiência zootécnica, sobretudo em sistemas de criação extensivos (TUCKER et al., 2008; WEST, 2003).

A temperatura do ar representa o grau de agitação das moléculas atmosféricas, intensificada pela incidência da radiação solar sobre a superfície terrestre. Essa variável é percebida de forma direta pelos animais e pode sofrer influência de fatores como latitude, composição dos gases atmosféricos e características físicas do ambiente. Quando a temperatura elevada se associa à alta umidade relativa, há comprometimento dos mecanismos de dissipação de calor, dificultando a termorregulação (YNOUE et al., 2017).

Apesar disso, estudos comprovam que durante exposição direta ao sol, a carga térmica de radiação solar pode elevar a temperatura retal dos animais, resultando em respostas fisiológicas importantes, enquanto não é totalmente capturado por variáveis apenas de temperatura do ar, visto que a radiação solar vai incidir diretamente no corpo do animal, aumentando rapidamente a sua temperatura corporal, enquanto a temperatura do ar afeta indiretamente o animal, dificultando a capacidade do animal em perder calor por convecção e evaporação (HENDRIKS et al., 2025).

A radiação solar corresponde à energia emitida pelo sol e transportada por ondas eletromagnéticas, sendo uma importante fonte de calor para o ambiente. Essa energia térmica incide diretamente sobre os animais, aumentando a carga calórica que precisa ser dissipada para manutenção da homeostase (SPARROW, 2018).

A umidade relativa do ar é definida como a razão entre a pressão de vapor de água existente no ar e a pressão de saturação, sendo expressa em porcentagem. Esse parâmetro é essencial para o conforto térmico, pois quando os níveis de umidade estão elevados, o processo de evaporação, tanto pela pele quanto pelo trato respiratório, é prejudicado, comprometendo o equilíbrio térmico do organismo. Em contrapartida, baixos níveis de umidade podem causar desidratação e irritações nas mucosas (FERRO et al., 2010; MURGA-ORRILLO et al., 2025).

Já o vento resulta do deslocamento de massas de ar causado por diferenças de pressão atmosférica. A circulação do ar — natural ou artificial, como por meio de ventiladores — exerce papel fundamental na melhoria do conforto térmico, pois auxilia

na remoção do vapor de água da superfície corporal. No entanto, esse efeito só é benéfico quando a temperatura do ar está inferior à temperatura corporal dos animais (BAÊTA & SOUZA, 2010).

Índices de conforto térmico

Entre os métodos disponíveis para avaliação do conforto térmico em bovinos, dois índices são os mais empregados: o Índice de Temperatura e Umidade (ITU ou THI) e o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) (FAÇANHA et al., 2013).

Índice de Temperatura e Umidade (ITU ou THI)

O THI é amplamente utilizado por sua simplicidade e por combinar a temperatura do ar com a do ponto de orvalho (EL-TARABANY et al., 2017). Diversas fórmulas foram propostas, sendo a mais aplicada aquela desenvolvida por Thom (1959) para seres humanos e posteriormente adaptada para bovinos por DU PREEZ et al. (1990).

A equação é expressa da seguinte forma:

$$THI = Tbs + 0,36 Tpo + 41,2$$

Em que:

- Tbs: temperatura de bulbo seco (°C);
- Tpo: temperatura do ponto de orvalho (°C).

Quando os animais permanecem em uma faixa adequada de THI, conseguem manter sua produção adequada para a raça. DU PREEZ et al. (1990) classificaram os valores em diferentes níveis:

- Normal: $THI < 70$
- Alerta: $70 \leq THI \leq 72$
- Crítico para produção de leite: $73 \leq THI \leq 78$
- Perigo: $79 \leq THI \leq 82$
- Emergência: $THI > 82$

Entretanto, estudos de ZIMBELMAN et al. (2009) demonstraram que valores acima de 68 já podem comprometer animais de alta produção, levando, por exemplo, à redução de até 2,2 kg de leite/dia. Ainda assim, esses limites variam conforme a raça, idade e estágio fisiológico.

O uso do THI, portanto, auxilia produtores na tomada de decisões para adotar estratégias de mitigação do estresse térmico, evitando perdas econômicas (BERTOCCHI

et al., 2014). Um estudo realizado por Cerutti et al. (2013) com vacas da raça Holandesa mostrou que na sala de espera climatizada, THI médio foi de 71,34 (condição normal), enquanto aqueles ambientes sem climatização alcançaram 79,76 (perigo), resultando em queda na produção de leite. Isso evidencia a relevância de um ambiente adequadamente climatizado para o bem-estar animal.

Em bovinos mestiços Holandês $\times$ Zebu ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ e $\frac{7}{8}$ HZ), Azevedo et al. (2005) observaram THI de 80, 77 e 75, respectivamente, sem alteração significativa na temperatura retal. O estudo sugeriu que vacas $\frac{1}{2}$ sangue HZ apresentaram maior tolerância ao calor do que as $\frac{7}{8}$ HZ, indicando que o grau de sangue pode ser um fator estratégico para definir cruzamentos que aumentem a rentabilidade na produção. Contudo, pesquisas adicionais ainda são necessárias para estabelecer com maior precisão os limites de THI para animais mestiços.

Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981), relaciona a temperatura de globo negro com a temperatura do ponto de orvalho. O globo negro mede a carga térmica radiante, ou seja, a quantidade de energia térmica trocada entre o animal e o ambiente (BUFFINGTON et al., 1981).

A fórmula para seu cálculo é:

$$ITGU = TGn + 0,36 Tpo + 41,5$$

Onde:

- TGn = temperatura do globo negro (°C)
- Tpo = temperatura do ponto de orvalho (°C)

Segundo Baêta e Souza (2010), valores de ITGU ≤ 74 indicam conforto térmico; entre 75 e 78 refletem estado de alerta; de 79 a 84 caracterizam perigo; e ≥ 85 representam situação de emergência, exigindo intervenções imediatas. Contudo, assim como ocorre com o ITU, esses limites podem variar em função da raça, idade e estágio fisiológico do animal.

Em estudo conduzido por Souza et al. (2010) com vacas mestiças (Holandês $\times$ Jersey), submetidas a ambientes com e sem sombra, observou-se que a presença de sombra resultou em ITGU médio de 74, classificado como conforto, além de menores valores de frequência respiratória e temperatura retal. Já os animais sem sombra apresentaram ITGU médio de 78, considerado nível de alerta.

De forma semelhante, Martello et al. (2004) avaliaram vacas Holandesas em três condições (ambiente controle, com sombrite e com aspersão + ventilação). O menor ITGU médio (75) foi registrado no ambiente climatizado, mas esse valor não se refletiu em maior ingestão de alimentos ou aumento da produção de leite. Isso evidencia que os valores críticos do ITGU ainda precisam ser melhor estabelecidos para diferentes situações produtivas.

Fisiologia do estresse por calor em vacas leiteiras

A temperatura alta no verão e o aumento da temperatura anual, são consideradas como uma das maiores ameaças à agricultura e à pecuária global. Na bovinocultura de leite, verifica-se uma maior sensibilidade às mudanças climáticas, pois o estresse térmico (HS) leva ao aumento de ocorrências como: doenças infecciosas e metabólicas, redução da produção de leite e queda da fertilidade desses animais, aumento na frequência respiratória, redução na ingestão de alimentos, aumento na frequência cardíaca, aumento no consumo de água, além de uma maior probabilidade dos animais a buscar áreas sombreadas (DOVOLOU et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2025). Ao serem expostas a uma temperatura acima do limiar de aceitação da sua zona termoneutra (16 a 25 °C) é caracterizado o estresse térmico por calor (SAMMAD et al., 2020).

A umidade relativa alta, associada com o aumento das temperaturas, vai aumentar o grau de estresse por calor das vacas leiteiras, portanto, para avaliar com exatidão as condições climáticas do conforto desses animais, o índice de temperatura e umidade (THI) foi considerado (LAZZARI et al., 2024). A escala do limiar do THI possui um consenso dos valores a serem considerados, que consiste quando a vaca começa a apresentar sinais de hipertermia. Esse valor foi relatado como variável em diferentes sistemas, iniciando a partir de 67 (PINTO et al., 2020) e 72 (PINTO et al., 2020; AMMER et al., 2018). Em situações de THI acima desses valores, os animais começaram a apresentar desconforto como resultado de hipertermia. Valores de THI < 68 apresentam condições ideais de conforto térmico, em que as vacas estão em homeostase, sem a necessidade de formas externas de dissipação do calor, observa-se estresse leve entre 69-78, em valores entre 79-89 as vacas apresentarão um sinal de alerta, sendo considerados estresse moderado, já valores acima de 90, os animais estarão severamente estressados, com risco de morte do animal. Porém, tem sido observado que a partir de um THI 65 já

ocorrem mudanças na frequência respiratória, quando as vacas estavam deitadas, aumentando para 70 quando estavam em pé (LAZZARI et al., 2024).

A classe dos mamíferos possui dois tipos de mecanismos para termorregulação: fisiológicos (ou reflexos) e comportamentais. Os mecanismos fisiológicos consistem nos efeitos involuntários que produzem respostas automáticas, como a geração ou dissipação do calor, após a ativação dos termorreceptores e a chegada de informações ao hipotálamo, que então serão retransmitidas através da medula espinhal e do mesencéfalo. A termorregulação comportamental depende das decisões voluntárias do animal. Os estímulos térmicos serão detectados através da via aferente que transfere a mensagem para a medula espinhal e o córtex cerebral, influenciando o nível de percepção de conforto térmico e decisão do indivíduo de ganhar ou perder calor. Esses comportamentos termorreguladores mais encontrados nos mamíferos, baseiam-se principalmente na procura por habitats frios ou quentes para que o organismo altere sua taxa de perda ou ganho de calor (MOTA-ROJAS et al., 2021).

Vias de dissipação de calor dos animais para o ambiente

Um dos maiores desafios na produção de leite nos países tropicais é a mitigação do estresse por calor nas vacas (JI et al., 2020, LEVIT et al., 2021). Vacas que se encontram em situações de estresse por calor, terão não apenas o seu bem-estar afetado, como também terão uma redução do consumo e desempenho animal (queda na produção de leite), assim como podem apresentar distúrbios metabólicos e alteração do microbioma ruminal, problemas reprodutivos (KIM et al., 2022). Vacas que são submetidas ao estresse por calor, apresentam modificações no pH ruminal e no perfil de ácidos graxos voláteis, ocorrendo uma diminuição do pH e consequentemente diminuição do acetato e aumento da concentração de lactato ruminal, havendo abundância de bactérias como *Streptococcus* e *Enterobacteriaceae* (KIM et al., 2022).

Quando estão em estresse por calor, os animais demonstram diversos mecanismos fisiológicos, comportamentais e endócrinos para poder lidar com o estresse. A diminuição da ingestão do alimento é um dos principais fatores que vai resultar em uma mudança no perfil dos microrganismos ruminais, sendo as bactérias celulolíticas *Fibrobacteres*, encontradas em grande escala, devido à alta resistência ao estresse por calor, e consequentemente haverá diminuição da produção de leite (SAMMAD et al., 2020)

Devido a essa mudança no perfil no microbioma ruminal, as vacas leiteiras terão maior probabilidade de apresentarem um quadro de acidose ruminal, pois com a queda do pH ruminal, haverá concentração e acúmulo de ácido láctico e então uma menor quantidade de bactérias fibrolíticas será observada, resultando então em uma menor digestibilidade da fibra (BAEK et al., 2020).

O ambiente influencia a regulação térmica animal por meio de diferentes mecanismos de troca de calor. Essa dissipação pode ocorrer de quatro formas: condução, convecção, radiação (mecanismos não evaporativos) e evaporação (por meio do suor e da respiração ofegante) (WEST, 2003).

As três primeiras vias dependem de um gradiente térmico entre o animal e o meio e correspondem a cerca de 75% das perdas de calor. Nesses casos, o excesso de calor corporal é transferido para um ambiente mais frio. Os 25% restantes são atribuídos à evaporação, mecanismo ativado quando os processos não evaporativos deixam de ser eficientes, isto é, quando a temperatura ultrapassa a zona de conforto térmico. Nesse estágio, a evaporação se torna a principal defesa do organismo contra o estresse térmico (COLLIER et al., 2006).

A condução consiste na transferência de calor por contato direto entre dois corpos com temperaturas diferentes. Assim, quando a pele do animal está mais quente que o ambiente, ocorre perda de calor para as moléculas de ar (FERRO et al., 2010). Esse processo, no entanto, é limitado por características individuais, como espessura da pelagem e quantidade de gordura, fatores que reduzem sua eficiência. Além disso, por depender do contato com superfícies mais frias, a condução é considerada a via menos efetiva de dissipação (BAÊTA & SOUZA, 2010).

A convecção ocorre pela movimentação de fluidos (líquidos ou gases) devido a diferenças de densidade, o que promove a troca de calor com superfícies mais quentes. Esse processo pode ser natural, pela circulação do ar, ou forçado, por exemplo, com o uso de ventiladores (CATTELAM & VALE, 2013).

A radiação, por sua vez, refere-se à transferência de calor por ondas eletromagnéticas, que incluem radiação cósmica, gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelho e ondas hertzianas, abrangendo desde o limite do espectro visível até a faixa de micro-ondas (SPARROW, 2018).

Por fim, a evaporação corresponde à transformação gradual da água do estado líquido para o gasoso em resposta ao aumento da temperatura. Quando o ambiente excede a zona de conforto térmico e os mecanismos não evaporativos perdem eficiência, os

animais recorrem à evaporação como forma de equilíbrio térmico, seja pela transpiração, seja pela respiração acelerada (MAIA et al., 2009).

Zona de conforto térmico

Assim como outros mamíferos, os bovinos mantêm sua temperatura corporal relativamente estável, mesmo diante de variações no ambiente, razão pela qual são classificados como animais homeotérmicos. Para alcançar esse equilíbrio, utilizam tanto mecanismos fisiológicos quanto comportamentais (FERRO et al., 2010).

Existe uma faixa de temperatura em que a ativação desses mecanismos é mínima. Essa faixa é chamada de zona de conforto térmico ou termoneutralidade, delimitada pelas temperaturas críticas inferior e superior (FERRO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2025).

Na literatura, não há consenso sobre os limites exatos dessa zona, já que fatores como condições climáticas, raça, nível produtivo, estado fisiológico e nutrição podem influenciá-la. Segundo Pereira (2005), animais de origem europeia (*Bos taurus taurus*) apresentam faixa de conforto entre 0 e 16 °C, enquanto bovinos de origem indiana (*Bos taurus indicus*) toleram melhor o calor, situando-se entre 10 e 27 °C. Para Martello et al. (2004), vacas em lactação mantêm-se em conforto térmico entre 4 e 24 °C, embora, em situações de maior umidade, esse intervalo possa se reduzir para 7 a 21 °C (MARTELLO et al. (2004; MOURA-BAEMA et al., 2019). Valores de temperatura de 10 a 20 °C são adequados para bovinos leiteiros (NASCIMENTO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2025) (Figura 1).

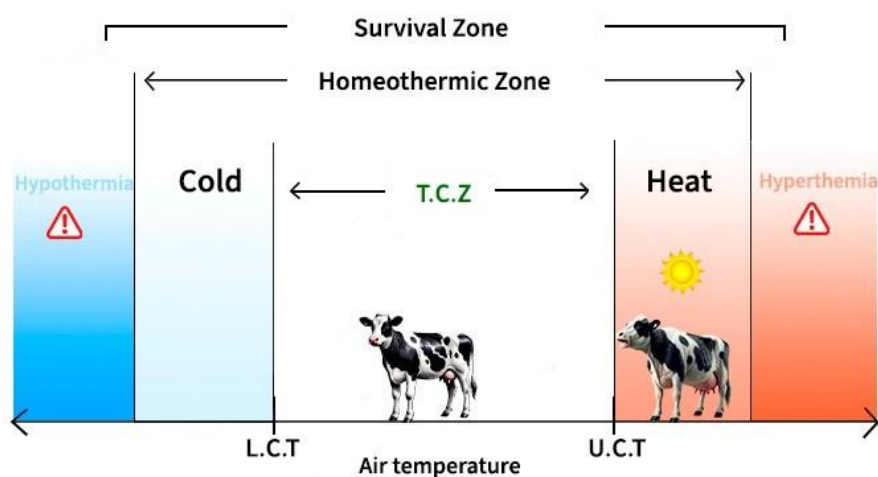


Figura 1. Representação esquemática do Conforto animal, homeotérmico. Onde T.C.Z. Zona de Conforto Térmico, L.C.T é a temperatura crítica inferior e U.C.T. é a temperatura crítica superior. Fonte: OLIVEIRA et al. (2025).

Efeitos do estresse por calor em vacas leiteiras

Parâmetros comportamentais

Sob condições de estresse térmico, os bovinos recorrem a ajustes fisiológicos e comportamentais na tentativa de manter a temperatura corporal em equilíbrio. Um dos sinais mais evidentes é a redução no consumo de matéria seca, o que diminui o tempo de ruminação e aumenta os períodos de ócio, resultando em menor produção de calor interno (WANKAR & YADAV, 2018). Essa queda na ingestão de alimentos também reduz a disponibilidade de energia para a síntese de leite, podendo ocasionar perdas entre 25 e 40% (STAPLES & THATCHER, 2011).

A elevação da temperatura corporal causada pelo estresse térmico provoca inibição do centro do apetite, localizado no hipotálamo, o que leva à redução progressiva do consumo de alimentos (BACCARI JUNIOR, 2001).

O comportamento alimentar sofre alterações adicionais: os animais passam a se alimentar em intervalos mais curtos e em pequenas porções, preferindo os horários mais frescos do dia. Além disso, há maior consumo de concentrados em detrimento da forragem, visto que a digestão de fibras demanda maior esforço muscular e gera mais calor (MALAFAIA et al., 2011). Outro efeito comum é o aumento da ingestão de água (WANKAR & YADAV, 2018).

O balanço térmico do organismo é composto pelo calor proveniente da radiação solar, do ambiente e da atividade muscular, além da contribuição significativa da fermentação ruminal, responsável pela produção de calor durante o metabolismo dos alimentos (SILVEIRA et al., 2016).

Outros sinais associados ao estresse térmico incluem respiração ofegante, salivação excessiva, inquietação (como chutes e movimentos de cauda), presença de muco nasal e lacrimejamento acentuado (WANKAR & YADAV, 2018).

Em pesquisa realizada por Lágana et al. (2005), vacas da raça Holandês mantidas em sistema *free-stall* com ou sem aspersão de água apresentaram diferenças significativas: os animais do grupo controle (sem aspersão) consumiram mais água, visitaram com maior frequência o cocho e, conseqüentemente, produziram maior volume de fezes e urina. Já WANKAR & YADAV (2018), ao expor animais a temperaturas

crescentes (25, 30, 35 e 40 °C), observaram que, nas condições mais extremas, surgiram todos os sinais de desconforto: perda de peso devido à redução na ingestão de alimentos, suor, respiração acelerada, salivação intensa, menor tempo de ruminação e maior consumo de água.

Parâmetros fisiológicos

Frequência respiratória

O aumento da frequência respiratória é o primeiro sinal visível de estresse térmico em bovinos, constituindo um mecanismo eficiente de dissipação de calor para o ambiente. Contudo, quando essa resposta é mantida por longos períodos, pode comprometer a ingestão de alimentos, a ruminação, gerar calor endógeno e desviar energia que seria utilizada em outros processos fisiológicos (SILVA et al., 2012).

A elevação contínua da frequência respiratória pode levar à alcalose respiratória. Esse distúrbio ocorre pelo aumento da eliminação de CO₂ nos pulmões, resultando na redução de sua concentração sanguínea. Para restabelecer o equilíbrio ácido-básico, os rins intensificam a excreção de HCO₃⁻ na urina, o que eleva o pH sanguíneo, tornando-o mais alcalino (DAS et al., 2016).

De acordo com Hahn et al. (1997), valores de até 60 movimentos por minuto indicam ausência de estresse térmico. Frequências acima de 120 movimentos por minutos indicam sobrecarga de calor, enquanto valores superiores a 160 movimentos por minutos caracterizam estresse severo, exigindo medidas emergenciais.

Silva et al. (2012) relataram que bovinos não apresentam frequência respiratória superior a 50 mov.min⁻¹ em temperaturas ambientais abaixo de 26 °C. Em vacas da raça Holandês, o aumento da frequência respiratória é observado a partir de 18 °C, enquanto em vacas Jersey esse limite é de 21 °C.

Naas et al. (2001), avaliando vacas leiteiras a pasto no outono em São Paulo (Brasil), compararam diferentes estratégias de climatização: sombreamento artificial (S), sombreamento com ventilação (SV) e sombreamento associado à ventilação e aspersão (SVA). Os autores observaram médias semelhantes de frequência respiratória entre os tratamentos (34,8; 32,56 e 34,76 movimentos por minutos, respectivamente), confirmando que tanto o sombreamento quanto sistemas adiabáticos evaporativos contribuem para a redução do estresse térmico.

Resultados semelhantes foram obtidos por Avendaño-Reyes et al. (2010), que testaram diferentes horários de resfriamento em vacas Holandesas. Animais submetidos

a períodos mais prolongados de resfriamento apresentaram menores valores de frequência respiratória e temperatura retal, refletindo em melhor desempenho produtivo.

Temperatura retal

A temperatura retal (TR) é um dos principais indicadores da adaptabilidade fisiológica de bovinos em ambientes quentes. O equilíbrio entre o calor ganho e dissipado deve ser mantido, pois o aumento de apenas 1 °C na TR indica falha nos mecanismos de termorregulação, caracterizando estresse térmico (SILVA et al., 2012).

A TR média considerada normal em bovinos é de 38,3 °C, podendo variar conforme raça, idade, estado fisiológico, nutrição e horário da aferição. Na literatura, Ferreira et al. (2006) reportaram valores entre 38,1 e 39,1 °C, enquanto Du Preez (1990) descreveu variação de 38 a 39,5 °C para vacas da raça Holandês.

Ferreira et al. (2006) verificaram que, no verão e no inverno, a TR manteve-se dentro da normalidade no período da manhã (média de 38,0 °C). No entanto, à tarde, os valores aumentaram significativamente (40,6 °C no inverno e 41,1 °C no verão), evidenciando que a temperatura retal apresenta ritmo circadiano e se eleva em horários mais quentes.

Cerutti et al. (2013), ao estudarem vacas mantidas em sala de espera com ou sem climatização (sombreamento + aspersão), observaram que os animais climatizados apresentaram menores valores de TR (38,8 °C) em comparação ao grupo controle (39,4 °C), ressaltando a relevância de estratégias de mitigação do estresse térmico.

Frequência cardíaca

A frequência cardíaca (FC) é influenciada por fatores ambientais (temperatura, umidade, ventilação) e intrínsecos (exercício, produção de leite, medo e estado fisiológico) (Ferreira et al., 2006). Além disso, o grau de adaptação dos animais ao calor também interfere em seus valores (CERUTTI et al., 2013).

Em bovinos adultos, a frequência cardíaca varia entre 60 e 70 batimentos por minuto. Contudo, valores acima de 70 bat.min⁻¹ não caracterizam, isoladamente, a presença de estresse térmico, já que a FC pode ser modulada por outros fatores (ROSSAROLLA, 2007).

Cerutti et al. (2013), ao estudarem vacas leiteiras da raça Holandês submetidas à climatização (aspersão) apresentaram redução média de 12 bat.min⁻¹ em relação ao grupo

controle (54 contra 67 bat.min⁻¹), evidenciando novamente a importância de sistemas que amenizem o estresse térmico.

Temperatura do pelame

O pelame desempenha papel fundamental na proteção térmica dos bovinos, tanto contra o frio quanto contra o calor. Sua temperatura superficial pode variar em função da temperatura ambiente, umidade, radiação solar, velocidade do vento (NASCIMENTO et al., 2013) e coloração dos pelos (MARTELLO et al., 2004).

Em regiões tropicais, a conformação ideal do pelame é composta por pelos claros, curtos, assentados, grossos e sobre pele pigmentada (MARTELLO et al., 2004). Pelagens brancas refletem mais radiação solar, enquanto as pigmentadas absorvem maior quantidade de calor.

Maia et al. (2009) observaram que, em vacas Holandesas, a pelagem branca apresentava maior densidade, pelos mais longos e condutividade térmica superior à preta (53,15 mW.m⁻¹.K⁻¹ contra 49,25 mW.m⁻¹.K⁻¹). Assim, animais com maior proporção de pelagem branca tendem a ser menos suscetíveis ao estresse térmico.

A aferição da temperatura superficial do pelame (TP) pode ser realizada por câmeras termográficas ou infravermelhas em diferentes regiões corporais, como cabeça, pescoço, garupa, flanco, cernelha e abdômen. Essa variabilidade é necessária porque diferentes áreas do corpo apresentam temperaturas distintas em função da atividade metabólica local, com valores variando de 31,6 °C a 34,7 °C (MARTELLO et al., 2004).

Parâmetros hematológicos

O sangue desempenha papel essencial na regulação térmica dos animais, e o hemograma constitui uma ferramenta importante para avaliar tanto o estresse térmico quanto a capacidade de adaptação. Entretanto, os valores hematológicos de referência podem variar em função de fatores como sexo, idade, raça, estado fisiológico, horário de coleta e condições climáticas (SOUZA et al., 2011).

Durante o estresse calórico, os animais recorrem a mecanismos de dissipação de calor, como aumento da frequência respiratória, sudorese, vasodilatação periférica e ofegação. Esses processos intensificam a perda de líquidos corporais, reduzindo o volume plasmático e promovendo elevação do hematócrito (SOUZA et al., 2011).

Alterações nas células sanguíneas afetam parâmetros como o hematócrito (percentual de hemácias no sangue total), a contagem de leucócitos e eritrócitos, além do teor de hemoglobina (IRIADAM, 2007).

Ferreira et al. (2009) observaram que bovinos apresentaram valores mais altos de hemácias, hemoglobina e hematócrito no período da tarde em comparação à manhã, indicando que as horas mais quentes do dia favorecem a hemoconcentração devido à maior perda de líquidos.

Dalcin et al. (2016), ao avaliarem vacas das raças Holandesa (HO) e Girolando ($\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ HO), constataram maiores valores de hemácias, hematócrito e hemoglobina no grupo $\frac{1}{2}$ HO. Segundo os autores, essa diferença pode estar relacionada a fatores genéticos, de manejo ou nutricionais.

Minerais

Os minerais exercem funções essenciais no organismo, participando da formação de ossos e dentes, coagulação sanguínea, funcionamento do sistema nervoso, regulação da pressão osmótica e do equilíbrio ácido-básico dos fluidos corporais. Situações de estresse térmico alteram a concentração desses elementos, dependendo da intensidade e da duração da exposição ao calor (WANKAR & YADAV, 2018).

O potássio (K^+) é o principal cátion intracelular, enquanto o sódio (Na^+) e o cloro (Cl^-) predominam no meio extracelular. Em condições de estresse severo, ruminantes perdem grandes quantidades de K^+ , principalmente pela sudorese. O calor elevado reduz as concentrações séricas de K^+ e Na^+ , em decorrência da eliminação de sais como cloreto de potássio (KCl), bicarbonato de potássio ($KHCO_3$) e bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) pelo suor e pela urina. Nesse contexto, a concentração de Cl^- tende a aumentar, reduzindo a excreção de H^+ e a reabsorção de HCO_3^- nos rins (MARAI & HAEEB, 2010).

Em estudo experimental, animais mantidos a diferentes temperaturas (25, 30, 35 e 40 °C) apresentaram redução nas concentrações séricas de Na^+ e K^+ à medida que a temperatura se elevava, resultado de maior excreção desses íons. O aumento concomitante do Cl^- sérico foi associado à excreção renal de bases, sendo suas variações geralmente proporcionais aos níveis de sódio, à quantidade de água corporal e ao volume plasmático, e inversamente proporcionais à concentração plasmática de bicarbonato (WANKAR & YADAV, 2018).

Por outro lado, Ferreira et al. (2009a) constataram aumento de Na^+ e K^+ em bovinos submetidos a estresse térmico agudo no período da tarde. Esse resultado foi

associado à maior secreção de mineralocorticoides, que estimulam a reabsorção tubular de sódio, além da transferência de potássio do meio intracelular para o extracelular, fenômeno relacionado à desidratação.

Alterações hormonais

As variações nas concentrações de determinados hormônios constituem respostas endócrinas típicas ao estresse térmico. Por esse motivo, compreender os efeitos do estresse calórico sobre a atividade hormonal é essencial. Entre os principais hormônios envolvidos destacam-se o cortisol, os hormônios tireoidianos (T3 e T4), a insulina e os gonadotróficos (LH e FSH).

Cortisol

Uma das formas pelas quais o organismo responde ao estresse térmico é por meio da modulação da secreção de hormônios do sistema neuroendócrino, mediada pela ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) (DALCIN et al., 2016). Esse processo inicia-se quando estímulos estressores, conduzidos por impulsos nervosos, atingem o sistema nervoso central, ativando células paraventriculares do hipotálamo, que liberam o hormônio liberador de corticotrofina (CRH). O CRH, transportado via sistema porta-hipofisário, estimula a hipófise a secretar ACTH (hormônio adrenocorticotrófico). O ACTH, por sua vez, alcança o córtex adrenal, induzindo a produção de cortisol (ENCARNAÇÃO, 1986; BARBOSA et al., 2021).

O cortisol, um glicocorticoide derivado do colesterol, é a principal resposta endócrina do eixo HHA ao estresse. De ação catabólica, promove a degradação de proteínas musculares e de reservas lipídicas, aumentando a disponibilidade de glicose no sangue — essencial como fonte rápida de energia em situações adversas (DALCIN et al., 2016).

Ferreira et al. (2009a) avaliaram bovinos sob condições de termoneutralidade (22 °C e 70% UR) e de estresse calórico (42 °C e 60% UR) em diferentes estações e períodos do dia, observaram maior concentração plasmática de cortisol durante o verão, sobretudo à tarde, indicando estresse agudo. Da mesma forma, Veissier et al. (2018) relataram que vacas com acesso à sombra apresentaram menores taxas respiratórias, temperatura retal mais baixa e menores níveis de cortisol, evidenciando a importância de práticas de manejo que favoreçam o bem-estar, mesmo em países de clima temperado. De fato, evitando-se o estresse térmico das vacas leiteiras desencadeia-se melhorias no bem-estar animal que reflete no aumento da produção e mais dinheiro no bolso do produtor (RASLAN, 2007) (Figura 2).

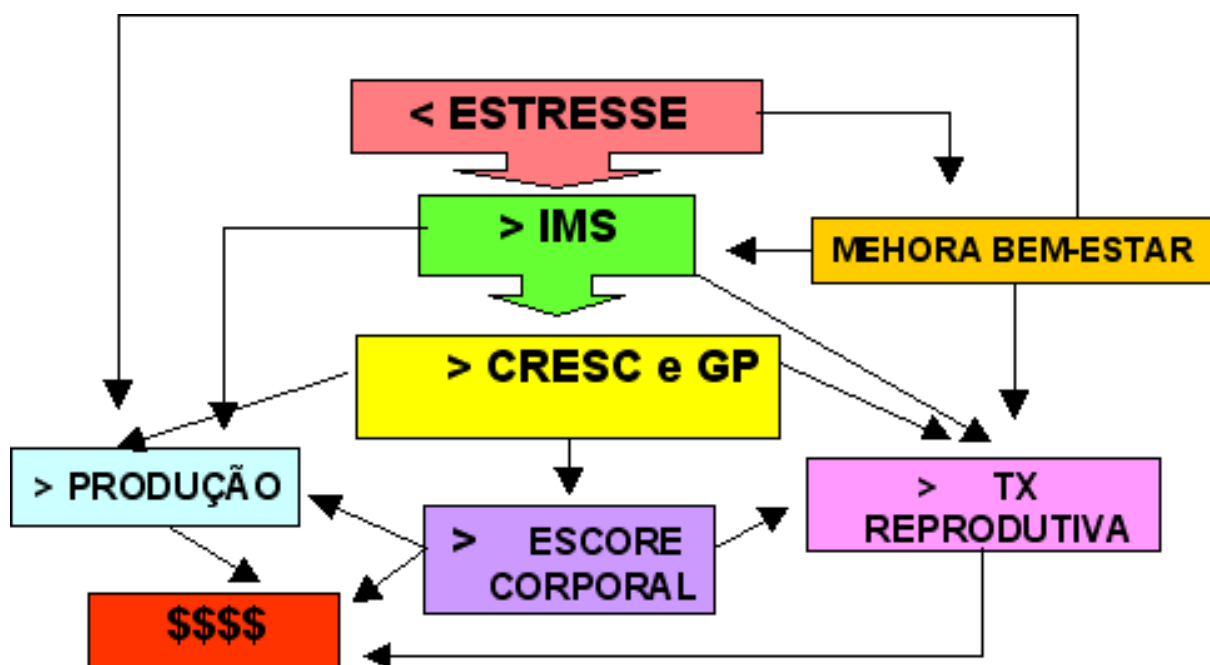


Figura 2. Esquema da influência do estresse na produção e reprodução animal.

Fonte: (RASLAN 2007).

Hormônios tireoidianos (T3 e T4)

Os hormônios tireoidianos estão diretamente relacionados à termogênese, pois elevam a taxa metabólica ao aumentar o consumo de oxigênio pelos tecidos, disponibilizar glicose e estimular a síntese proteica, fatores essenciais para a produção de calor e o metabolismo do animal (HOROWITZ, 2002; FAÇANHA-MORAIS et al.,

2008). Em ambientes acima da zona de conforto térmico, observa-se redução nos níveis circulantes de T3 e T4, mecanismo adaptativo que diminui a produção de calor metabólico (WANKAR & YADAV, 2018).

O T4, produzido pela glândula tireoide sob estímulo do eixo hipotálamo-hipófise-tireoide (HHT), é convertido em T3 pela deiodação enzimática, sendo este o metabólito biologicamente ativo (TODINI et al., 2007). Em situações de estresse térmico, a conversão de T4 em T3 é reduzida, resultando em menores concentrações de T3 no plasma (FAÇANHA-MORAIS et al., 2008).

Moraes et al. (2008) verificaram que vacas leiteiras expostas a maior carga térmica radiante apresentaram aumento da frequência respiratória e da temperatura retal, associados a menores concentrações plasmáticas de T3 e T4. Nascimento et al. (2013) observaram diferenças genéticas entre raças, com vacas Guzerá apresentando menores concentrações de T4 que as vacas da raça Holandês sugerindo maior adaptação das raças zebuínas a ambientes quentes. Já Avendaño-Reyes et al. (2010) avaliaram diferentes protocolos de resfriamento e concluíram que a eficácia depende da constância e da frequência das práticas de climatização, sobretudo durante o verão.

Insulina

A insulina, hormônio anabólico secretado pelas células β -pancreáticas, regula o metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas. Em animais sob estresse térmico, frequentemente são observados níveis mais elevados de insulina no sangue, embora os mecanismos ainda não estejam totalmente esclarecidos (BAUMGARD & RHOADS, 2012).

Durante o estresse calórico, a ingestão de alimentos tende a diminuir, predispondo as vacas ao balanço energético negativo (BEN). Em condições normais de lactação, o BEN promove mobilização de gordura corporal e aumento dos ácidos graxos não esterificados (AGNE) no plasma. Entretanto, vacas em estresse térmico apresentam menores concentrações de AGNE, devido ao efeito da insulina elevada, que reduz a lipólise (BERNABUCCI et al., 2010).

Esse redirecionamento metabólico aumenta o consumo de glicose pelos tecidos periféricos, especialmente o muscular, diminuindo sua disponibilidade para a glândula mamária, o que compromete a síntese de lactose e, consequentemente, a produção e a qualidade do leite (BAUMGARD & RHOADS, 2012).

Hormônios gonadotróficos (LH e FSH)

O estresse térmico também afeta o eixo hipotálamo-hipófise-gonadal (HHG), uma vez que a ativação dos eixos HHA e HHT interfere na liberação do GnRH e, por consequência, reduz a secreção de LH e FSH (FERRO et al., 2010; ROCHA et al., 2012).

Esses hormônios desempenham papéis fundamentais na reprodução: o LH promove o crescimento final do folículo e a formação do corpo lúteo, enquanto o FSH estimula o desenvolvimento folicular e a produção de estrógeno e inibina (WOLFENSON et al., 2000). Alterações em sua secreção podem comprometer a detecção do estro, a qualidade e quantidade de oócitos, bem como a fertilização e a implantação embrionária (OZAWA et al., 2002).

O estresse crônico, em especial, reduz os níveis de LH, levando à formação de folículos menores e ovócitos de menor qualidade (WOLFENSON & ROTH, 2019). Esse quadro pode ser agravado pelo aumento do cortisol, que inibe a aromatase, enzima essencial para a síntese de estradiol, resultando em menor expressão do estro e prejuízo na ovulação (DAS et al., 2016; WOLFENSON & ROTH, 2019).

Guzeloglu et al. (2001) demonstraram que vacas submetidas a altas temperaturas apresentaram queda nos níveis de estradiol e aumento da progesterona, devido à menor atividade da aromatase. Resultados semelhantes foram descritos por Roth et al. (2005), que relataram redução da produção de estradiol folicular e comprometimento da maturação dos oócitos. Além disso, Wolfenson et al. (2001) verificaram que a produção de progesterona no verão foi três vezes inferior à observada no inverno, ressaltando a necessidade de medidas de mitigação, como o resfriamento, para preservar a fertilidade.

Produção e composição do leite

Produção

Vacas leiteiras, especialmente as de alta produção, expressam seu máximo potencial quando mantidas dentro da zona de conforto térmico. Um aumento de apenas 1 °C acima da temperatura crítica superior já desencadeia mecanismos fisiológicos que resultam, entre outras consequências, na redução da produção de leite (STAPLES & THATCHER, 2011). Estima-se que o estresse térmico seja responsável por perdas de até 35% na produção leiteira (BAUMGARD & RHOADS, 2012).

Segundo Cowley et al. (2015), a queda na produção ocorre por dois fatores principais: a redução no consumo de matéria seca e os mecanismos fisiológicos de adaptação ao calor. Em experimento com vacas expostas gradualmente ao estresse térmico, os autores observaram queda de 20% na produção de leite, resultado não apenas da menor ingestão de alimentos, mas também do redirecionamento de nutrientes para outros tecidos em detrimento da glândula mamária, como estratégia de adaptação.

Nesse sentido, adotar medidas que minimizem os efeitos do calor é essencial para manter a produtividade. Em estudo com vacas Holandesas mantidas em câmeras bioclimáticas e submetidas a diferentes protocolos de ventilação (contínua, das 11h às 19h e das 23h às 7h), verificou-se que os animais expostos à ventilação contínua apresentaram maior produção de leite, evidenciando a eficácia de práticas de climatização (SPIERS et al., 2018; BARBOSA et al., 2021).

Composição do leite

O estresse térmico também afeta a composição do leite, resultando em menores teores de gordura, proteína e sólidos totais, em grande parte devido à redução na ingestão de alimentos.

A diminuição da gordura pode estar associada à menor ingestão de volumosos, que altera a relação acetato/propionato no rúmen e, conseqüentemente, a composição do leite (COWLEY et al., 2015). De acordo com Staples e Thatcher (2011), dietas contendo cerca de 65% de forragem ajudam a preservar o teor de gordura, enquanto dietas menos fibrosas podem levar à redução dos ácidos graxos de cadeia curta e aumento dos de cadeia longa.

O menor consumo alimentar também reduz a proteína do leite, tanto pelo menor aporte proteico da dieta quanto pela menor síntese de proteína microbiana ruminal (STAPLES & THATCHER, 2011). Por outro lado, leve desidratação pode elevar as concentrações de proteína e albumina (GARCIA et al., 2015). Já o aumento da ingestão de água, comum em animais sob calor, pode resultar em diluição dos sólidos totais (RICCI et al., 2013).

O estresse térmico compromete ainda o sistema imunológico, elevando a incidência de mastite e aumentando a contagem de células somáticas (CCS), uma vez que altas temperaturas e umidade favorecem a proliferação de microrganismos. A lactose, componente menos afetado, pode diminuir em vacas com CCS elevada, devido à redução de sua síntese pela glândula mamária, o que contribui para a queda na produção de leite,

já que a lactose regula o volume secretado (LUDOVICO et al., 2015; POLSKY & VON KEYSERLINGK, 2017).

Alterações nos minerais também podem ocorrer, como a queda nos níveis de cálcio e potássio. Este último, principal eletrólito perdido pelo suor em ruminantes, apresenta redução mais acentuada (CERUTTI et al., 2013).

Em estudo abrangente, Bernabucci et al. (2014) analisaram 1,5 milhão de registros de composição do leite de mais de 191 mil vacas em 484 fazendas italianas e observaram que, no verão, os teores de gordura, proteína, sólidos totais e frações de caseína foram menores em comparação ao inverno. Essa alteração comprometeu inclusive a coagulação do leite, prejudicando a produção de queijos. Por outro lado, Cerutti et al. (2013) não encontraram diferenças significativas na composição entre grupos com ou sem acesso a sombra e aspersão antes da ordenha, justificando o resultado pelo tempo reduzido de climatização. Ainda assim, os animais climatizados apresentaram parâmetros fisiológicos mais estáveis, como menor frequência cardíaca, respiratória e temperatura retal.

Imunidade

Além dos efeitos mencionados, o estresse por calor pode debilitar a saúde do animal, com fortes consequências para o sistema imune. Foi demonstrado por Lacetera et al. (2005) que o estresse por calor pode influenciar células imunes de vacas leiteiras da raça Holandesa no período pré-parto. Mais recentemente, Joo et al. (2021), por meio do acesso às células mononucleares de sangue periférico (PBMCs), observaram maior população de células B em vacas da raça Holandês sob estresse por calor.

A expressão de genes importantes para o sistema imune tem sido uma maneira adicional de estudar os efeitos do estresse por calor sobre a imunidade de vacas leiteiras. As interleucinas (IL-1B e IL-6), assim como o fator de necrose tumoral alfa (TNF-) e a molécula de adesão intracelular (ICAM-1) são indicadores pró-inflamatórios que podem estar envolvidas com a resposta ao estresse por calor. Aparentemente, a elevação dos níveis de cortisol causada pelo estresse causa inibição da produção destes fatores pró-inflamatórios, o que pode ser observado por meio da expressão gênica a nível sistêmico e local (glândula mamária, por exemplo).

Estratégias para amenizar os efeitos do estresse térmico em bovinos leiteiros

As principais estratégias para mitigar o estresse térmico incluem o manejo nutricional, programas de cruzamento, protocolos reprodutivos e diferentes formas de

climatização, como sombreamento natural ou artificial, ventilação e aspersão de água (LAINNY et al, 2023). A escolha da estratégia mais adequada deve considerar as necessidades dos animais, os recursos disponíveis na propriedade, a capacidade de investimento dos produtores e as condições ambientais da região (BARBOSA et al., 2021).

Sombreamento

O sombreamento, seja natural ou artificial, constitui uma das medidas mais simples e eficazes para reduzir os impactos do estresse térmico sobre a reprodução, a produção e a saúde de bovinos leiteiros, sendo frequentemente apontado como o primeiro passo a ser adotado pelos produtores (BARBOSA et al., 2004).

Em estudo com vacas da raça Holandês no verão, Barbosa et al. (2004) observaram que tanto a sombra natural quanto a artificial, bem como a aspersão de água, melhoraram as respostas fisiológicas e produtivas dos animais. De forma semelhante, Eigenberg et al. (2010) avaliaram diferentes materiais de cobertura e constataram que todos os tipos testados proporcionaram melhores condições de bem-estar em comparação à ausência de sombra. Assim, a oferta de sombreamento adequado, principalmente nos períodos mais quentes do dia, representa estratégia essencial para o conforto térmico de vacas leiteiras (RODRIGUES et al., 2010).

Sombreamento natural

O sombreamento natural, fornecido por árvores, cria um microclima mais favorável, reduzindo a radiação solar em até 30%, dependendo da espécie, e diminuindo a temperatura ambiente em cerca de 4 °C em regiões tropicais. Em comparação ao sombreamento artificial, tende a elevar a umidade do ar, favorecendo ainda mais o bem-estar animal (ALVES et al., 2015; GUIMARAES-YAMADA et al., 2023).

Para serem eficazes, as árvores devem apresentar características específicas, como crescimento rápido, folhas perenes, copa ampla e bem formada, além de não produzirem frutos grandes que possam representar risco aos animais (SOUZA et al., 2010). Gurguel et al. (2012), ao avaliar diferentes espécies arbóreas, verificaram que a copaíba se destacou por reter aproximadamente 26% da radiação solar, sendo uma excelente alternativa para mitigar o estresse térmico.

Ferreira et al. (2014) mostraram que vacas mantidas em áreas com bosques ou árvores dispersas apresentaram melhores índices de pastejo, ruminação e ingestão de

água, além de menor temperatura retal e frequência respiratória, quando comparadas a animais sem sombra. Esses resultados indicam benefícios não apenas para o bem-estar animal, mas também para a produtividade do sistema. De forma complementar, Veissier et al. (2018) relataram que o uso de árvores associado a telas resultou em menor frequência respiratória, menor temperatura retal e menores níveis de cortisol no leite, reforçando o potencial positivo do sombreamento natural sobre a saúde e a produção.

Sombreamento artificial

O sombreamento artificial é uma alternativa viável principalmente para rebanhos de alta produção, podendo ser instalado em piquetes, áreas de espera pré e pós-ordenha ou em estruturas móveis (CERUTTI et al., 2013). Entre os materiais utilizados estão telas de polipropileno, telhas de fibrocimento, galvanizadas, de ferro, palhas e pilares de eucalipto (SOUZA et al., 2010).

Embora ainda não haja consenso sobre a área mínima ideal de sombra por animal, estima-se que um bovino deitado ocupe cerca de 1,8 m². Contudo, áreas próximas a esse valor são insuficientes em climas tropicais, sendo recomendadas áreas entre 5,6 e 9,6 m², o que reduz a competição entre animais (ALVES et al., 2015).

O material mais utilizado é a tela de polietileno (“sombrite”), que apresenta baixo custo e diferentes níveis de retenção de radiação, sendo a de 80% a mais comum (CONCEIÇÃO et al., 2009). Em avaliação de diferentes coberturas, Conceição (2009) constatou que todas reduziram o estresse térmico, mas o fibrocimento apresentou melhores resultados.

A preferência dos animais pelo sombreamento também foi demonstrada por Schutz et al. (2011), que verificaram maior uso da sombra (62%) em comparação à aspersão de água (38%), mesmo quando os parâmetros fisiológicos eram mais favoráveis durante a aspersão.

Ventilação

A ventilação, natural ou artificial, desempenha papel fundamental na redução do estresse térmico, pois contribui para a remoção da umidade, a dissipação de gases, a renovação do ar e a dispersão do calor acumulado. A ventilação forçada geralmente é associada a sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, potencializando seus efeitos (PINHEIRO, 2012; BARBOSA et al., 2021).

Sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE)

A utilização de água como ferramenta de resfriamento é relativamente recente. Barreiras físicas, como telas e telhas, e ventiladores isolados mostraram-se insuficientes para o controle da homeotermia, levando ao desenvolvimento de sistemas que empregam água, frequentemente combinados com ventilação (WOLFENSON & ROTH, 2019).

Os SRAE podem atuar tanto sobre o ambiente quanto diretamente sobre os animais, aumentando o conforto térmico e o bem-estar. Eles se dividem em três categorias:

- **MIST:** nebulização de baixa e média pressão;
- **FOG:** nebulização de alta pressão;
- **SPRINKLING:** sistemas de aspersão com gotas maiores.

Enquanto MIST e FOG reduzem a temperatura do ar por meio da evaporação de gotículas, sendo mais indicados para ambientes fechados, o SPRINKLING atua diretamente na pelagem, facilitando a perda de calor. Além disso, o sistema de aspersão auxilia na redução da presença de insetos e de comportamentos de defesa, como tremores e abano de cauda (SCHUTZ et al., 2011).

Os efeitos positivos desses sistemas são amplos: além de melhorar parâmetros fisiológicos e produtivos, também beneficiam a reprodução, aumentando taxas de gestação (HANSEN, 2009; WOLFENSON & ROTH, 2019). Igono et al. (1988) observaram que vacas submetidas a aspersão e ventilação apresentaram menor temperatura retal e produziram cerca de 2 kg a mais de leite por dia em relação a vacas apenas com acesso à sombra.

Resultados semelhantes foram relatados por Perissinotto et al. (2003), que registraram aumento de 8% na produção de leite em vacas sob aspersão associada à ventilação em comparação à nebulização. Tao et al. (2011) também verificaram menores valores de temperatura retal e frequência respiratória, maior produção de leite e menor CCS em vacas submetidas à aspersão e ventilação durante o período seco.

Apesar de tais benefícios, estudos de preferência animal, como o de Schutz et al. (2011), mostram que as vacas ainda optam pela sombra em relação à aspersão, evidenciando que a adoção combinada de diferentes estratégias pode oferecer melhores resultados.

O grau em que os animais podem se aclimatar a condições ambientais térmicas é chamado de plasticidade térmica. A plasticidade térmica é afetada pela idade, tamanho

do corpo, doença, grau de isolamento e nível de produção. Animais de alto produto reduziram a plasticidade ao estresse térmico ambiental, mas aumentaram a plasticidade ao estresse frio. O limite superior da capacidade de se ajustar às cargas térmicas é chamado de tolerância térmica. Os mesmos fatores que influenciam a plasticidade térmica também influenciam a tolerância térmica ao considerar animais inteiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, F.V., NICODEMO, M.L.F., SILVA, V.P. DA. Bem-estar Animal em Sistema de Integração Lavoura--Pecuária-Floresta, Coleção - 500 Perguntas - 500 Respostas. **in: Embrapa Pecuária Sudeste**, pp. 273–289, p. 273, 2015.
- AMMER, S., LAMBERTZ, C., VON SOOSTEN, D., ZIMMER, K., MEYER, U., DÄNICKE, S., & GAULY, M. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 102, n. 1, p. 103-113, 2018.
- ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of dairy science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE GIROLANDO. Pesquisas sobre tolerância ao estresse térmico em animais Girolando avançam. Girolando, 08 set. 2022. Disponível em: <https://www.girolando.com.br/noticia/3897/pesquisas-sobre-tolerancia-ao-estresse-termico-em-animais-girolando-avancam>. Acesso em: 25/11/25.
- AVENDAÑO-REYES, L., ÁLVAREZ-VALENZUELA, F.D., CORREA-CALDERÓN, A., ALGÁNDARSANDOVAL, A., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, E., PÉREZ-VELÁZQUEZ, R., MACÍAS-CRUZ, U., DÍAZMOLINA, R., ROBINSON, P.H., FADEL, J.G. Comparison of three cooling management systems to reduce heat stress in lactating Holstein cows during hot and dry ambient conditions. **Livest Sci**, v. 132, pp. 48–52, 2010.
- AZEVEDO, M., PIRES, M. D. F. Á., SATURNINO, H. M., LANA, Â. M. Q., SAMPAIO, I. B. M., MONTEIRO, J. B. N., & MORATO, L. E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras $1/2$, $3/4$ e $7/8$ Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 2000-2008, 2005.
- BAÊTA, F. da C.; SOUZA, C. de F. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. **Viçosa: UFV**, v. 2, 2010.
- BARBOSA, O. R., BOZA, P. R., DOS SANTOS, G. T., SAKAGUSHI, E. S., & RIBAS, N. P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça

- Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 1, p. 115, 2004.
- BARBOSA, A.A., VIEIRA, L.V., FREITAS, K.C. Estresse térmico em vacas leiteiras. **1th ed. Atena**, Ponta Grossa, PR, 56p, 2021.
- BACCARI JUNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. **Londrina: Ed. UEL**, v. 138, 2001.
- BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P. Ruminant nutrition symposium: ruminant production and metabolic responses to heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 6, p. 1855-1865, 2012.
- BERMAN, A. Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 5, p. 2147-2158, 2011.
- BERNABUCCI, U., BIFFANI, S., BUGGIOTTI, L., VITALI, A., LACETERA, N., NARDONE, A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. **Journal of dairy science**, v. 97, n. 1, p. 471-486, 2014.
- BERNABUCCI, U., LACETERA, N., BAUMGARD, L.H., RHOADS, R.P., RONCHI, B., NARDONE, A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1167-1183, 2010.
- BERTOCCHI, L., VITALI, A., LACETERA, N., NARDONE, A., VARISCO, G., BERNABUCCI, U. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperaturehumidity index relationship. **Animal**, v.8, p.667-674, 2014.
- BUFFINGTON, D.E., CANTON, G.H., PITT, D. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows. **Trans. ASAE**, v.24, p.711-714, 1981.
- CATTELAM, J., VALE, M. M do. Estresse térmico em bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 108, n. 587-588, p. 96-102, 2013.
- CHENG, M., MCCARL, B., & FEI, C. Climate change and livestock production: a literature review. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 140, 2022.
- CERUTTI, W.G., BERMUDEZ, R.F., VIÉGAS, J., MARTINS, C.M. DE M.R. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, p. 406-412, 2013.

- COLLIER, R.J., DAHL, G.E., VANBAALE, M.J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of dairy science**, v. 89, n. 4, p. 1244-1253, 2006.
- COLLIER, R. J. BAUMGARD, L. H., ZIMBELMAN, R. B., & XIAO, Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontier**. v. 9, n. 1, p. 12–19, 2019.
- CONCEIÇÃO, M.N. DA, SILVA, I.J.O. DA, DIAS, C.T.D.S. Artificial shade effects in the performance and physiology of dairy heifers in pasture. In: **Livestock Environment VIII, 31 August–4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 119, 2009.
- CORREA-CALDERÓN, A., AVENDAÑO-REYES, L., LÓPEZ-BACA, M.A., MACÍAS-CRUZ, U. Heat stress in dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. Review. **Revista mexicana de ciencias pecuarias**, v. 13, n. 2, p. 488-509, 2022.
- COWLEY, F.C., BARBER, D.G., HOULIHAN, A.V., POPPI, D.P. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. **Journal of dairy science**, v. 98, n. 4, p. 2356-2368, 2015.
- DALCIN, V.C., FISCHER, V., DOS, D., DALTRO, S., PRISCILA, E., ALFONZO, M., STUMPF, M.T., KOLLING, G.J., VINÍCIUS, M., BARBOSA, G., SILVA, D., MCMANUS. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 08, p. 458-465, 2016.
- DAS, R., SAILO, L., VERMA, N., BHARTI, P., SAIKIA, J., IMTIWATI, KUMAR, R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. **Veterinary world**, v. 9, n. 3, p. 260, 2016.
- DOVOLOU, E., GIANNOULIS, T., NANAS, I., & AMIRIDIS, G. S. Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cows. **Animals**, v. 13, n. 11, p. 1846, 2023.
- DU PREEZ, J.H., GIESECKE, W.H., HATTINGH, P.J. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. I. Temperature-humidity index

mean values during the four main seasons. **The Onderstepoort Journal of Veterinary Research**, v. 57, n. 1, p. 77-87, 1990.

EIGENBERG, R.A., BROWN-BRANDL, T.M., NIENABER, J.A. Shade material evaluation using a cattle response model and meteorological instrumentation. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 5, p. 509-515, 2010.

EL-TARABANY, M.S., EL-TARABANY, A.A., ATTA, M.A. Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, n. 1, p. 61-68, 2017.

ENCARNAÇÃO, R. DE O. Estresse e produção animal, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1986.

FAÇANHA-MORAIS, D.A.E., CHAVES, D.F., MORAIS, GURGEL, J.H., VASCONCELOS, Â.M. DE, COSTA, W.P., GUILHERMINO, M.M. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Revista brasileira de saúde e produção animal**, v. 14, p. 91-103, 2013.

FAÇANHA-MORAIS, D.A.E., MAIA, A.S.C., SILVA, R.G., VASCONCELOS, A.M., LIMA, P.O., GUILHERMINO, M.M. Variação anual de hormônios tireoideanos e características termorreguladoras de vacas leiteiras em ambiente quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 538-545, 2008.

FERREIRA, F, CAMPOS, W.E., CARVALHO, A.U., PIRES, M.F., MARTINEZ, M.L., SILVA, M.V.G.B., VERNEQUE, R.S., SILVA, P.F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 769-776, 2009.

FERREIRA, F., CAMPOS, W.E., CARVALHO, A.U., PIRES, M.F.A., MARTINEZ, M.L., SILVA, M.V.G.B., VERNEQUE, R.S., SILVA, P.F. Taxa de sudção e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 763-768, 2009.

FERREIRA, F., PIRES, M.F.A., MARTINEZ, M.L., COELHO, S.G., CARVALHO, A.U., FERREIRA, P.M., FACURY FILHO, E.J., CAMPOS, W.E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, p. 732-738, 2006.

- FERREIRA, L.C.B., FILHO, L.C.P.M., HOTZEL, M.J., ALVES, A.A., BARCELLOS, A. DE O. Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra. **Cad. Agroecologia** v.9, p.1–14, 2014.
- FERRO, F.R. DE A., NETO, C.C.C., FILHO, M. DA R.T., FERRI, S.T.S., MONTALDO, Y.C. Efeito do estresse calórico no desempenho reprodutivo de vacas leiteiras. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 3, 2010.
- GARCIA, A.B., ANGELI, N., MACHADO, L., DE CARDOSO, F.C., GONZALEZ, F. Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil. **Tropical animal health and production**, v. 47, n. 5, p. 889-894, 2015.
- GUIMARÃES-YAMADA, K.L.; DOS SANTOS, G.T.; OSÓRIO, J.A.C.; SIPPERT, M.R.; FIGUEIREDO-PALUDO, M.; DA SILVA, B.G.L.; DAMASCENO, J.C.; BENCHAAAR, C. Influence of Different Heat-Stress-Reducing Systems on Physiological and Behavioral Responses and Social Dominance of Holstein and Jersey Cows and Heifers on Pasture. **Animals**, v.12, p.2318, 2022.
- GUIMARAES-YAMADA, K.L.; DOS SANTOS, G.T.; DAMASCENO, J.C.; DE ALMEIDA, K.V.; CARDOZO-OSÓRIO, J.A.; LOURENÇO, J.C.S; GURGEL, A.L.C.; SILVA, T.P.D.; ARAÚJO, M.J.; ÍTAVO, L.C.V.; BENCHAAAR, C. Effects of heat-stress-reducing systems on blood constituents, milk production and milk quality of Holstein and Jersey cows and heifers on pasture. **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, n. 6, p. 386, 2023.
- GURGUEL, E.M., SERAPHIM, O.J., SILVA, R.J.O. DA. Method of bioclimatic evaluation of trees shade quality targeting the animal thermal comfort. **Revista Energia na Agricultura.**, v.27, p.16, 2012.
- GUZELOGLU, A., AMBROSE, J.D., KASSA, T., DIAZ, T., THATCHER, M.J., THATCHER, W.W. Long-term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress. **Animal reproduction science**, v. 66, n. 1-2, p. 15-34, 2001.
- HANSEN, P.J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1534, p. 3341-3350, 2009.

- HEMPEL, S., MENZ, C., PINTO, S., GALÁN, E., JANKE, D., ESTELLÉS, F., AMON, T. Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios—uncertainties and potential impacts. **Earth System Dynamics**, v. 10, n. 4, p. 859-884, 2019.
- HENDRIKS, S. J., EDWARDS, J. P., SHIRLEY, A. K., CLARK, C. E., SCHÜTZ, K. E., VERHOEK, K. J., & JAGO, J. G. Heat stress amelioration for pasture-based dairy cattle: challenges and opportunities. **Animal Frontiers**, v. 15, n. 2, p. 32-42, 2025.
- HERBUT, P., HOFFMANN, G., ANGREGKA, S., GODYŃ, D., VIEIRA, F. M. C., ADAMCZYK, K., & KUPCZYŃSKI, R. The effects of heat stress on the behaviour of dairy cows—a review. **Annals of Animal Science**, v. 21, n. 2, p. 385-402, 2021.
- HOROWITZ, M. From molecular and cellular to integrative heat defense during exposure to chronic heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 131, n. 3, p. 475-483, 2002.
- IBGE, 2024. Produção de origem animal por tipo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>
- IGONO, O., JOHNSON, D., STEEVENS, J., HAINEN, A., SHANKLIN, D. Effect of season on milk temperature, milk growth hormone, prolactin, and somatic cell count of lactating cattle. *bio Meterology*, v.32, p.194–200, 1988.
- IRIADAM, M. Variation in certain hematological and biochemical parameters during the peri-partum period in Kilis does. **Small Ruminant Research**, v. 73, n. 1-3, p. 54-57, 2007.
- JO, J., LEE, H. Impact of Relative Humidity on Heat Stress Responses in Early-Lactation Holstein Cows. **Animals**, v. 15, n. 11, p. 1503, 2025.
- JOO, S. S., LEE, S. J., PARK, D. S., KIM, D. H., GU, B. H., PARK, Y. J., RIM, C. Y., Kim, M., KIM, E.T. Changes in Blood Metabolites and Immune Cells in Holstein and Jersey Dairy Cows by Heat Stress. **Animals**, 2021. 11:974.
- KANEKO, JIRO JERRY; HARVEY, JOHN W.; BRUSS, MICHAEL L. (Ed.). **Clinical biochemistry of domestic animals**. Academic press, 2008.

- LACETERA, N., BERNABUCCI, U., SCALIA, D., RONCHI, B., KUZMINSKY, G., & NARDONE, A. Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. *International Journal of Biometeorol*, v. 50, n. 2, p. 105-110, 2005.
- LAGANÁ, C., BARBOSA JUNIO, A.M., MÉLO, D.L.M.F., RANGEL, J.H.A. Respostas comportamentais de vacas Holandesas de alta produção criadas em ambientes quentes, mediante ao sistema de resfriamento adiabático evaporativo. *Revista brasileira saúde produção animal*, p. 67-76, 2005.
- LAINNY J.M.P.; SOUSA, R.P.; ALMEIDA, E.A.; AMARAL, A.G. Climate control in the feeding area for Girolando cows: Effects on environmental and production variable. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.27(12), p.973-979, 2023.
- LEGRAND, A., SCHÜTZ, K.E., TUCKER, C.B. Using water to cool cattle: Behavioral and physiological changes associated with voluntary use of cow showers. *Journal Dairy Science*, v.94, p.3376-3386, 2011.
- LEGRAND, A.L., VON KEYSERLINGK, M.A.G., WEARY, D.M. Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. *Journal Dairy Science*, v.92, p.3651-3658, 2009.
- MAIA, A.S.C., SILVA, R.G. DA, JUNIOR, J.B.F. DE S., SILVA, R.B. DA, DOMINGOS, H.G.T. Effective thermal conductivity of the hair coat of Holstein cows in a tropical environment. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.11, 2218–2223, 2009.
- MALAFIA, P., BARBOSA, J.D., TOKARNIA, C.H., OLIVEIRA, C.M.C. Distúrbios comportamentais em ruminantes não associados a doenças: origem, significado e importância. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 31, p. 781-790, 2011.
- MARAI, I. F. M.; HAEEB, A. A. M. Buffalo's biological functions as affected by heat stress—A review. *Livestock Science*, v. 127, n. 2-3, p. 89-109, 2010.
- MARTELLO, L.S., JÚNIOR, H.S., SILVA, S. DA L. E, TITTO, E.A.L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, p. 181-191, 2004.
- MORAIS, D., MAIA, A., SILVA, R., VASCONCELOS, A., LIMA, P., GUILHERMINO, M. Variação anual de hormônios tireoideanos e características

- termorreguladoras de vacas leiteiras em ambiente quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 538-545, 2008.
- MOTA-ROJAS, D., TITTO, C. G., ORIHUELA, A., MARTÍNEZ-BURNES, J., GÓMEZ-PRADO, J., TORRES-BERNAL, F., PADILLA, K. F., FUENTE, V. C., WANG, D. Physiological and behavioral mechanisms of thermoregulation in mammals. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1733, 2021
- MOURA-BAEMA, M.; COSTA, A.C.; RODRIGUES-VIEIRA, G.; BRETANHA-ROCHA, R.F.; BUENO-RIBEIRO, A.R.; GUARATINI-IBELLI, A.M.; MEIRELLES, S. Heat tolerance responses in a Bos taurus cattle herd raised in a Brazilian climate. **Journal of thermal biology**, v. 81, p. 162-169, 2019.
- MURGA-ORRILLO H., AREVALO LOPEZ L.A., MATHIOS FLORES, M.A., CACERES CORAL J, GARCIA M.R., GUERRA TEIXEIRA, A.A. AND VALDERRAMA, N.L.M. Silvopasture and altitudinal gradient reduce heat stress in livestock production in the Peruvian tropics. **Frontiers in Animal Science**, v. 6, p. 1521790, 2025.
- NAAS, I.D. A., ARCARO JÚNIOR, I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 139-142, 2001.
- NASCIMENTO, G.V. DO, CARDOSO, E. DE A., BATISTA, N.L., SOUZA, B.B. DE, CAMBUI, G.B. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. **Agropecuária Científica no semiárido**, v. 9, n. 4, p. 28-36, 2013.
- FERREIRA, N. C. R., ANDRADE, R. R., FERREIRA, L. N. Climate change impacts on livestock in Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 68, n. 12, p. 2693-2704, 2024.
- O'BRIEN, M.D., RHOADS, R.P., SANDERS, S.R., DUFF, G.C., BAUMGARD, L.H. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. **Domestic animal endocrinology**, v. 38, n. 2, p. 86-94, 2010.
- OLIVEIRA, C. P., SOUSA, F. C. D., SILVA, A. L. D., SCHULTZ, E. B., VALDERRAMA LONDOÑO, R. I., & SOUZA, P. A. R. D. Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies—a review. **Animals**, v. 15, n. 2, p. 249, 2025.

- OLIVEIRA, A.V.D., REIS, E.M.B., FERRAZ, P.F.P., CRUZ, M.V.R., SILVA, G.F., BARBARI, M., SILVA, A.O. Effects of thermal environment on dairy cattle under a grazing system in the Western Amazon, Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, n. 06, p. 1119-1126, 2022.
- OLIVEIRA, C.P., SOUSA, F.C., SILVA, A.L., SCHULTZ, É.B., VALDERRAMA LONDO.O, R.I., SOUZA, P.A.R. Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies—a review. **Animals**, v. 15, n. 2, p. 249, 2025.
- OZAWA, M., HIRABAYASHI, M., KANAI, Y. Developmental competence and oxidative state of mouse zygotes heat-stressed maternally or in vitro. **Reproduction**, v. 124, n. 5, p. 683-689, 2002.
- PEREIRA, Jonas Carlos Campos. Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal. **FEPMVZ**, 2005.
- PERISSINOTTO, M., MOURA, D.J. DE, CRUZ, V.F. Evaluation of the production in dairy cattle in different climatization. **Revista Ciências Agrárias**, v.30, p.135–142, 2003.
- PINHEIRO, M. DA G. Produção de leite em ambiente tropical. **Pesquisa Tecnol.**, v.9, p.6, 2012.
- PINTO, S., HOFFMANN, G., AMMON, C., & AMON, T. Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 88, p. 102523, 2020.
- POLSKY, L AND VON KEYSERLINGK, M.A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 11, p. 8645-8657, 2017.
- RASLAN, L.S.A. Mecanismo do estresse em animais de produção. Milkpoint, 2007. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/mecanismo-do-estresse-40091/>, acesso em 05/11/2025.
- REBOITA, M. S., RODRIGUES, M., SILVA, L. F., & ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. *Revista brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.
- ROCHA, D.R., SALLES, M.G.F., MOURA, A.A.A.N., ARAÚJO, A.A. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. **Revista brasileira de reprodução animal**, v. 36, n. 1, p. 18-24, 2012.

- RODRIGUES, A.L., SOUZA, B.B. DE, FILHO, J.M.P. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 6, n. 2, p. 14-22, 2010.
- ROHLEDER, L. A. S., QUERINO, C. A. S., ALVES, P. V., QUERINO, J. K. A. D. S., PEDREIRA, A. L., & VAZ, M. A. B. Evaluation of environmental parameters in a microregion in southern Amazonas State, Brazil, and their relationship with heat stress in dairy cattle. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, p. e71625, 2022.
- ROSSAROLLA, G. Comportamento de vacas leiteiras da raça holandesa em pastagens de milheto com e sem sombra, 2007. Univ. Fed. St. Maria.
- ROTH, Z., HANSEN, P.J. Disruption of nuclear maturation and rearrangement of cytoskeletal elements in bovine oocytes exposed to heat shock during maturation. **Reproduction**, v.129, p.235–244, 2005.
- SAMMAD, A., WANG, Y. J., UMER, S., LIRONG, H., KHAN, I., KHAN, A., Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: Consequences and opportunities. **Animals**, v. 10, n. 5, p. 793, 2020.
- SCHARF, B., CARROLL, J.A., RILEY, D.G., CHASE, C.C., COLEMAN, S.W., KEISLER, D.H., WEABER, R.L., SPIERS, D.E. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. **Journal of animal science**, v. 88, n. 7, p. 2321-2336, 2010.
- SCHÜTZ, K.E., ROGERS, A.R., COX, N.R., WEBSTER, J.R., TUCKER, C.B. Dairy cattle prefer shade over sprinklers: Effects on behavior and physiology. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 1, p. 273-283, 2011.
- SILVA, I., PANDORFI, H., JR, I.A., PIEDAD, S.M.S., MOURA, D.J. DE. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 2036-2042, 2002.
- SILVA, M.V., ALMEIDA, G. L.P., PANDORFI, H., SOUZA, A., MORAES, G.A.P.A.M., OLIVEIRA, M.E.G., MELO, M.V.N., SANTANA, T.C. Thermal comfort and productive responses of 7/8 holstein-gyr cows subjected to cooling system. *Acta Scientiarum*. **Animal Sciences**, v. 45, p. e61295, 2023.

- SILVA, T.P.D. E, OLIVEIRA, R.G. DE, JÚNIOR, S.C.S., SANTOS, K.R. DOS. Efeito da exposição à radiação solar sobre parâmetros fisiológicos e estimativa do declínio na produção de leite de vacas mestiças (Holandês X Gir) no sul do estado do Piauí. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 299-305, 2012.
- SILVEIRA, I.D.B., DE CANTO, L., MOREIRA, S.M. Bem-estar em bovinos leiteiros. In: **Tecnologias para sistemas de produção de leite**. p.57-90, 2016.
- SIMÕES, G.H. Avaliação de estresse térmico em vacas de leite em *free stall* sob diferentes condições de climatização, 2014. Universidade Federal do Paraná.
- SINGH, K.M., SINGH, S., GANGULY, I., GANGULY, A., NACHIAPPAN, R.K., CHOPRA, A., NARULA, H.K. Evaluation of Indian sheep breeds of arid zone under heat stress condition. **Small Ruminant Research**, v. 141, p. 113-117, 2016.
- SOUZA, B.B. DE, ASSIS, D.Y.C. DE, ROBERTO, J.V.B., MARQUES, B.A. DE A. Efeito do clima e da dieta sobre os parâmetros fisiológicos e hematológicos de cabras da raça saanen em confinamento no sertão paraibano. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 20, 2011.
- SOUZA, B.B. DE, SILVA, I.J. DE O., MELLACE, E.M., SANTOS, R.F.S., ZOTTI, C.A., GARCIA, P.R. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas de raças leiteiras, em Piracicaba-SP. **Ciência: a questão água; Resumos expandidos**, 2008.
- SPARROW, Ephraim M. Radiation heat transfer. **Routledge**, 2018.
- SPIERS, D.E., SPAIN, J.N., ELLERSIECK, M.R., LUCY, M.C. Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. **Journal of Dairy Science.**, v. 101(9):8269-8283, 2018
- STAPLES, C.R., THATCHER, W.W. Stress in Dairy Animals| Heat Stress: Effects on Milk Production and Composition. **Encyclopedia Dairy Sci**; 2: 561-566, 2011.
- TAO, S., BUBOLZ, J.W., DO AMARAL, B.C., THOMPSON, I.M., HAYEN, M.J., JOHNSON, S.E., DAHL, G.E. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 12, p. 5976-5986, 2011.
- THOM, E.C. The Discomfort \Index. *Weatherwise*, v.12, p.57–61, 1959.

- TEIXEIRA, P.C., CARMO, R.R., LEÃO, P.V.T., CUNHA, J.V.T., SILVA, E.C.N.M., GADÊLHA, S.C.F.S., SANTANA, C.S., PEREIRA, G.M., CORDEIRO, C.G.M., COSTA, A.C., PAIM, T.P., SILVA, M.A.P. Effect of shading on milk production and quality in Girolando cows. **Food Science Technology**, v.45, 2025.
- TODINI, L., MALFATTI, A., VALBONESI, A., TRABALZA-MARINUCCI, M., DEBENEDETTI, A. Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake. **Small Ruminant Research**, v. 68, n. 3, p. 285-290, 2007.
- TOGOE, D., MINCĂ, N. A. The impact of heat stress on the physiological, productive, and reproductive status of dairy cows. **Agriculture**, v. 14, n. 8, p. 1241, 2024.
- TUCKER, C.B., ROGERS, A.R., SCHU, K.E. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 109, n. 2-4, p. 141-154, 2008.
- URIBE-VELASQUEZ, L.F., OBA, E., BRASIL, L.H.D., WECHSLER, F.S., STACCHISSINI, V.M. Plasma concentrations of cortisol, thyroid hormone, lipids metabolites and corporal temperature of lactating Alpine goats submitted to heat stress. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.27, p.1123–1130, 1998.
- VEISSIER, I., VAN LAER, E., PALME, R., MOONS, C.P.H., AMPE, B., SONCK, B., ANDANSON, S., TUYTTENS, F.A.M. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. **International journal of biometeorology**, v. 62, n. 4, p. 585-595, 2018.
- WANKAR, A.K., YADAV, B. Thermoregulatory responses in buffaloes during heat stress. Physio- metabolic, nutrient utilization and endocrine scenario. **Lap Lambert Academic Publishing**, 2018.
- WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of dairy science**, v. 86, n. 6, p. 2131-2144, 2003.
- WIERSMA, F., AND D. V. ARMSTRONG. Cooling dairy cattle in the holding pen. **Paper No. 83-4507, Am.**, 1983.
- WOLFENSON, D., ROTH, Z. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 32-38, 2019.

- WOLFENSON, D., ROTH, Z., MEIDAN, R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. **Animal reproduction science**, v. 60, p. 535-547, 2000.
- WOLFENSON, D., SONEGO, H.H., BLOCH, A., SHAHAM-ALBALANCY, A., KAIM, M., FOLMAN, Y., MEIDAN, R. Seasonal differences in progesterone production by luteinized bovine thecal and granulosa cells. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 22, n. 2, p. 81-90, 2002.
- YNOUE, R.Y., REBOITA, M.S., AMBRIZZI, T., SILVA, G.A.M. DA. Meteorologia noções básicas. **Oficina de Textos Grafia**, São Paulo, 2017.
- ZIMBELMAN, R.B., RHOADS, R.P., COLLIER, R.J., DUFF, G.C. re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: **Western Dairy Management Conf. Reno, NV. USA**. p. 113-125, 2011.

Capítulo 2

Influência das práticas de mitigação do estresse térmico sobre o desempenho produtivo e a qualidade do leite

RESUMO

O estresse por calor é considerado um desafio na criação de vacas leiteiras, principalmente nas regiões tropicais, em que a temperatura e a umidade altas trazem queda na produção e bem-estar animal. Portanto, o objetivo foi sintetizar através de uma revisão sistemática e metanálise, os achados sobre efeitos do estresse por calor no desempenho produtivo e a imunidade (CCS) de vacas leiteiras, através de uma metanálise de artigos nacionais e internacionais. Os dados foram avaliados, e inclusos quando abordavam sobre composição e produção de leite, CCS, estratégias de mitigação do estresse por calor, em diferentes faixas do Índice de Temperatura e Umidade (THI). Os resultados obtidos afirmam que, quando o THI estiver acima de 68, haverá ativação dos mecanismos de termorregulação, trazendo consequências sobre a saúde do animal e sua produtividade, apresentando correlação negativa com a produção de leite, indicando que a medida que ocorre um aumento do THI, ocorre consequentemente uma queda na produção de leite, ($Y = 43,61 - 0,2558 \text{ THI}$), com R^2 ajustado de 4,6% e $p = 0,040$, com uma redução média de 0,26 kg de leite por vaca/dia, ou seja, uma perda de 80 Kg durante o período de lactação, assim como apresentou uma correlação positiva com a quantidade de células somáticas (CCS), demonstrando que conforme aumento do THI, haverá um aumento do nível de CCS. Houve um declínio na produção de leite e nos teores de gordura e proteína, além de trazer um aumento na quantidade de células somáticas. Em síntese, o estresse por calor altera de forma significativa o desempenho das vacas leiteiras, dificultando sua homeostase, trazendo prejuízos financeiros e para o bem-estar dos animais, sendo necessária a utilização de estratégias de mitigação do estresse.

Palavras-chave: bovinocultura de leite; estresse por calor; índice de temperatura e umidade; produção de leite; revisão sistemática.

ABSTRACT

Heat stress is considered a major challenge in dairy cattle production, especially in tropical regions, where high temperatures and humidity lead to reductions in productivity and animal welfare. Therefore, the objective of this study was to synthesize, through a systematic review and meta-analysis, the findings regarding the effects of heat stress on productive performance and immunity (SCC) in dairy cows, based on national and international publications. Data were evaluated and included when they addressed milk yield and composition, somatic cell count, heat-stress mitigation strategies, and different ranges of the Temperature-Humidity Index (THI). The results indicate that when THI exceeds 68, thermoregulatory mechanisms are activated, resulting in consequences for animal health and productivity. A negative correlation was observed between THI and milk production, indicating that as THI increases, milk yield decreases ($Y = 43.61 - 0.2558 \text{ THI}$), with an adjusted R^2 of 4.6% and $p = 0.040$, corresponding to an average reduction of 0.26 kg of milk per cow per day—or a loss of 80 kg over the lactation period. A positive correlation was also identified between THI and somatic cell count (SCC), demonstrating that higher THI levels lead to an increase in SCC. A decline in milk production and in fat and protein contents was observed, along with an increase in SCC. In summary, heat stress significantly affects the performance of dairy cows, disrupting homeostasis and causing financial losses and reductions in animal welfare, reinforcing the need for heat-stress mitigation strategies.

Keywords: dairy cattle; heat stress; milk production; systematic review; temperature humidity index.

Introdução

Países de clima tropical e subtropical devem priorizar, na criação de animais de produção, o conforto térmico e a consequente redução dos efeitos do estresse por calor. Situações de estresse exigem ajustes fisiológicos e comportamentais nos animais, de forma a garantir sua sobrevivência e adaptação às condições ambientais adversas (ROTH, 2017).

Em vacas leiteiras, o estresse térmico compromete o bem-estar ideal, resultando na redução da ingestão de matéria seca, do tempo de descanso e da ruminação (YADAV et al., 2016; JI et al., 2020). A diminuição do consumo alimentar leva a redução no desempenho e impacto negativo no sistema imunológico e a resposta inflamatória (KUHLA, 2020).

A resposta animal ao estresse por calor é modulada pela interação entre variáveis ambientais, como temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (CORREA-CALDERÓN et al., 2022). Moore et al. (2023) afirmam que quando a temperatura ambiente ultrapassa 27 °C, pode ocorrer uma redução de até 21% na produção de leite, independentemente da idade ou estágio de lactação. Além dos fatores ambientais, características individuais, como genótipo, estado de saúde e condição imunológica, também influenciam a tolerância ao estresse térmico (BAGATH et al., 2019).

Diversas estratégias têm sido propostas para mitigar os efeitos do estresse térmico, reduzindo seus impactos sobre a temperatura corporal e a produção de leite. Entre elas destacam-se o desenvolvimento de técnicas de resfriamento e manejo em ambientes quentes e úmidos, com o objetivo de melhorar a eficiência produtiva e minimizar perdas econômicas na pecuária leiteira (LIU et al., 2019; MOORE et al., 2023).

Uma abordagem sistemática que sintetiza os resultados de estudos publicados em uma área específica, aliada a técnicas estatísticas avançadas como a metanálise, possibilita maior precisão na estimativa dos efeitos entre diferentes experimentos (LEAN et al., 2009). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto das estratégias de mitigação do estresse térmico sobre a produção, a composição do leite e a resposta imunológica de vacas leiteiras, a partir da integração de estudos primários disponíveis em bases de dados, por meio de uma abordagem meta-analítica.

METODOLOGIA

Uma revisão da literatura com meta-análise foi conduzida de acordo com as diretrizes do “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*” — PRISMA (PAGE et al., 2021).

Questão norteadora e protocolo

A questão norteadora da pesquisa foi definida com base na estratégia mnemônica PICOS, onde população (P): vacas leiteiras; intervenção (I): estresse por calor; comparação (C): conforto térmico; e resultados esperados, do inglês “*outcome*” (O): produção e composição do leite, e contagem de células somáticas. O tipo de estudo (S) foi aceito apenas estudos experimentais bem delineados.

Foi desenvolvido e testado um protocolo de busca e triagem. Os descritores foram escolhidos e revisados por pares através de artigos de pesquisa já publicados sobre o assunto, visto que não há uma plataforma com descritores padronizados para área de Ciência Animal.

Critérios de elegibilidade

Os critérios de inclusão foram: artigos de pesquisa completos disponíveis na íntegra nas bases de dados no formato de estudos experimentais bem delineados, estudos em qualquer idioma, sem recorte temporal. Os critérios de exclusão foram: documentos editoriais, cartas ao editor, resumos, opinião de especialistas, outras revisões, correspondências, resenhas, capítulos de livros, teses e dissertações, resumos, palestras, livros ou capítulos de livros. Os artigos duplicados foram considerados apenas uma vez.

A citação foi considerada relevante quando: (1) era pesquisa primária publicada em artigo de pesquisa; (2) comparava vacas em condições de estresse térmico vs conforto térmico; (3) avaliava a produção e composição do leite, contagem de células somáticas e estágio de lactação.

Fontes de informação

Os estudos foram identificados através de busca eletrônica nas bases de dados SCOPUS (Elsevier), CAB Direct, Science Direct (Elsevier) e Wiley Online Library,

acessados via CAFE no Portal de Periódicos da CAPES, até dia 14 de agosto de 2025. O servidor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS, Brasil) foi utilizado para a pesquisa baseada nos descritores, em cruzamento único.

Estratégia de busca

A busca foi realizada de forma igualitária em todas as bases de dados, com base na estratégia PICOS (Tabela 1). Para evitar citações não relevantes para o objetivo do estudo, foi utilizado o operador booleano “NOT” para os descritores: "Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra". A questão norteadora desenvolvida foi: Quais são os efeitos do estresse térmico sobre a produção, composição do leite e imunidade em vacas leiteiras?

Tabela 1. Descritores utilizados na revisão sistemática

Acrônimo	Sequência da Pesquisa
População	(“Dairy Cattle” OR “Dairy Cows” OR “Milk Cow” OR “Cow” OR “Cows” OR “Lactating Cows” OR “Lactation” OR “Cows In Milking” OR “Lactation Cows” OR “Dairy Farming”).
	<i>AND</i>
Intervenção	(“Heat stress” OR “Thermal stress” OR “High temperatures” OR “Environmental temperature” OR “Body temperature” OR “Higher temperatures” OR “Temperature-Humidity Index” OR “Solar radiation” OR “Heat Stress Disorders” OR “Heat-Shock Response” OR “Heat Injury” OR “Heat Shock Response” OR “Thermal Comfort” OR “Thermotolerant” OR “Thermoregulator” OR “Thermal Neutrality” OR “Homeothermy” OR “Environmental Comfort” OR “Physical Comfort” OR “Shading” OR “Shade”).
	<i>AND</i>
Resultado	(“Milk Yield” OR “Milk Production” OR “Milk” OR “Productive Performance” OR “Performance” OR “Lactation Yield” OR “Milk Yielding” OR “Performance Of Lactating” OR “Milk Composition” OR “Feed Intake” OR “Milk Fat” OR “Milk Protein” OR “Somatic Cell Count”)

Seleção dos estudos

Dois revisores treinados para a etapa de triagem avaliaram de forma independente os resultados da pesquisa, lendo o título, resumo e palavras-chave. As diferenças de opinião entre os revisores foram resolvidas por consenso. Os textos completos dos artigos relevantes foram examinados na íntegra e selecionados quanto aos critérios de elegibilidade. O software Microsoft Excel® foi usado durante todos os estágios de triagem.

Coleta de dados

Formulários de extração de dados, incluindo informações sobre a identificação da publicação (título do artigo, bases de dados indexadas, autores, país, idioma e ano de publicação), nome da revista científica, aspectos metodológicos do estudo, tratamentos dos trabalhos, se havia sombreamento, se houvesse resfriamento, eram especificados (*Sprinklers*, nebulizadores ou ventiladores), temperatura corporal, índice de THI médio, quantidade no N amostral, raça, dias em lactação, número de partos, produção de leite (kg/d), percentual de gordura do leite (%), proteína (%), lactose (%) e contagem de células somáticas (CCS log10).

Qualidade metodológica e risco de viés

O formulário para avaliar a qualidade metodológica e risco de viés foi baseado nas perguntas sugeridas no Programa de Avaliação de Habilidades Críticas – CASP (2018), para estudos de caso controle. No entanto, a interpretação do risco de viés foi considerada baixa em todos os estudos, devido à baixa subjetividade dos resultados.

Abordagem estatística

Os dados foram analisados por meio de técnicas de meta-análise utilizando o software MINITAB® 17.1.0. O efeito aleatório dos diferentes experimentos foi considerado nos modelos de regressão. As intensidades foram ponderadas de acordo com o número de repetições descritas em cada estudo. A adequação dos modelos e a seleção das melhores estruturas de (co)variância foram avaliadas com base no critério de informação de Akaike corrigido. A significância estatística foi estabelecida em $P < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigos incluídos na avaliação sistemática

A pesquisa bibliográfica identificou 2443 documentos, sendo 1835 artigos de pesquisa. Desses, 22 manuscritos foram determinados como elegíveis e incluídos na extração dos dados. Após as buscas, foram realizadas as leituras por dois leitores, sendo incluídos na primeira leitura: Título, palavras-chave e resumo (Figura 1).

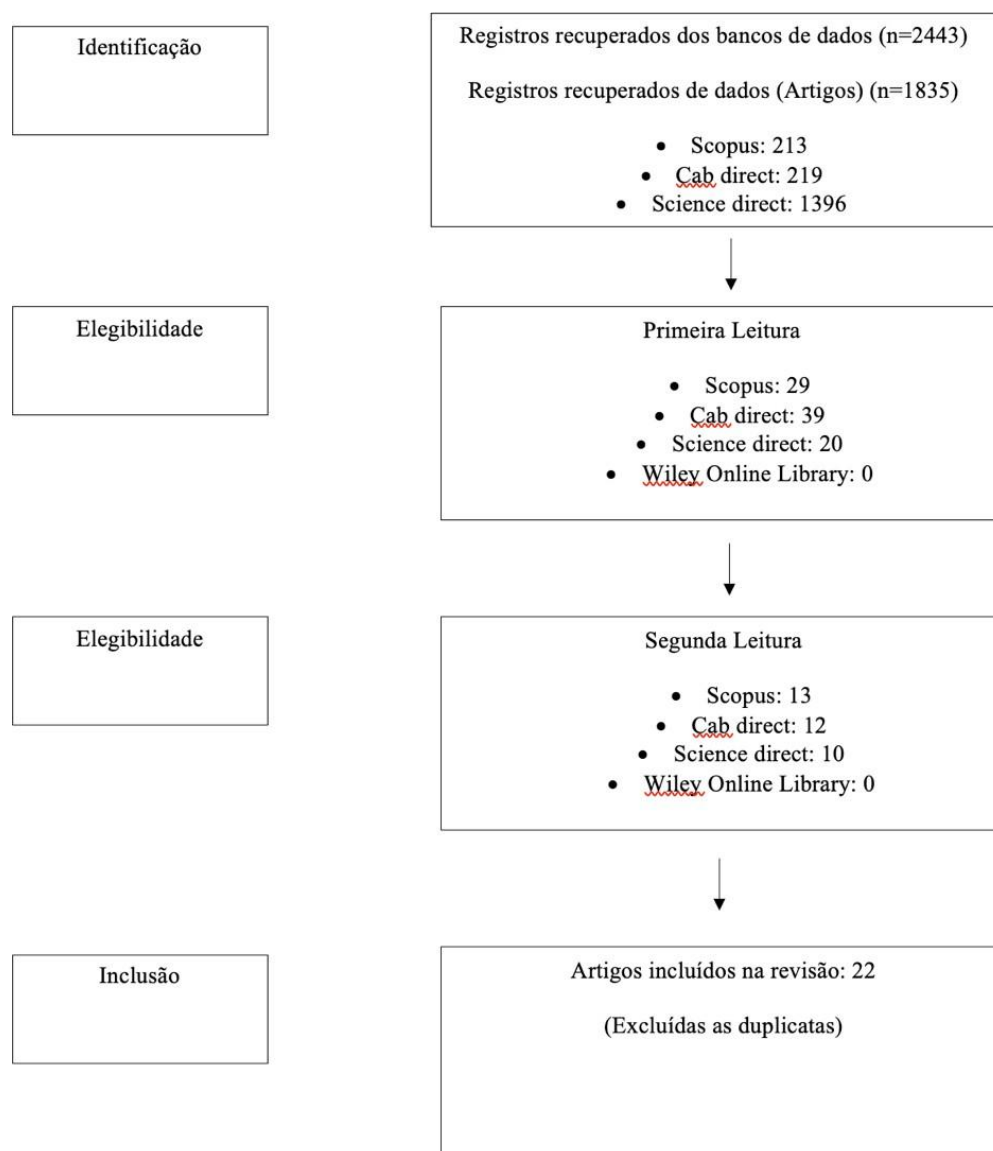


Figura 1. Fluxograma adaptado das diretrizes do PRISMA

Características dos estudos

Os estudos considerados elegíveis para a avaliação sistemática foram realizados em sua maioria em vacas da raça Holandês (89,3%) e mestiças (7,1%), originárias de 12 países, totalizando 6382 animais avaliados (Tabela 2). O THI ambiente variou de 47 (DI et al., 2019) a 82,5 (AVENDAÑO-REYESA et al., 2010), e o THI de vacas submetidas a estresse calórico variou de 73,7 (FISHER et al 2008) a 93,9 (AVENDAÑO-REYESA et al., 2010).

Tabela 2. Característica dos estudos relevantes incluídos na metanálise

Autor	País	Raça	Tipo de Intervenção	n	THI		Estádio de Lactação	Paridade
					Ambiente	Estresse por Calor		
Davison et al. (2016)	Austrália	Holandês	Diferentes cargas térmicas	78	78.8 ± 7.8	84.7 ± 8.2	Inicial	Mul
Stumpf et al. (2021)	Brasil	Holandês, 3/4 Holandês x Gir, 1/2 Holandês x Gir	Diferentes graus sanguíneos	46	79.20	80,32	Inicial, intermediário e tardio	Mul
Sharpe et al. (2021)	EUA	Mestiças	Efeitos do sombreamento	12	$64,97 \pm 3,58$	$76,1 \pm 1,73$	-	-
Smith et al. (2006)	EUA	Holandês	Efeito do resfriamento	40	$73,75 \pm 5,31$	80,5	Tardio	Mul

			o do túnel evaporativo					
Abreu et al. (2020)	Brasil	Holandês	Efeito sombreamet o de árvores	16	75,4 ± 3,7	77,4 ± 3,5	Intermediário	-
Osei- Amponsa h et al. (2020)	Austrália	Holandês	Efeito do THI	120	72	82	Inicial, intermediário e tardio	Mul
Di et al. (2019)	China	Holandês	Efeitos do estresse por calor	20	47	86,7	Intermediário	Mul
Bernabuc ci et al. (2015)	Itália	Holandês	Efeito do calor na proteína do leite	75	64,7	75	Intermediário	Mul
Mendonça et al. (2025)	Brasil	3/4 Holandes x Gir	Efeito do estresse por calor	24	71 ± 4	84 ± 1	Intermediário	-

Ahmad et al. (2018)	Paquistão	Sahiwal	Efeito do estresse por calor na raça	15	-	81.10 ± 0.73	Inicial	Mul
Fabris et al. (2019)	Flórida	Holandês	Diferentes períodos de secagem	78	$74,5 \pm 0,14$	-	Secagem	Mul
Tuytens et al. (2015)	Bélgica	Holandês	Efeitos do estresse por calor	287	-	-	Intermediário	Mul
Fisher et al. (2008)	Nova Zelândia	Holandês	Efeitos do estresse por calor	20	$63,3 \pm 0,56$	$73,7 \pm 2,40$	Intermediário	Mul
Davidson et al. (2018)	Flórida	Holandês	Efeito do estresse por calor rem nulíparas	31	-	77	Secagem	Nul
Martínez et al. (2021)	Uruguai	Holandês	Efeitos de diversos resfriadores	48	69,8	76,2	Intermediário	Mul

Román et al. (2019)	Uruguai	Holandês	Estratégias de mitigação	39	72	-	Inicial e tardio	Mul
Lees et al. (2022)	Austrália	Holandês	Efeitos do DHLI e THI nas vacas	40	71,75	84,8	Intermediário	-
Kendall et al. (2006)	Nova Zelândia	Holandês	Efeito do sombreamento	40	62,75	-	Intermediário	-
Arias et al. (2021)	Chile	Holandês	Efeito do ambiente térmico no verão	29	65	-	Média e tardia	-
Hou et al. (2020)	China	Holandês	Efeito do estresse por calor à curto e longo prazo	4	65	81	Intermediário	-

Avendaño -Reyesa et al. (2010)	México	Holandês	Efeito do resfriament o	32	82,5	93,9	Intermediário	-
Avendaño -Reyes et al. (2006)	México	Holandês	Efeito do resfriament o	38	71,9	-	Secagem	Mul

Estágio de lactação (inicial: 0–100 d; intermediário: 101–200 d; tardio: >200 d; Secagem: animais em período seco, sem produção de leite);

Paridade (NUL = nunca teve parto; MUL = teve dois partos ou mais)*OBS: Trabalhos com $\pm$ possuíam mais de um valor representado.

Efeitos das estratégias de mitigação do estresse por calor

A produção de leite média dentre os trabalhos avaliados foi de 24,57 kg/dia, com teores de gordura 3,64%, proteína 3,04% e lactose 4,55% respectivamente (CHEN et al., 2024). A temperatura corporal média foi de 39,06 °C, que se encontra dentro dos parâmetros fisiológicos para vacas leiteiras (LIU et al., 2019). Alguns estudos com animais no período seco, determinaram valor mínimo igual 0 para a variável dias em lactação (DEL). Dentre os estudos que avaliaram animais em lactação, o DEL médio foi de 134,75 dias (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva do conjunto de dados usado para análise do desempenho animal

Variáveis	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
THI médio	72	73,55	7,47	45	86,70
Produção de leite (kg/dia)	81	24,57	7,90	6,10	40,20
Gordura (%)	79	3,64	0,63	0,64	4,82
Proteína (%)	75	3,04	0,49	0,45	3,90
Lactose (%)	53	4,55	0,81	0,69	5,15
Temperatura Corporal (°C)	62	39,06	1,30	38,20	41,00
Dias em lactação	69	134,44	65,83	0*	311

* Dentre os trabalhos analisados, alguns foram realizados no período seco.

Relação entre THI e temperatura corporal

A Figura 2 ilustra a relação entre o THI médio (eixo X) e a temperatura corporal ou retal das vacas (eixo Y), associada às faixas de produção de leite (kg/dia), indicadas pelas cores. Observa-se uma tendência clara de que, à medida que o THI médio aumenta, a temperatura corporal das vacas também se eleva, caracterizando uma resposta fisiológica típica ao estresse térmico. Comprovando uma das respostas dos animais quando submetidos ao estresse térmico, que incluem aumento das perdas de evaporação, e consequente aumento da temperatura corporal central (ASMARASARI et al., 2023). Em sua maioria, as raças de vacas leiteiras apresentam um menor desempenho quando ocorre um aumento na temperatura retal de 1°C ou menos, tornando a temperatura corporal um marcador da resposta fisiológica ao estresse térmico nas vacas (MANICA et al., 2022). A temperatura retal de uma vaca quando em condições normais é considerada 38,5 °C, já em condições de estresse térmico a partir de 39,5 °C, isso pois o centro regulador de calor, localizado no hipotálamo, quando recebe estímulos

relacionados à temperatura, vai induzir mudanças fisiológicas na produção ou liberação de calor, trazendo consequências negativas para a vaca (ASMARASARI et al., 2023; LIU et al., 2019).

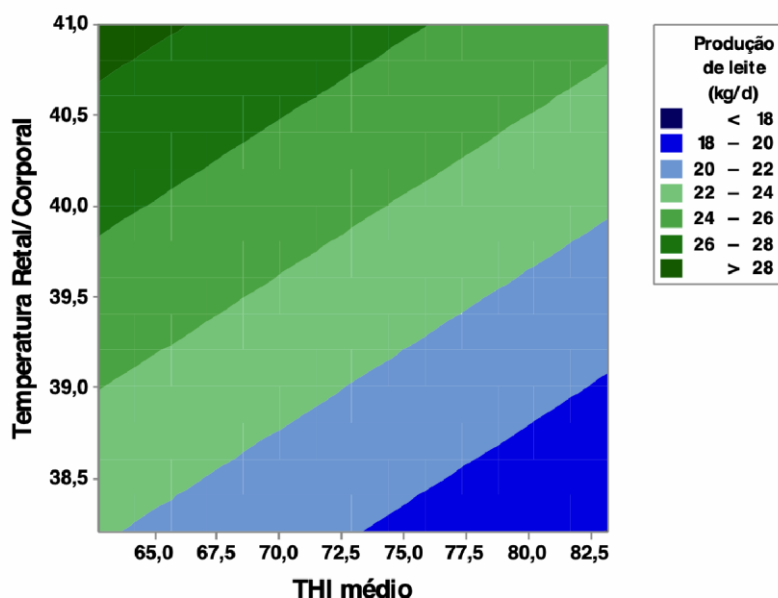


Figura 2. Faixa de THI médio em relação a Temperatura Retal/Corporal e a produção de leite (kg/d)

Nas faixas inferiores de THI (≤ 70), as vacas apresentaram temperaturas corporais próximas de 38,5–39,0 °C e produções de leite superiores a 26 kg/dia (área em verde-escuro). Entretanto, com o incremento do THI para valores entre 75 e 82,5, verifica-se elevação progressiva da temperatura corporal para acima de 40 °C, acompanhada por uma redução acentuada na produção de leite, que passa a se concentrar nas faixas inferiores (< 22 kg/dia; áreas em azul). Ao avaliar os valores de THI, observa-se que, quando abaixo de 70, em sua maioria é classificado como confortável, enquanto a partir de 72 considera-se o estresse por calor, e acima de 78 classifica-se como grave (ARMSTRONG, 1994). Porém, novos estudos indicam que esse valor na realidade é reduzido em vacas de alto rendimento, considerando um THI de estresse a partir de 68 (COLLIER et al., 2012; MOORE et al., 2023).

A temperatura corporal e produção leiteira reforçam o impacto negativo do estresse térmico sobre o desempenho produtivo. O aumento da temperatura corporal indica sobrecarga no sistema termorregulatório, comprometendo o consumo de alimento e a eficiência metabólica, com reflexos diretos sobre a síntese de leite. Assim, a figura demonstra que níveis elevados de THI estão associados simultaneamente a hipertermia e queda produtiva,

evidenciando a necessidade de estratégias de mitigação térmica, como sombreamento e resfriamento, para preservar o bem-estar e o desempenho das vacas leiteiras em ambientes quentes (DAS et al., 2016).

Relação entre THI e produção e composição do leite

A Tabela 4 mostra as relações lineares entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) médio e variáveis relacionadas à produção e composição do leite. Observa-se que o efeito do estresse térmico, representado pelo aumento do THI, foi significativo apenas sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas (CCS), enquanto os teores de gordura, proteína e lactose não apresentaram associação significativa.

Tabela 4. Análise de regressão comparativa da produção de leite e seus componentes com o THI médio, variando de 65,0 a 82,5

Relação analisada	Modelo	R² ajustado	p-valor
Produção de leite × THI médio	$Y = 43,61 - 0,2558 \text{ THI}$	4,60%	0,040
Gordura x THI médio	$Y = 2,799 + 0,01116 \text{ THI}$	0,20%	0,283
Proteína x THI médio	$Y = 2,872 + 0,002144 \text{ THI}$	0,00%	0,794
Lactose x THI médio	$Y = 3,389 + 0,01618 \text{ THI}$	0,20%	0,302
CCS x THI médio	$Y = 3,843 + 0,01988 \text{ THI}$	21,30%	0,005

A produção de leite apresentou relação negativa com o THI ($Y = 43,61 - 0,2558 \text{ THI}$), com R² ajustado de 4,6% e $p = 0,040$, indicando que, a cada unidade de aumento no THI, houve redução média de 0,26 kg de leite por vaca/dia. Embora o coeficiente de determinação seja modesto, o efeito é estatisticamente significativo, confirmando que condições de maior desconforto térmico reduzem a produtividade das vacas, achado consistente com a literatura, que aponta o estresse térmico como fator limitante da produção leiteira em climas quentes (WEST, 2003; BERNABUCCI et al., 2014; TAZZO et al., 2024).

Entretanto, os teores de gordura ($p = 0,283$), proteína ($p = 0,794$) e lactose ($p = 0,302$) não apresentaram correlação significativa com o THI, e os valores de R² ajustado próximos de zero indicam que essas variáveis são pouco influenciadas diretamente pelas variações térmicas moderadas observadas. Esses resultados sugerem que a composição do leite é mais estável

frente ao calor ambiental do que a produção, dependendo mais fortemente de fatores nutricionais e fisiológicos.

A CCS (log 10), por sua vez, apresentou relação positiva significativa com o THI ($Y = 3,843 + 0,01988 \text{ THI}$; R^2 ajustado = 21,3%; $p = 0,005$). Esse resultado indica que o aumento do estresse térmico está associado à elevação da CCS, possivelmente devido à maior susceptibilidade das vacas a distúrbios imunológicos e inflamações da glândula mamária sob altas temperaturas (CASARO et al., 2024; DANIELI et al., 2025). Assim, o THI explica cerca de um quinto da variação da CCS, evidenciando um impacto fisiológico relevante sobre a saúde do úbere. Desta forma a elevação da CCS sob ação do aumento do estresse térmico é afetada pela redução da imunidade das vacas leiteiras (NEGRI et al., 2021). O aumento do estresse térmico em vacas leiteiras impacta negativamente seu sistema imunológico, levando a um maior CCS, o que indica inflamação do úbere e redução da imunocompetência (GUPTA et al., 2023). O estresse térmico prejudica a função das células imunológicas, como os neutrófilos, reduzindo sua atividade fagocitária e explosão oxidativa, tornando as vacas mais suscetíveis a infecções como a mastite (DAHL et al., 2020).

A média de produção diária das vacas mantidas sem acesso à sombra foi de $21,83 \pm 5,99$ kg/d, enquanto aquelas que tiveram acesso à sombra apresentaram uma média de $25,97 \pm 8,47$ kg/d, representando um aumento de 4,14 kg/d em relação ao grupo controle (Tabela 5). Essa diferença foi estatisticamente significativa ($p = 0,031$), evidenciando que a oferta de sombra contribuiu de forma efetiva para mitigar os efeitos do estresse térmico, resultando em melhor desempenho produtivo.

De forma semelhante, o uso do resfriamento também promoveu incremento na produção de leite. As vacas sem resfriamento produziram, em média, $23,15 \pm 6,92$ kg/d, ao passo que aquelas submetidas ao resfriamento alcançaram $26,55 \pm 8,85$ kg/d, o que representa um aumento de 3,40 kg/d (Tabela 5). Embora a diferença não tenha alcançado significância estatística ao nível de 5% ($p = 0,059$), observa-se uma tendência de aumento na produção, sugerindo que o resfriamento ambiental pode contribuir para o conforto térmico e o desempenho produtivo das vacas, especialmente sob condições de calor intenso.

Em síntese, os resultados indicam que ambas as estratégias: sombreamento e resfriamento favorecem a produtividade leiteira, com efeito mais pronunciado e estatisticamente comprovado para o sombreamento. Essa constatação reforça a importância do manejo ambiental como ferramenta de mitigação do estresse térmico em vacas leiteiras, visando a manutenção da homeostase térmica e a otimização da produção de leite.

Tabela 5. Efeito do acesso dos animais a sombra e ao resfriamento sobre a produção de leite das vacas

Tratamento	n	Média	Desvio-padrão	IC 95%	Diferença em relação ao controle	p-valor
<i>Produção de leite (kg/ dia)</i>						
Sem sombra	25	21,83	5,99	18,73 - 24,93	—	0,031
Com sombra	54	25,97	8,47	23,86 - 28,07	+4,14 kg/d	
Sem resfriamento	44	23,15	6,92	20,80 - 25,50	—	0,059
Com resfriamento	35	26,55	8,85	23,92 - 29,19	+3,40 kg/d	

*Resfriamento: ventiladores, aspersores ou sprinklers, Sombra: natural ou artificial.

As vacas sem acesso à sombra apresentaram teor médio de gordura de $3,74 \pm 0,80\%$, enquanto aquelas mantidas sob sombra apresentaram média ligeiramente inferior, de $3,58 \pm 0,55\%$ (Tabela 6), representando uma diferença de $-0,16$ ponto percentual em relação ao grupo controle ($p = 0,341$). Essa diferença não foi estatisticamente significativa, indicando que a oferta de sombra, embora beneficie o conforto térmico e a produção de leite, não alterou de forma consistente a composição lipídica do leite.

Tabela 6. Efeito do acesso a sombra e/ou do resfriamento para as vacas leiteiras sobre os teores componentes do leite.

Tratamento	n	Média	Desvio-padrão	IC 95%	Diferença em relação ao controle	p-valor
------------	---	-------	---------------	--------	----------------------------------	---------

<i>Gordura (%)</i>						
Sem sombra	24	3,74	0,8	3,48- 4,00	—	0,341
Com sombra	53	3,58	0,55	3,41- 3,76	-0,16	
Sem resfriamento	42	3,62	0,8	3,42- 3,82	—	0,887
Com resfriamento	35	3,64	0,39	3,43- 3,86	0,02	
<i>Proteína (%)</i>						
Sem sombra	22	2,98	0,58	2,77 - 3,20	—	0,608
Com sombra	51	3,05	0,45	2,91 - 3,19	0,07%	
Sem resfriamento	40	2,97	0,61	2,81 - 3,13	—	0,268
Com resfriamento	33	3,1	0,29	2,93 - 3,27	0,13%	
<i>Lactose (%)</i>						
Sem sombra	17	4,31	0,98	3,91 - 4,71	—	0,17
Com sombra	34	4,65	0,73	4,37 - 4,93	0,34%	
Sem resfriamento	30	4,34	1,02	4,05 - 4,64	—	0,043
Com resfriamento	21	4,82	0,21	4,46 - 5,17	0,48%	

*Resfriamento: ventiladores, aspersores ou sprinklers, Sombra: natural ou artificial.

De modo semelhante, o uso do resfriamento não influenciou o teor de gordura. As vacas sem resfriamento apresentaram teor médio de $3,62 \pm 0,80\%$, e as com resfriamento registraram $3,64 \pm 0,39\%$ (Tabela 6), uma diferença mínima de $+0,02\%$ ($p = 0,887$).

Esses resultados sugerem que, embora as estratégias de sombreamento e resfriamento contribuam para o bem-estar térmico e a manutenção da produção de leite, a composição do leite, em especial o teor de gordura, tende a permanecer estável, uma vez que está fortemente associada à dieta, ao estágio de lactação e à genética dos animais, mais do que a variações moderadas de ambiente térmico (WEST, 2003; POLSKY e VON KEYSERLINGK, 2017).

Em síntese, os resultados indicam que o manejo térmico melhora o desempenho produtivo sem comprometer a qualidade composicional do leite, o que reforça o potencial dessas práticas para a sustentabilidade e eficiência da produção leiteira em regiões de clima quente.

A Tabela 6 apresenta também os efeitos das estratégias de sombreamento e resfriamento sobre o teor de proteína do leite. Observa-se que o acesso à sombra promoveu um pequeno aumento na concentração média de proteína (3,05%) em comparação às vacas mantidas sem

sombra (2,98%), representando um acréscimo de +0,07%, porém sem significância estatística ($p = 0,608$). Ao contrário do que foi observado nessa metanálise, Gao et al. (2021) encontraram efeito significativo com uso do resfriamento para o teor de proteína do leite. De forma semelhante, o resfriamento resultou em um teor médio de proteína ligeiramente superior (3,10%) em relação ao grupo sem resfriamento (2,97), com diferença de +0,13%, também não significativa ($p = 0,268$).

Esses resultados indicam que, embora o manejo térmico (sombra e resfriamento) tenha mostrado tendência de incremento na proteína do leite, o efeito não foi suficiente para promover diferenças estatisticamente relevantes. A ausência de significância sugere que o estresse térmico moderado durante o período experimental não afetou de forma expressiva o metabolismo proteico da glândula mamária, possivelmente devido à capacidade adaptativa dos animais ou à eficácia parcial das medidas de mitigação térmica já implementadas no ambiente.

No entanto, a leve tendência de aumento observada sob condições de conforto térmico reforça a hipótese de que ambientes mais amenos favorecem a síntese proteica e o desempenho metabólico, refletindo-se em melhor qualidade composicional do leite.

Os efeitos do sombreamento e do resfriamento sobre o teor de lactose (%) no leite de vacas leiteiras é visto também na Tabela 6. Observa-se que o acesso à sombra resultou em aumento discreto no teor médio de lactose (4,65%) em comparação às vacas mantidas sem sombra (4,31%), correspondendo a um incremento de +0,34%, embora sem significância estatística ($p = 0,170$).

Por outro lado, o resfriamento exerceu efeito mais evidente sobre a composição do leite, elevando o teor médio de lactose de 4,34% para 4,82%, o que representa um aumento de +0,48% e apresentou significância estatística ($p = 0,043$). Essa resposta sugere que o controle térmico ativo contribui para a manutenção da função metabólica e secretora da glândula mamária, reduzindo o impacto do estresse térmico sobre a síntese de lactose — componente estreitamente relacionado ao equilíbrio osmótico do leite e, portanto, à sua produção volumétrica. Ponto de vista também defendido igualmente por Danieli et al. (2025).

De forma geral, os resultados indicam que estratégias de resfriamento são mais eficazes do que o sombreamento isolado na preservação da qualidade composicional do leite sob condições de calor, reforçando a importância de medidas de conforto térmico para vacas em lactação.

A Tabela 7 apresenta o efeito do acesso à sombra e ao resfriamento sobre a contagem de células somáticas (CCS, $\log_{10}$ células/mL) do leite de vacas em lactação. Observa-se que

nenhum dos fatores avaliados (sombra ou resfriamento) exerceu efeito estatisticamente significativo sobre a CCS, com valores de $p = 0,350$ e $p = 0,638$, respectivamente.

Tabela 7. Efeito do acesso a sombra e/ou do resfriamento para as vacas leiteiras sobre a CCS do leite

Tratamento	n	Média	Desvio-padrão	IC 95%	Diferença em relação ao controle	p-valor
<i>CCS (log10)</i>						
Sem sombra	15	5,14	0,49	4,91 - 5,37	—	0,35
Com sombra	22	5,28	0,39	5,09 - 5,47	0,14	
Sem resfriamento	22	5,2	0,53	5,009-5,39	—	0,638
Com resfriamento	15	5,27	0,26	5,03 - 5,50	0,07	

As médias de CCS variaram de 5,14 (sem sombra) a 5,28 (com sombra) e de 5,20 (sem resfriamento) a 5,27 (com resfriamento). Embora haja uma leve elevação nas médias sob sombra e resfriamento, as diferenças são pequenas ($\Delta = +0,14$ e $+0,07$ log, respectivamente) e estatisticamente não significativas, o que indica que as estratégias de conforto térmico empregadas não influenciaram de forma consistente a saúde da glândula mamária nas condições do estudo.

Esses resultados sugerem que, apesar do estresse térmico ser um fator potencialmente predisponente a mastites e alterações na CCS, os níveis de calor observados ou o período experimental podem não ter sido suficientemente intensos ou prolongados para provocar efeitos detectáveis. Além disso, a CCS apresenta alta variabilidade individual e depende de múltiplos fatores, como estágio de lactação, histórico de infecções, higiene de ordenha e manejo sanitário, que podem mascarar respostas sutis ao ambiente térmico.

Em conjunto, os achados indicam que o sombreamento e o resfriamento não promoveram reduções significativas na CCS do leite, diferindo do padrão observado na análise de regressão com o THI médio (Tabela 4), onde o aumento do THI mostrou associação positiva significativa com a CCS. Assim, é possível que os efeitos do estresse térmico sobre a saúde do úbere se manifestem mais fortemente em condições de calor mais intenso ou crônico.

Conclusão

O aumento do THI médio influencia diretamente sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras, refletindo na redução da produção de leite e no aumento da contagem de células somáticas, trazendo prejuízos na eficiência produtiva e saúde da glândula mamária. A composição do leite expressa pelos teores de gordura, proteína e lactose apresentaram melhor estabilidade às variações do THI, o que sugere maior resistência desses componentes em condições de estresse por calor, tendo maior variabilidade com o tipo de dieta, estágio de lactação, raça e outros fatores. Logo, conclui-se que o estresse térmico por calor afeta prioritariamente o volume e qualidade do leite, consolidando a importância do manejo para mitigação do estresse por calor para evitar perdas produtivas, garantir a qualidade do produto e permitir que haja sustentabilidade da atividade leiteira em regiões de clima quente, trazendo bem estar para o animal e retorno financeiro para o produtor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.S.; FISCHER, V., STUMPF, M. T., MCMANUS, C. M., GONZÁLEZ, F. H., DA SILVA, J. B., & HEISLER, G. Natural tree shade increases milk stability of lactating dairy cows during the summer in the subtropics. **Journal of Dairy Research**, v. 87, n. 4, p. 444-447, 2020.
- AHMAD, M.; BHATTI, J. A.; ABDULLAH, M.; JAVED, K.; ALI, M.; RASHID, G. Effect of ambient management interventions on the production and physiological performance of lactating Sahiwal cattle during hot dry summer. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, n. 6, p. 1249-1254, 2018.
- ARIAS, R. A.; DELGADO, C., KEIM, J. P., & GANDARILLAS, M. Use of the Comprehensive Climate Index to estimate heat stress response of grazing dairy cows in a temperate climate region. **Journal of Dairy Research**, v. 88, n. 2, p. 154-161, 2021.
- ASMARASARI, S.A.; AZIZAH, N.; SUTIKNO, S.; PUASTUTI, W.; AMIR, A.; PRAHARANI, L.; RUSDIANA, S.; HIDAYAT, C.; HAFID, A.; KUSUMANINGRUM, D.A.; SAPUTRA, F.; TALIB, C.; HERLIATIKA, A.; SHIDDIEGY, M.I.; HAYANTI, S.Y. A review of dairy cattle heat stress mitigation in Indonesia. **Veterinary World**, v. 16, n. 5, p. 1098, 2023. doi: 10.14202/vetworld.2023.1098-1108
- ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**. v.77, p.2044-50, 1994. DOI: 10.14202/vetworld.2023.1098-1108
- AVENDAÑO-REYES, L.; ALVAREZ-VALENZUELA, F. D., CORREA-CALDERÓN, A., SAUCEDO-QUINTERO, J. S., ROBINSON, P. H., & FADEL, J. G. Effect of cooling Holstein cows during the dry period on postpartum performance under heat stress conditions. **Livestock Science**, v. 105, n. 1-3, p. 198-206, 2006.
- AVENDAÑO-REYES, L.; ÁLVAREZ-VALENZUELA, F. D., CORREA-CALDERÓN, A., ALGÁNDAR-SANDOVAL, A., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, E., PÉREZ-VELÁZQUEZ, R. Comparison of three cooling management systems to reduce heat stress in lactating Holstein cows during hot and dry ambient conditions. **Livestock Science**, v. 132, n. 1-3, p. 48-52, 2010.
- BAEK, Y.C., CHOI, H., JEONG, J.Y., LEE, S.D., KIM, M.J., LEE, S., JI, S.Y., KIM, M. The impact of short-term acute heat stress on the rumen microbiome of Hanwoo steers.

- Journal of Animal Science and Technology**, v.62, p.208–217, 2020. doi: 10.5187/jast.2020.62.2.208
- BAGATH, M; KRISHNAN, G; DEVARAJ, C; RASHAMOL, V.P; PRAGNA, P; LEES, A.M; SEJIAN, V. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. **Research in Veterinary Science**, v. 126, p. 94-102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
- BERNABUCCI, U., BIFFANI, S., BUGGIOTTI, L., VITALI, A., LACETERA, N., NARDONE, A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.471-486, 2014. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6611>
- BERNABUCCI, U.; BASIRICÒ, L.; MORERA, P.; DIPASQUALE, D.; VITALI, A.; CAPPELLI, F. P.; & CALAMARI, L. U. I. G. I. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *Journal of dairy science*, v. 98, n. 3, p. 1815-1827, 2015.
- BOURAOUI, R; LAHMAR, M; MAJDOU, A; DJEMALI, M; BELYEA, R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a mediterranean climate. **Animal Research**, v. 51, n.6, p. 479-491, 2002. DOI:10.1051/animres:2002036.
- BOYU JI, THOMAS B., KRISTEN P., AFSHIN G., LES BOWTELL, CHAOYUAN W., BAOMING L. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. **Biosystems Engineering**, v.199, p.4-26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105457>
- CASARO, S., PÉREZ-BÁEZ, J., BISINOTTO, R.C., PRIM, R., J.G. GONZALEZ, T.D., GOMES, G.C., TAO, S., TOLEDO, I.M. DO AMARAL, B.C., BOLLATI, J.M., ZENOBI, M.G., MARTINEZ, N., DAHL, G.E., SANTOS, J.E.P., GALVÃO, K.N. (2024). Association between prepartum body condition score and prepartum and postpartum dry matter intake and energy balance in multiparous Holstein cows. **Journal of Dairy Science**. V.107, p.4381-4393, 2024. Doi:10.3168/jds.2023-24047
- CHEN, L.; THORUP, V.M.; KUDAHL, A.B.; OSTERGAARD, S. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 5, p. 3207-3218, 2024. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>
- COLLIER, R.J.; HALL, L.W.; RUNGRUANG, S.; ZIMBLEMAN, R.B. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. **Department of Animal Sciences University of Arizona**, v. 68, n. 1, p. 1-11, 2012.

- CORREA-CALDERON, A. ARMSTRONG, D. V., RAY, D. E., DENISE, S. K., ENNS, R. M., & HOWISON, C. M. Productive and reproductive response of Holstein and Brown Swiss heat stressed dairy cows to two different cooling systems. 2005.
- CORREA-CALDERÓN, A; AVENDAÑO-REYES, L; LÓPEZ-BACA, M; MACÍAS-CRUZ, U. Heat stress in dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. Review. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 13, n. 2, p. 488-509, 2022. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>.
- DAHL G.E., TAO S.; LAPORTA J. Heat stress impacts immune status in cows across the life cycle. **Frontiers in veterinary science**, v. 7, p. 116, 2020. doi: 10.3389/fvets.2020.00116
- DANIELI, B.; SCHOGOR, A.L.B.; ZUCCHI, J.; NETO, A.T. (2025). Cows with High SCC Exhibit Poorer Performance and Milk Quality, Regardless of the Season. **Dairy**, 6(4), p.46. <https://doi.org/10.3390/dairy6040046>
- DAS, R.; SAILO L.; VERMA, N.; BHARTI, P.; SAIKIA J.; IMTIWATI, I.; KUMAR R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review, **Veterinary World**, v.9(3), p.260-268, 2016. doi:10.14202/vetworld.2016.260-268
- DAVISON, T. M; JONSSON, N. N.;MAYER, D. G.; GAUGHAN, J. B.; EHRLICH, W. K.; & MCGOWAN, M. R. Comparison of the impact of six heat-load management strategies on thermal responses and milk production of feed-pad and pasture fed dairy cows in a subtropical environment. **International journal of biometeorology**, v. 60, n. 12, p. 1961-1968, 2016.
- DAVIDSON, B. D.; DADO-SENN, B., PADILLA, N. R., FABRIS, T. F., CASAROTTO, L. T., OUELLET, V. Late-gestation heat stress abatement in dairy heifers promotes thermoregulation and improves productivity. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 2357-2368, 2021.
- DE MORAES BRETTAS, Patrícia Kelly et al. Knowledge and perception of milk producers about thermal stress in Brazilian dairy farms. **Heliyon**, v. 10, n. 4, 2024.
- DI, S. U. HE, T. I. A. N., RUI-TING, H. U., LEI, R. A. N., YING, Y. A. N. G., & YAN-JING, S. U. Milk production and composition and metabolic alterations in the mammary gland of heat-stressed lactating dairy cows. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 12, p. 2844-2853, 2019.

- DŽERMEIKAITĖ E.K.; KRIŠTOLAITYTĖ E.J.; MALAŠAUSKIENĖ E.D.; ARLAUSKAITĖ E.S.; GIRDAUSKAITĖ E.A.; ANTANAITIS, R. The Impact of Heat Stress on Dairy Cattle: Effects on Milk Quality, Rumination Behaviour, and Reticulorumen pH Response Using Machine Learning Models. **Biosensors**, v.15, p.608., 2025. <https://doi.org/10.3390/bios15090608>
- FABRIS, T. F.; LAPORTA, J., SKIBIEL, A. L., CORRA, F. N., SENN, B. D., WOHLGEMUTH, S. E., & DAHL, G. E. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 6, p. 5647-5656, 2019.
- FISHER, A. D.; ROBERTS, N.; BLUETT, S. J.; VERKERK, G. A.; & MATTHEWS, L. R. Effects of shade provision on the behaviour, body temperature and milk production of grazing dairy cows during a New Zealand summer. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 51, n. 2, p. 99-105, 2008.
- GAO, S.T., GUO, Z.T., BAUMGARD, L.H., MA, L., BUI, D.P. Cooling ameliorates decreased milk protein metrics in heat-stressed lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.104, p.12139–12152, 2021. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20451>
- GUPTA, S.; SHARMA, A.; JOY, A.; DUNSHEA, F.R.; CHAUHAN, S.S. The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. **Animals**, v.13, p.107, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13010107>
- HABEEB, A.A.M.; Gad, A.E.; EL-Tarabany, A.A.; Atta, M.A.A. Negative effects of heat stress on growth and milk production of farm animals. **Journal Animal Husb. Dairy Science**. v. 2, n. 1, p. 1-12, 2018.
- HOU, Y.; ZHANG, L., DONG, R. Y., LIANG, M. Y., LU, Y., SUN, X. Q., & ZHAO, X. Comparing responses of dairy cows to short-term and long-term heat stress in climate-controlled chambers. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 2346-2356, 2021.
- JI, B.; BANHAZI, T.; PERANO, K.; GHAFRAMANI, A.; BOWTELL, L.; WANG, C., LI, B. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. **Biosystems Engineering**, v. 199, p. 4-26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>
- KENDALL, P. E.; NIELSEN, P. P., WEBSTER, J. R., VERKERK, G. A., LITTLEJOHN, R. P., & MATTHEWS, L. R. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. **Livestock Science**, v. 103, n. 1-2, p. 148-157, 2006.
- KIM, S.H., RAMOS, S.C., VALENCIA, R.A., CHO, Y.I., LEE, S.S. Heat stress: effects on rumen microbes and host physiology, and strategies to alleviate the negative

- impacts on lactating dairy cows. **Frontiers in microbiology**, v.13, p. 804562, 2022.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.804562>
- KUHLA, B. A review: Pro-inflammatory cytokines and hypothalamic inflammation: implications for insufficient feed intake of transition dairy cows. **Animal**, v.14, p.s65-s77. doi:10.1017/S1751731119003124.
- LEAN, I.J.; RABIEE, A.R.; DUFFIELD, T.F.; DOHOO, I.R. Invited review: use of meta-analysis in animal health and reproduction: methods and applications. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 3545–3565, 2009. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2140>
- LEES, J. C.; LEES, A. M.; GAUGHAN, J. B. The influence of shade availability on the effectiveness of the Dairy Heat Load Index (DHLI) to predict lactating cow behavior, physiology, and production traits. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, n. 2, p. 289-299, 2022.
- LEVIT, H., PINTO, S., AMON, T., GERSHON, E., KLEINJAN-ELAZARY, A., BLOCH, V., BEN MEIR, Y.A., PORTNIK, Y., JACOBY, S., ARNIN, A., MIRON, J., HALACHMI, I. Dynamic cooling strategy based on individual animal response mitigated heat stress in dairy cows. **Animal**, v.15, n.2, p.100093, 2021.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.804562>
- LIU, J; LI, L; CHEN, X; LU, Y; WANG, D. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress—A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 9, p. 1332, 2019. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0743>
- MANICA E, Coltri P.P, Pacheco V.M, Martello L.S. Changes in the pattern of heat waves and the impacts on Holstein cows in a subtropical region. **International journal of biometeorology**, v. 66, n. 12, p. 2477-2488, 2022.
- MARTÍNEZ, R. S.; PALLADINO, R. A., BANCHERO, G., FERNÁNDEZ-MARTÍN, R., NANNI, M., JULIANO, N. Providing heat-stress abatement to late-lactation Holstein cows affects hormones, metabolite blood profiles, and hepatic gene expression but not productive responses. **Applied Animal Science**, v. 37, n. 4, p. 490-503, 2021.
- MENDONCA, L. C.; CARVALHO, W. A., CAMPOS, M. M., SOUZA, G. N., DE OLIVEIRA, S. A., MERINGHE, G. K. F., & NEGRAO, J. A. Heat stress affects milk yield, milk quality, and gene expression profiles in mammary cells of Girolando cows. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 1, p. 1039-1049, 2025.
- MOORE, S.S., COSTA, A., PENASA, M. CALLEGARO, S., DE MARCHI, M. How heat stress conditions affect milk yield, composition, and price in Italian Holstein

- herds. **Journal of Dairy Science**, v. 106, p.4042-4058, 2023. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22640>.
- NEGRI, R.; DOS SANTOS-DALTRO, D.; COBUCI, J.A. 2021. Heat stress effects on somatic cell score of Holstein cattle in tropical environment. **Livestock Science**, v.247, p.104480. DOI:10.1016/j.livsci.2021.104480.
- OSEI-AMPONSAH, R.; R., DUNSHEA, F. R., LEURY, B. J., CHENG, L., CULLEN, B., JOY, A. Heat stress impacts on lactating cows grazing Australian summer pastures on an automatic robotic dairy. **Animals**, v. 10, n. 5, p. 869, 2020.
- PAGE, M.J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J.M.; AKL, A.E.; SUE E BRENNAN, CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J.M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M.M.; LI, T.; LODER, E.W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L.A.; STEWART, L.A.; THOMAS, J.; TRICCO, A.C.; WELCH, A.V.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v.372, 2021. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- POLSKY, L., VON KEYSERLINGK, M.A.G. Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.8645-8657, 2017. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- ROLAND, L; DRILLICH, M; KLEIN-JÖBSTL, D; IWERSEN, M. Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 4, p. 2438-2452, 2016.
- ROMÁN, L.; SARAIVA, C., ASTIGARRAGA, L., BENTANCUR, O., & LA MANNA, A. Shade access in combination with sprinkling and ventilation effects performance of Holstein cows in early and late lactation. **Animal Production Science**, v. 59, n. 2, p. 347-358, 2019.
- ROTH, Z. Effect of heat stress on reproduction in dairy cows: insights into the cellular and molecular responses of the oocyte. **Annual Review of Animal Biosciences**, v.5, p.151-170, 2017. DOI: 10.1146/annurev-animal-022516-022849
- SAMMAD, A., JING WANG, Y., UMER, S., LIRONG, H., KHAN, I., KHAN, A., AHMAD, B., WANG, Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: Consequences and opportunities. **Animals**, v.10, n.5, p.793, 2020. doi.org/10.3390/ani10050793.

- SHARPE, K. T.; HEINS, B. J., BUCHANAN, E. S., & REESE, M. H. Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 3, p. 2794-2806, 2021.
- SMITH, T. R.; CHAPA, A., WILLARD, S., HERNDON JR, C., WILLIAMS, R. J., CROUCH, J. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast. II: Impact on lactation performance. **Journal of dairy science**, v. 89, n. 10, p. 3915-3923, 2006.
- STUMPF, M.T.; KOLLING, G. J.; FISCHER, V.; DOS SANTOS DALTRO, D.; ALFONZO, E. P. M.; DALCIN, V. C. Elevated temperature-humidity index induces physiological, blood and milk alterations in Holstein cows in a more pronounced manner than in $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ Holstein $\times$ Gir. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 9, n. 4, p. 0-0, 2021.
- TAZZO I.F.; BREMM A.K.T.; CARDOSO L.S.; JUNGES, A.H.; ALLEM JR., P.H. Temperature and Humidity Index (THI) during the 2021/2022 summer and its impact on dairy cattle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Animal Brasileira | Brazilian Animal Science**, v.25, 77035E, 2024. DOI: 10.1590/1809-6891v25e-77035E
- TUYTTENS, F. A. M.; AMPE, B., SONCK, B., MOONS, C. P. H., & VANDAELE, L. Effect of summer conditions and shade on the production and metabolism of Holstein dairy cows on pasture in temperate climate. **Animal**, v. 9, n. 9, p. 1547-1558, 2015.
- WEST, J.W. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, 2131-2144, 2003. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- WILSON, A. M.; WRIGHT, T. C., CANT, J. P., & OSBORNE, V. R. Behavioral and physiological responses to an inspired-air supplemental cooling system for dairy cows in free-stall housing. **Animal**, v. 17, n. 8, p. 100887, 2023.
- YADAV, B.; SINGH, G.; WANKAR, A.; DUTTA, N.; CHATURVEDI, V.B.; VERMA, M.R. Effect of simulated heat stress on digestibility, methane emission and metabolic adaptability in crossbred cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.29, n.11, p. 1585, 2016. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.15.0693>

Considerações finais

Observa-se a partir da revisão sistemática e metanálise, que os efeitos do estresse por calor em vacas são de suma importância para toda cadeia produtiva do leite. Estratégias para mitigação do estresse são necessárias para garantir o bem-estar das vacas e maior produtividade futura, visto que a partir dos dados observados, nota-se que o THI médio quando acima do limiar de tolerância, afeta a produção de leite e aumenta a vulnerabilidade com o aumento da contagem de células somáticas. Concluindo que os efeitos do estresse por calor em vacas afetam a saúde do úbere, trazendo queda na quantidade e qualidade do leite e são intensificadas quando esses animais são submetidos a temperaturas e THI elevados.

APÊNDICES

Protocolo
Aluno: Daniela Arestides Alves Castilho Teixeira Orientador: Geraldo Tadeu dos Santos Coorientadora: Camila Soares Cunha Programa: Ciência Animal Nível: Doutorado Tema: Os efeitos do estresse por calor no desempenho e imunidade de vacas leiteiras.
Objetivo: Quais os principais efeitos do estresse térmico no desempenho e imunidade de vacas leiteiras.
Questão norteadora: Quais são os efeitos que o estresse térmico exerce sobre a produção e composição do leite e imunidade de vacas leiteiras.
Estratégia PICOS para formulação da questão de pesquisa: 1º P (População) – Vacas leiteiras em lactação 2º I (Intervenção) – Estresse térmico 3º C (Comparação) – Conforto térmico 4º O (Desfecho) – Desempenho (produção e composição do leite, CCS, dias em lactação). S (Tipo de estudo) – Estudo experimental publicados como artigos científicos
Estratégias de busca
Base de dados • Base de dados 1: SCOPUS (Elsevier) • Base de dados 3: CAB DIRECT • Base de dados 4: Science Direct • Base de dados 5: Wiley Online Library
Descritores
1º ("Dairy Cattle" OR "Dairy Cows" OR "Milk Cow" OR "Cow" OR "Cows" OR "Lactating Cows" OR "Lactation" OR "Cows In Milking" OR "Lactation Cows" OR "Dairy Farming") 2º ("Heat stress" OR "Thermal stress" OR "High temperatures" OR "Environmental temperature" OR "Body temperature" OR "Higher temperatures" OR "Temperature-Humidity Index" OR "Solar radiation" OR "Heat Stress Disorders" OR "Heat-Shock Response" OR "Heat Injury" OR "Heat Shock Response" OR "Oxidative Stress") 3º ("Thermal Comfort" OR "Thermotolerant" OR "Thermoregulator" OR "Thermal Neutrality" OR "Homeothermy" OR "Environmental Comfort" OR "Physical Comfort" OR "Shading" OR "Shade") 4º ("Milk Yield" OR "Milk Production" OR "Milk" OR "Productive Performance" OR "Performance" OR "Lactation Yield" OR "Milk Yielding" OR "Performance Of Lactating" OR "Milk Composition" OR "Feed Intake" OR "Milk Fat" OR "Milk Protein" OR "Somatic Cell Count" OR "Hyperthermia" OR "Immunology" OR "Health" OR "Immunological Effects" OR "Immunological Parameters" OR "Immunological Factors")

NOT ("Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra" OR "Mice" OR "Mouse" OR "Rats" OR "Human")

Cruzamentos

1º AND 2º AND 3º AND 4º

Cruzamentos de busca por bases de dados

SCOPUS

(TITLE-ABS-KEY (("Dairy Cattle" OR "Dairy Cows" OR "Milk Cow" OR "Cow" OR "Cows" OR "Lactating Cows" OR "Lactation" OR "Cows In Milking" OR "Lactation Cows" OR "Dairy Farming")) AND TITLE-ABS-KEY (("Heat stress" OR "Thermal stress" OR "High temperatures" OR "Environmental temperature" OR "Body temperature" OR "Higher temperatures" OR "Temperature-Humidity Index" OR "Solar radiation" OR "Heat Stress Disorders" OR "Heat-Shock Response" OR "Heat Injury" OR "Heat Shock Response")) AND TITLE-ABS-KEY (("Thermal Comfort" OR "Thermotolerant" OR "Thermoregulator" OR "Thermal Neutrality" OR "Homeothermy" OR "Environmental Comfort" OR "Physical Comfort" OR "Shading" OR "Shade")) AND TITLE-ABS-KEY (("Milk Yield" OR "Milk Production" OR "Milk" OR "Productive Performance" OR "Performance" OR "Lactation Yield" OR "Milk Yielding" OR "Performance Of Lactating" OR "Milk Composition" OR "Feed Intake" OR "Milk Fat" OR "Milk Protein" OR "Somatic Cell Count")) AND NOT TITLE-ABS-KEY (("Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra")))

(TITLE-ABS-KEY (("Dairy Cattle" OR "Dairy Cows" OR "Milk Cow" OR "Cow" OR "Cows" OR "Lactating Cows" OR "Lactation" OR "Cows In Milking" OR "Lactation Cows" OR "Dairy Farming")) AND TITLE-ABS-KEY (("Heat stress" OR "Thermal stress" OR "High temperatures" OR "Environmental temperature" OR "Body temperature" OR "Higher temperatures" OR "Temperature-Humidity Index" OR "Solar radiation" OR "Heat Stress Disorders" OR "Heat-Shock Response" OR "Heat Injury" OR "Heat Shock Response" OR "Oxidative Stress")) AND TITLE-ABS-KEY (("Thermal Comfort" OR "Thermotolerant" OR "Thermoregulator" OR "Thermal Neutrality" OR "Homeothermy" OR "Environmental Comfort" OR "Physical Comfort" OR "Shading" OR "Shade")) AND TITLE-ABS-KEY (("Milk Yield" OR "Milk Production" OR "Milk" OR "Productive Performance" OR "Performance" OR "Lactation Yield" OR "Milk Yielding" OR "Performance Of Lactating" OR "Milk Composition" OR "Feed Intake" OR "Milk Fat" OR "Milk Protein" OR "Somatic Cell Count" OR "Hyperthermia" OR "Immunology" OR "Health" OR "Immunological Effects" OR "Immunological Parameters" OR "Immunological Factors")) AND NOT TITLE-ABS-KEY (("Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra" OR "Mice" OR "Mouse" OR "Rats" OR "Human"))) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

CAB DIRECT

ab:(("Dairy Cattle" OR "Dairy Cows" OR "Milk Cow" OR "Cow" OR "Cows" OR "Lactating Cows" OR "Lactation" OR "Cows In Milking" OR "Lactation Cows" OR "Dairy Farming")) AND ab:(("Heat stress" OR "Thermal stress" OR "High temperatures" OR "Environmental temperature" OR "Body temperature" OR "Higher temperatures" OR "Temperature-Humidity Index" OR "Solar radiation" OR "Heat Stress Disorders" OR "Heat-Shock Response" OR "Heat Injury" OR "Heat Shock Response")) AND ab:(("Thermal Comfort" OR "Thermotolerant" OR "Thermoregulator" OR "Thermal Neutrality" OR "Homeothermy" OR "Environmental Comfort" OR "Physical Comfort"

OR "Shading" OR "Shade")) AND ab:(("Milk Yield" OR "Milk Production" OR "Milk" OR "Productive Performance" OR "Performance" OR "Lactation Yield" OR "Milk Yielding" OR "Performance Of Lactating" OR "Milk Composition" OR "Feed Intake" OR "Milk Fat" OR "Milk Protein" OR "Somatic Cell Count")) NOT ab:(("Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra"))

SCIENCE DIRECT

("Dairy cattle" OR "Cow") AND ("Thermal stress" OR "Heat stress") AND ("Milk yield" OR "Immunological Parameters" OR "Milk composition") NOT ("Buffalo" OR "Sheep")

Wiley Online Library

("Dairy Cattle" OR "Dairy Cows" OR "Milk Cow" OR "Cow" OR "Cows" OR "Lactating Cows" OR "Lactation" OR "Cows In Milking" OR "Lactation Cows" OR "Dairy Farming") in Abstract and ("Heat stress" OR "Thermal stress" OR "High temperatures" OR "Environmental temperature" OR "Body temperature" OR "Higher temperatures" OR "Temperature-Humidity Index" OR "Solar radiation" OR "Heat Stress Disorders" OR "Heat-Shock Response" OR "Heat Injury" OR "Heat Shock Response" OR "Oxidative Stress") in Abstract and ("Thermal Comfort" OR "Thermotolerant" OR "Thermoregulator" OR "Thermal Neutrality" OR "Homeothermy" OR "Environmental Comfort" OR "Physical Comfort" OR "Shading" OR "Shade") in Abstract and ("Milk Yield" OR "Milk Production" OR "Milk" OR "Productive Performance" OR "Performance" OR "Lactation Yield" OR "Milk Yielding" OR "Performance Of Lactating" OR "Milk Composition" OR "Feed Intake" OR "Milk Fat" OR "Milk Protein" OR "Somatic Cell Count" OR "Hyperthermia" OR "Immunology" OR "Health" OR "Immunological Effects" OR "Immunological Parameters" OR "Immunological Factors ") in Abstract and NOT ("Ovine" OR "Lamb" OR "Buffalo" OR "Goat" OR "Sheep" OR "Ovis" OR "Capra" OR "Mice" OR "Mouse" OR "Rats" OR "Human") in Abstract

Seleção dos estudos

Critérios de inclusão:

- Artigos completos disponíveis na íntegra nas bases de dados realizados sob qualquer delineamento metodológico que responda à questão norteadora;
- Artigos que avaliaram o estresse térmico em vacas leiteiras em lactação;
- Artigos que contenham informações de desempenho produtivo e composição do leite, e imunidade de vacas leiteiras;
- Estudos em qualquer idioma e sem recorte temporal.

Critérios de exclusão:

- Editoriais, cartas ao editor, resumos em anais de congresso, opinião de especialistas, outras revisões, correspondências, resenhas, capítulos de livros, teses e dissertações;
- Artigos duplicados serão considerados apenas uma vez.

Teste de relevância (OLSEN, 1995)	Avaliador:	
	Sim	Não
Quais são os efeitos que o estresse térmico exerce sobre a produção e		

composição do leite e imunidade de vacas leiteiras?		
Critérios de inclusão: - Artigos completos disponíveis na íntegra nas bases de dados realizados sob qualquer delineamento metodológico que responda à questão norteadora; - Artigos que avaliaram vacas leiteira sob estresse térmico; - Artigos que contenham informações de desempenho produtivo de vacas leiteiras; - Estudos em qualquer idioma e sem recorte temporal.		
Critérios de exclusão: - Editoriais, cartas ao editor, resumos em anais de congresso, opinião de especialistas, outras revisões, correspondências, resenhas, capítulos de livros, teses e dissertações; - Artigos duplicados serão considerados apenas uma vez.		
Estratégia para coleta de dados e síntese dos estudos		
• Instrumento que contém informações sobre a identificação da publicação (título do artigo, bases de dados indexadas, autores, país, idioma e ano de publicação), nome da revista científica, objetivo ou hipótese, aspectos metodológicos do estudo (Tipo de estudo, delineamento metodológico e período experimental no casos dos estudos de intervenção), instalação/ alojamento dos animais, desempenho produtivo (raça dos animais, idade, peso, produção diária, composição do leite, consumo de matéria seca e conversão alimentar) limitações e conclusões (Apêndice 1).		
Avaliação da evidência dos estudos		
A qualidade metodológica dos artigos será avaliada pelo nível de evidencia (JBI evidence level - https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI-Levels-of-evidence_2014_0.pdf). Posteriormente, será realizada a aplicação do CASP por desenho metodológico (Lista de verificação do CASP (Critical Appraisal Skills Programme) online. Disponível em: https://casp-uk.net/wp-content/uploads/2018/01/CASP-Case-Control-Study-Checklist-2018.pdf).		

RESULTADOS DAS BUSCAS

Base de dados	Cruzamento	Limite	Nº de documentos recuperados (14/08/2025)	Nº de artigos de pesquisa recuperados (14/08/2025)
Scopus	Único	Apenas artigo	248	213
Cab Direct	Único	Apenas artigo	243	219
Science Direct	Único	Apenas artigo	1945	1396
Wiley Online Library	Único	Apenas artigo	7	7
Total			2443	1835

INSTRUMENTO PARA EXTRAÇÃO DOS DADOS DOS ESTUDOS

1. Identificação da publicação:

Título do artigo	
Autores	
Ano de publicação	
Idioma	

2. Revista científica

Nome da revista científica	
----------------------------	--

3. Aspectos metodológicos do estudo

Objetivo ou hipótese	
Tipo de estudo	
Descrição do estudo (país, clima, estação do ano)	
Delineamento experimental (em casos de estudos de intervenção)	
Unidade experimental (N)	
Período experimental	
Tipo de sistema de criação (confinamento/ á pasto)	

Manejo alimentar (base alimentar - confinados/ espécie do pasto)	
Tipos de sombreamento (natural/artificial)	
4. Desempenho produtivo	
Raça	
Idade	
Estágio de lactação	
Nº de partos	
Produção diária de leite	
Composição do leite (Gordura, proteína)	
Dias em lactação	
Contagem de células somáticas	
Parâmetros Imunológicos	
5. Limitações do estudo e conclusão	
6. Avaliação metodológica (CASP)	
1. O estudo abordou uma questão claramente focada? 2. Os autores usaram um método apropriado para responder a sua pergunta? 3. Os casos foram recrutados de maneira aceitável? 4. Os controles foram selecionados de maneira aceitável? 5. A exposição foi medida com precisão para minimizar o viés? 6. Além da intervenção experimental, os grupos foram tratados igualmente? Os autores levaram em conta dos fatores de confusão no design da análise? 7. Quão grande foi o efeito do tratamento? 8. Quão precisa foi a estimativa do efeito do tratamento? 9. Você acredita nos resultados? 10. Os resultados podem ser aplicados para população local? 11. Os resultados deste estudo se encaixam com outras evidências disponíveis?	

