

PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM SISTEMAS INTEGRADOS

1º Edição



Alan Figueiredo de Oliveira
Lúcio Carlos Gonçalves

FEPE

Alan Figueiredo de Oliveira

Lúcio Carlos Gonçalves

**PRODUÇÃO DE
RUMINANTES EM
SISTEMAS
INTEGRADOS**

1º edição

Belo Horizonte

FEPE

2021

Capa: Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

Agradecimento à fazenda Canoas (Curvelo-Minas Gerais) pelas imagens cedidas para a capa do livro

Correção ortográfica: Professora Giovanna Spotorno Moreira

O48p Oliveira, Alan Figueiredo de.
Produção de ruminantes em sistemas integrados/ Alan Figueiredo de
Oliveira, Lúcio Carlos Gonçalves. - 1. ed.- Belo Horizonte: FEPE, 2021.

494 p.:il.

Bibliografia: p.: 22 - 493.
ISBN: 978-65-994630-0-6.
Formato: Livro Digital.

1. Agricultura - 2. Alimentos - 3. Agropecuária - 4. Produtos agrícolas - I. Oliveira, Alan Figueiredo de - II. Gonçalves, Lúcio Carlos - III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - IV. Título.

CDD – 630

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

Autores

Alan Figueiredo de Oliveira

Técnico em Zootecnia – IFET Campus Rio Pomba (2011); Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestre em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG.

Ângela Maria Quintão Lana

Agrônoma - UFV (1988); Mestre e Doutora em Genética e Melhoramento – UFV (1996); Pós doutorado - University of Florida (2014); Professora Titular da EV-UFMG.

Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

Graduanda em Medicina Veterinária EV-UFMG.

Daniela Aparecida Barroso Siste

Zootecnista – UFV (1997); Mestre em Zootecnia (Nutrição de ruminantes) – EV-UFMG (2001); Doutoranda em Zootecnia (Produção de Ruminantes) – EV-UFMG.

Daniel Ferreira Mello de Oliveira

Médico Veterinário – EV-UFMG (2020); Mestrando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Diogo Gonzaga Jayme

Médico Veterinário – EV-UFMG (2001); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2003); Doutor em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2007); Professor Associado da EV-UFMG.

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires

Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Guilherme Lobato Menezes

Médico Veterinário – PUC-MG (2014); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020); Doutorando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Gustavo Henrique Silva Camargos

Graduando em Medicina Veterinária EV-UFMG.

João Vitor Araújo Ananias

Graduando em Medicina veterinária - FUNORTE

Lúcio Carlos Gonçalves

Agrônomo - UFV (1974); Mestre em Zootecnia – EV-UFMG (1977); Doutor em Zootecnia – UFV (1987); Professor Titular da EV-UFMG.

Matheus Anchieta Ramirez

Técnico em Agropecuária – CEDAF Campus Florestal (2002); Médico Veterinário – EV-UFMG (2008); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2010); Doutor em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2011); Professor Associado da EV-UFMG.

Pamella Grossi de Sousa

Técnica em Zootecnia – IFET Campus Rio Pomba (2013); Zootecnista – IFET Campus Rio Pomba (2018); Mestre em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG (2020) e Doutoranda em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

Rafael Araújo de Menezes

Médico Veterinário – EV-UFMG (2018); Mestrando em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) – EV-UFMG.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS DOS SISTEMAS INTEGRADOS

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **1**

Capítulo 2 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **26**

Capítulo 3 - VALOR NUTRITIVO DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **49**

Capítulo 4 - UTILIZAÇÃO DE LEGUMINOSAS EM SISTEMAS INTEGRADOS

Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes **69**

Capítulo 5 - DESEMPENHO DE GADO DE CORTE EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **93**

Capítulo 6 - DESEMPENHO DE GADO LEITEIRO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA	
<i>Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes</i>	109
<hr/>	
Capítulo 7 – ESTRESSE TÉRMICO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM CLIMA TROPICAL	
<i>Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes</i>	130
<hr/>	
Capítulo 8 - DESEMPENHO VEGETAL EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	
<i>Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez</i>	160
<hr/>	
Capítulo 9 - DESEMPENHO DE BOVINOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	
<i>Pamella Grossi de Sousa, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Alan Figueiredo de Oliveira, Rafael Araújo de Menezes, Guilherme Lobato Menezes, Frederico Patrus Ananias de Assis Pires, Matheus Anchieta Ramirez</i>	182
<hr/>	
Capítulo 10 - CAPACIDADE DE USO DOS SOLOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS	
<i>Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Gustavo Henrique Silva Camargos</i>	203

Capítulo 11 - EMISSÃO E PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Daniel Ferreira Mello de Oliveira **230**

Capítulo 12 – ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E OS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; João Vitor Araújo Ananias **256**

Capítulo 13 - ESTOQUES DE CABONO EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS OCUPADOS COM PASTAGEM E LAVOURA

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **291**

Capítulo 14 - ESTOQUES DE CABONO EM AGROFLORESTAS E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS AGROPECUÁRIOS

Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes **335**

Capítulo 15 - COMO REALIZAR A ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS INTEGRADOS

Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes **361**

Capítulo 16 – PLANEJAMENTO E GESTÃO POR INDICADORES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

380

*Guilherme Lobato Menezes; Diogo Gonzaga Jayme; Alan Figueiredo de Oliveira;
Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa;
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes*

Capítulo 17 - EXTENSÃO RURAL E SUAS CONEXÕES COM OS SISTEMAS INTEGRADOS

396

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos
Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus
Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

Capítulo 18 - ÓRGÃOS E POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE OS SISTEMAS INTEGRADOS

421

*Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves;
Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme
Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes*

Capítulo 19 - OS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO DIANTE DA EXIGÊNCIA DA SUSTENTABILIDADE

451

*Matheus Anchieta Ramirez; Alan Figueiredo de Oliveira; Daniela Aparecida
Barroso Siste; Lúcio Carlos Gonçalves; Pamella Grossi de Sousa; Frederico
Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato
Menezes*

CAPÍTULO 7

ESTRESSE TÉRMICO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM CLIMA TROPICAL

Rafael Araújo de Menezes; Matheus Anchieta Ramirez; Lúcio Carlos Gonçalves; Alan Figueiredo de Oliveira; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Guilherme Lobato Menezes; Pamella Grossi de Sousa; Brisa Márcia Rodrigues Sevidanes

RESUMO

Os sistemas de produção de ruminantes no Brasil são predominantemente extensivos, caracterizados pelo uso de pastagens e pela alta exposição dos animais ao ambiente tropical. As elevadas temperaturas, a radiação solar e a alta umidade relativa do ar são os fatores climáticos que propiciam o estresse térmico por calor. Os animais de origem europeia e de alta produção são mais sensíveis a essas condições. O estresse térmico pode afetar os animais por interferir no comportamento, na fisiologia e na produtividade, o que resulta em prejuízos zootécnicos e econômicos em curto e longo prazo. O planejamento e as ações estratégicas de mitigação do estresse térmico por calor, de forma a favorecer maior conforto aos animais e minimizar as perdas produtivas, são de fundamental importância. Diferentes manejos podem ser aplicados e permitem aumentar a eficiência e a lucratividade do sistema.

INTRODUÇÃO

A globalização permite o longo alcance de tecnologias, produtos e serviços. No meio agropecuário, a globalização também possibilita o intercâmbio de animais e material genético entre diversos países. Assim, estabeleceu-se a diversificação racial de ruminantes em diferentes regiões do mundo, com importantes vantagens e desvantagens para a produção. No Brasil, a principal vantagem da importação de animais e de material genético é o maior potencial produtivo (leite, carne, lã). Entretanto, essa vantagem é inevitavelmente acompanhada da maior sensibilidade às condições climáticas e a patógenos ambientais.

O estresse térmico por calor é o principal agravo climático para os animais criados nos trópicos, uma vez que gera prejuízos de diferentes formas e intensidades. Seus efeitos são acentuados nos animais originários de regiões com clima temperado, como os bovinos *Bos taurus taurus* e caprinos do tronco europeu, embora também afetem animais de clima

tropical, como *Bos taurus indicus* e do tronco africano. Algumas raças, como a Senepol e a Caracu, tornaram-se adaptadas às condições climáticas dos ambientes tropicais.

As particularidades do sistema de produção, bem como o nível tecnológico, influenciam no quanto o estresse térmico acomete o bem-estar, a saúde e o desempenho dos animais. Por exemplo, considerando-se um mesmo local, os animais criados em pasto possivelmente serão mais afetados que animais criados em sistemas de integração sombreados devido à incidência direta dos raios solares.

Por isso, a evolução do potencial produtivo adquirido deve ser acompanhada das estratégias de mitigação do estresse térmico e de aclimação ambiental para que o investimento seja válido. Essas estratégias são fundamentais para permitir um melhor desempenho desses animais, empregando-se a eficiência e a viabilidade econômica ao sistema. Objetivou-se neste capítulo rever a literatura sobre o estresse térmico e seus impactos na produção de ruminantes em diferentes sistemas de produção.

CONCEITO DE ESTRESSE TÉRMICO

O estresse é definido como qualquer fator que ameace a condição estabelecida como confortável para o animal ou que nela interfira (Rodrigues *et al.*, 2010). Essa condição de conforto é denominada homeostase. A homeostase é a capacidade de o indivíduo manter em equilíbrio as condições de meio e os processos metabólicos do organismo, por meio de mecanismos fisiológicos de controle e de mudanças comportamentais. Segundo Bernabucci *et al.* (2010), o estresse térmico por calor pode ser definido como uma condição fisiológica em que a temperatura corporal interna de uma determinada espécie excede sua faixa especificada para atividade normal. Nessa condição, a carga total de calor endógeno e exógeno excede a capacidade de dissipação de calor, o que gera respostas fisiológicas e comportamentais para reduzir a tensão.

Logo, o conforto térmico de um animal se refere à sua condição de termoneutralidade com o ambiente, ou seja, o calor corporal perdido está em equilíbrio com o calor absorvido. Nessa condição, o indivíduo não gasta energia significativa para manter sua homeostase térmica e não requer esforços para manter normal a sua temperatura corporal. Conceitua-se, então, que o animal está em conforto térmico. Por outro lado, o estresse térmico ocorre quando há interferências que podem desequilibrar a homeostase térmica (homeotermia) do indivíduo e provocar respostas compensatórias fisiológicas e comportamentais.

O estresse térmico ocorre principalmente pelo excesso de frio, calor, por alta ou baixa umidade. Em um primeiro cenário, frio e seco, há respostas para produção de calor pelo metabolismo (termogênese), enquanto no segundo cenário, quente e úmido, há respostas para dissipação de calor (termólise). Infelizmente, os mecanismos de regulação e controle da temperatura corporal são limitados e os processos de termogênese ou termólise podem não ser suficientes para manter a homeostase compatível com as demandas produtivas e de sobrevivência. Portanto, à medida que o estresse térmico aumenta, ocorrem prejuízos produtivos, reprodutivos, fisiológicos ou até a morte. A morte de animais por hiper ou hipotermia não é um fato rotineiro. Porém, os prejuízos zootécnicos e econômicos provenientes do estresse térmico têm grande importância nos sistemas de produção, o que muitas vezes ocorre de forma imperceptível (Bezerra *et al.*, 2008).

As condições climáticas são frequentemente modificadas pela umidade relativa, pela temperatura, pelo vento e pela radiação. Quando combinados, esses fatores podem proporcionar um ambiente confortável ou estressante. Cada fator se apresenta em diferentes intensidades, com variações ao longo do tempo. O resultado da interação entre eles em um determinado momento distingue qual dos dois tipos de ambiente será experimentado pelo animal, tendo como base suas condições necessárias para homeostase. Essa percepção pode referir-se a um momento específico ou como média de um determinado período.

ABSORÇÃO E PRODUÇÃO DE CALOR PELO RUMINANTE

Calor exógeno: o ambiente pode transferir energia para o animal por meio da temperatura do ar e da radiação. Essa energia é chamada de calor exógeno. A radiação é direta quando os raios solares incidem diretamente sobre o animal, como é o caso de animais em pasto nos sistemas de pleno sol. Já a radiação indireta ocorre quando a incidência da radiação solar é refletida em corpos e direcionada ao animal.

Calor endógeno: o calor produzido e contido pelo próprio animal provém do metabolismo calórico e é nomeado de calor endógeno. Diversos processos metabólicos produzem calor endógeno, destacando-se os ciclos celulares (bomba de sódio e potássio, via glicolítica), ciclos metabólicos (principalmente ciclos hepáticos e do tecido adiposo, como gliconeogênese/glicólise e lipólise/lipogênese) e o trabalho de contração e relaxamento muscular (movimentos cardiorrespiratórios, secreção basal de glândulas exócrinas e anexas ao tubo digestivo, peristaltismo, tônus da musculatura estriada,

vasomotora) (Bianco, 2000). Nos ruminantes ainda há maior produção de calor no trato digestivo devido ao processo de fermentação ruminal dos alimentos. A quebra de moléculas durante a digestão dos alimentos, a oxidação dos açúcares, dos lipídios e das proteínas e a utilização do ATP (adenosina trifosfato – o principal composto energético das células) pelos tecidos são exemplos desses processos, nos quais a maior parte da energia contida nos substratos é perdida na forma de calor.

Entre os processos orgânicos envolvidos na geração do calor endógeno, primeiramente, é importante considerar as funções basais de manutenção, pois se referem às atividades metabólicas básicas para sobrevivência e produzem calor constantemente. Por conseguinte, o calor produzido por atividades físicas, especificamente pela contração dos músculos, se soma à manutenção, aumentando o calor endógeno total. Baseado nos princípios da termodinâmica, Bianco (2000) cita que a eficiência de trabalho de sistemas biológicos é cerca de 30%; ou seja, aproximadamente 70% da energia consumida para realizar uma simples contração muscular é perdida e liberada na forma de calor. Por fim, estágios avançados de prenhez e alta produção (carne, leite ou lã) completam o quadro de processos orgânicos importantes na geração de calor endógeno.

Visto que a camada de gordura subcutânea funciona como barreira térmica e dificulta a saída de calor, este irá se acumular no corpo do animal. Logo, os ruminantes necessitam de meios para dissipar esse calor de maneira controlada, a fim de manter sua temperatura corporal dentro dos limites fisiológicos apropriados para sua sobrevivência, bem-estar e eficiência produtiva. Para prosseguir este capítulo, devido às condições climáticas de um país tropical como o Brasil, a expressão “estresse térmico” será referida ao estresse por calor causado pela maior temperatura e/ou umidade ambiental.

MECANISMOS DE DISSIPACÃO DE CALOR

O ruminante precisa perder calor para compensar a energia naturalmente produzida pelo seu organismo para manter a homeostasia. Nesse processo, a perda de calor é feita em duas vias: perdas latentes e perdas sensíveis. As perdas latentes ocorrem por meio da evaporação da umidade pela superfície da pele e pela respiração. Em situação de estresse térmico, a ofegação (respiração com frequência aumentada) representa cerca de 22% da perda de calor latente, enquanto a maior parte dessa perda é representada pela evaporação da umidade superficial da pele (Brown-Brandl, 2018). As perdas sensíveis ocorrem por condução, convecção e radiação, as quais dependem da temperatura da superfície da pele e dos arredores, como o ar, objetos e outros corpos.

Os mecanismos de perda latente e sensível representam a resposta inicial e imediata ao estresse térmico, podendo ser acompanhados por reduções no consumo e na produção e por aumento da ingestão de água (Gaughan *et al.*, 2009). Em alguns casos, quando o estresse térmico é de intensidade leve a moderada, há modificações intracelulares nas vias sinalizadoras e reprogramação das atividades celulares para aclimatação. Em conjunto, as modificações intracelulares e os mecanismos de perda de calor geralmente são suficientes para manter a homeostase. Porém, em casos de estresse agudo ou crônico, esses mecanismos não são totalmente eficazes, demandando outras alterações fisiometabólicas para auxiliar no controle da temperatura corporal. Essas repostas ao estresse agudo são representadas pela reprogramação da expressão gênica e por maiores respostas celulares, que são mediadas, em grande parte, por proteínas de choque térmico (*heat shock protein – HSP*) (Bernabucci *et al.*, 2010).

Perdas sensíveis: processos naturais espontâneos

Os três principais mecanismos físicos de troca de calor entre o animal e o ambiente citados na literatura são: condução, convecção e radiação. Por questão didática, neste capítulo a irradiação será conceituada como a radiação emitida pelo corpo do animal.

Condução: refere-se à energia que é transferida do corpo mais quente para o mais frio por meio do contato físico. Esse processo é dependente da diferença de gradiente térmico entre os corpos e ocorre até que estes tenham a temperatura equilibrada ou que o contato físico seja interrompido. Um exemplo prático é o contato corporal de um bovino em decúbito ventral com o chão ou piso mais frio que ele.

Convecção: refere-se à energia presente na superfície corporal que é transmitida para as moléculas de gases e partículas presentes no ar, as quais se encontram em deslocamento no ambiente. Na prática, isso é popularmente chamado de ventilação, em que massas de ar (vento) passam pelo animal e recebem parte do calor contido na superfície do seu corpo.

Irradiação: refere-se à energia em forma de ondas longas – radiação infravermelha – liberada pelo corpo do animal para o ambiente. A irradiação pode ser vista e mensurada por meio de aparelhos termográficos. Do mesmo modo que os animais irradiam energia, eles também recebem calor de outros corpos que irradiam (outros animais) ou refletem a radiação (corpos inanimados) em direção ao animal.

Perdas latentes: respostas fisiológicas

Alguns parâmetros de avaliação do estresse térmico nos animais são antigos e tradicionais. O somatório das diversas pesquisas e as revisões feitas nos últimos anos permitem destacar quais são os mais usados, confiáveis e práticos. As perdas latentes são respostas fisiológicas diante do estresse térmico e serão apresentadas a seguir.

Transpiração e evaporação: as glândulas sudoríparas são estruturas exclusivas dos mamíferos e estão distribuídas em quase toda a superfície corporal deles. Essas glândulas são de origem epidérmica e têm a principal função de auxiliar na homeotermia, além de eliminar sais (cloreto de sódio, por exemplo), excessos de micronutrientes e resíduos tóxicos do organismo. Esses compostos orgânicos são secretados juntamente com fluidos à base de água, que representam a maior parcela da composição do suor. O calor contido no corpo é transferido ao suor, o qual passa da fase líquida para a gasosa e é dissipado no ambiente. O processo de secreção de suor é nomeado “transpiração”, enquanto a mudança de fase é chamada de “evaporação” e corresponde à maior perda de calor latente nos mamíferos (Baker, 2019).

Estudos relatam que o aumento da temperatura ambiente e/ou dos valores de ITU (índice de temperatura e umidade) e ITGU (índice de temperatura do globo negro e umidade) resultou na hiperativação das glândulas sudoríparas e as tornou mais superficiais na pele, o que caracteriza o pico funcional glandular (Ferreira *et al.*, 2009; Pantoja *et al.*, 2017; Brown-Brandl, 2018). A densidade de glândulas sudoríparas na pele varia de acordo com a espécie e a raça bovina. Entretanto, o tamanho, o volume e a capacidade funcional são maiores para animais *B. taurus indicus*.

A taxa evaporativa superficial da pele é dependente da temperatura e da umidade ambiental. A evaporação se inicia conforme a temperatura do ar aumenta, porém é dificultada com o aumento da umidade do ar. Logo, quanto mais seco o ambiente, mais fácil e maior será a evaporação, assim como será mais difícil e menor a evaporação superficial da pele em um ambiente úmido. Em bovinos *B. taurus taurus*, a estabilização da taxa evaporativa é frequentemente observada antes de a temperatura retal atingir 40°C, o que não parece ocorrer com *B. taurus indicus*, nos quais a taxa evaporativa aumenta sem um platô aparente. Ainda, foi observado que a taxa evaporativa em raças europeias variou de 57 g/m²/h em zona termoneutra (temperatura = 16 °C, umidade = 56%, ITU = 60) até 157 g/m²/h em zona estressante (temperatura = 36 °C, umidade = 50%, ITU = 77) (Pereira *et al.*, 2014). Maia *et al.* (2005) descreveram maior amplitude de variação da

taxa evaporativa, com máxima de 300 g/m²/h, quando a umidade relativa do ar era 30%, e mínima de 50 g/m²/h, quando a umidade se elevou para 75%.

Frequência respiratória: a contagem dos movimentos respiratórios durante o período de um minuto (mov/min) determina a frequência respiratória (FR). Esses movimentos são cíclicos e compostos por expansão das costelas e do flanco (inspiração) seguida pelo relaxamento e pela retração dessas estruturas (expiração). Em bezerros, a FR normal é 30 a 60 mov/min. Já em bovinos adultos, a FR normal é de 12 a 36 mov/min (Stöber; Terra, 1993), e, em pequenos ruminantes, de 20 a 30 mov/min. Segundo Hahn *et al.* (1997), valores de até 60 mov/min não necessariamente indicam estresse em animais adultos criados em clima tropical; de 80 a 120 mov/min são indicativos de estresse moderado; acima de 120 mov/min indicam estresse excessivo.

O quadro de ofegação é caracterizado quando a FR se torna elevada e aparente. A ofegação pode se intensificar com o aumento do estresse térmico e ser acompanhada por sialorreia, respiração com a boca aberta, protrusão da língua e estiramento do pescoço. O aumento da temperatura ambiente e o dos índices de temperatura exercem efeito linear positivo sobre a FR e foram descritos tanto em animais adultos quanto em bezerros recém-nascidos (Dado-Senn, 2020). A frequência respiratória é o primeiro sintoma visível do estresse por calor, e seu aumento ocorre antes do aumento da temperatura retal. Segundo Dalcin *et al.* (2016), a FR é o melhor parâmetro para avaliar o estresse térmico em bovinos.

As espécies e os grupos genéticos de bovinos diferem-se na intensidade de resposta quanto à frequência respiratória. Normalmente bovinos *B. taurus taurus* apresentam maior FR quando comparados a *B. taurus indicus*, ambos no mesmo ambiente. Essa diferença na FR ocorre porque essas raças indianas passaram por processo de adaptação evolutiva para ambientes quentes ao longo dos séculos. Tal fato também é verdadeiro para a proporção de genótipo europeu e indiano em raças provenientes de cruzamentos *B. taurus taurus* x *B. taurus indicus*. Esse comportamento foi evidenciado no estudo de Azevedo *et al.* (2005), em que animais 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês x Zebu mantidos em ambiente com o mesmo ITU (85) tiveram frequências respiratórias de 86, 97 e 104 mov/min, respectivamente.

Temperatura retal: a temperatura retal (TR) é o valor da temperatura medida por um termômetro introduzido no reto do animal. A TR é a metodologia mais adequada

e usada para medir a temperatura corporal devido à praticidade, ao baixo custo e à aceitável acurácia (Lees, 2018).

Em média, em relação à temperatura corporal de bovinos em zona termoneutra (temperatura ambiente entre -10 e 25 °C para *B. taurus taurus* e entre 0 e 35 °C para *B. taurus indicus*), essa variação está entre 38,1 e 39,3 °C (Baeta *et al.*, 1997; Tripon *et al.*, 2013; Dalcin *et al.*, 2016). É importante lembrar que esses valores se referem ao intervalo de temperatura crítica em que o animal permanece em conforto térmico. Portanto, dentro dessas faixas, os valores oscilam de acordo com o genótipo e o fenótipo de cada animal.

Frequência cardíaca e vasodilatação: a frequência cardíaca (FC) pode ser medida por meio de um estetoscópio, pelo qual se conta o número de batimentos cardíacos por minuto. Os valores normais para FC (batimentos por minuto – bat/min) é de 60 a 80 em bovinos, 95 a 120 em caprinos e 90 a 115 em ovinos. Em experimentos realizados no centro-oeste e no sudeste do Brasil, animais das raças Nelore, Indubrasil e Gir manejados em pasto tiveram a FC pouco acima do limite máximo (64,11, 65,51 e 66,82 bat/min). Já os animais da raça Holandês manejados em galpão do tipo *tail stall* tiveram FC de até 78,4 bat/min (Cardoso *et al.*, 2005; Dalcin *et al.*, 2016). Esses resultados mostram que a FC faz parte do mecanismo de resposta fisiológica ao estresse causado pelo calor. Entretanto, é mais nítida em animais de raças europeias, e sua mensuração ainda é impraticável em fazendas comerciais.

Fisiologicamente, os batimentos cardíacos diminuem em ambientes de baixa temperatura devido à vasoconstrição superficial para manter a temperatura corporal e não afetar os órgãos internos. Em contrapartida, diante do aumento da temperatura, os batimentos cardíacos aumentam devido à vasodilatação periférica para maior dissipação de calor. Essa vasodilatação permite maior interação entre os vasos sanguíneos e o ambiente externo. O sangue é aquecido pela temperatura interna do corpo, passa pelos vasos que estão dilatados e mais próximos da superfície da pele e transfere sua energia para o ambiente externo em forma de calor latente. Swanson *et al.* (2020), em estudo com ovinos, demonstraram que todos os animais apresentaram pressão arterial e FC aumentadas quando submetidos ao estresse térmico. A frequência cardíaca é um parâmetro clinicamente eficiente para diagnosticar, de forma individualizada, o estresse térmico nos animais. Todavia, é pouco usual nos sistemas de produção devido a sua inviabilidade prática dado o grande número de animais nos rebanhos brasileiros.

Características da pele: além da presença de glândulas sudoríparas, algumas características da pele dos bovinos podem exercer influência no conforto térmico dos animais de forma a facilitar ou dificultar a dissipação de calor. A espessura de epiderme, a cor de pele, a quantidade de glândulas sudoríparas e o comprimento e a densidade dos pelos podem variar entre espécies, raças ou estações do ano.

Em geral, bovinos adaptados ao clima temperado, como Aberdeen Angus, Devon, Hereford, Limousin, Pardo-Suiço e Simental, possuem características comuns, podendo ter todas ou algumas delas. A pele densa aumenta o poder de isolamento térmico entre o meio interno e o externo no corpo do animal; a baixa produção de melanina na pele e os pelos escuros facilitam a absorção de radiação; pelos compridos e densos criam uma maior e mais estável camada de ar, que também funciona como barreira térmica. Em contrapartida, essas características se tornam um problema para dissipação de calor quando esses animais estiverem em condições de maiores temperatura e umidade.

No caso de animais adaptados ao clima tropical, como os das raças Nelore, Brahma, Gir, Tabapuã, Indubrasil e Guzerá, destacam-se: epiderme menos densa (devido à deposição de gordura corporal preferencialmente visceral), pele pigmentada e pelos claros e curtos, características evolutivas para dissipar o calor em ambientes quentes. A epiderme menos densa aumenta a transferência de calor do corpo para o ambiente; a pele pigmentada e os pelos claros refletem e evitam a absorção de radiação; os pelos curtos permitem maior exposição da superfície da pele e maior capacidade de perder calor por perdas sensíveis e evaporação superficial da pele (Cardoso *et al.*, 2015; Pantoja *et al.*, 2017).

CONSEQUÊNCIAS FISIOLÓGICAS

Quando o estresse térmico persiste por um longo período (dias ou semanas), mudanças fisiológicas e metabólicas ocorrem a fim de melhorar a eficiência termorregulativa. Essas mudanças são passíveis de prejuízos na produção, perda de peso e menor escore de condição corporal (ECC). Em situações de estresse crônico (um mês ou mais), tais alterações podem ocasionar doenças metabólicas graves, como esteatose hepática, acidose, problemas de subfertilidade, imunossupressão, desidratação e desnutrição (Slimen *et al.*, 2015).

Imunidade

O estresse térmico leva à imunossupressão por meio da estimulação dos eixos hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) e simpático-adrenal-medular (SAM). Há grande liberação de glicocorticoides e supressão de mediadores inflamatórios, como citocinas e quimiocinas (Bagath *et al.*, 2019). Além disso, interfere na transcrição gênica e nos processos de desenvolvimento celular.

O comprometimento da imunidade pode propiciar uma série de doenças, não somente em curto, mas também em médio e longo prazo. A maior vulnerabilidade a doenças infecciosas converge para propensão a doenças sistêmicas referentes aos tratos respiratório (pneumonias), reprodutivo (retenção de placenta e metrite), digestivo (acidose ruminal, endoparasitas), aos sistemas locomotor (laminites), tegumentar (dermatites, papilomatose), além dos sistemas nervoso (raiva, encefalites por herpesvírus), sanguíneo (babesiose, anaplasmose) e endócrino, sobretudo na glândula mamária (mastite) (Tao e Dahl, 2013).

Colostro

A produção de colostro na glândula mamária de bovinos ocorre principalmente na última quinzena de gestação. O colostro é o primeiro alimento oferecido ao bezerro pela vaca, por meio das primeiras amamentações e é fonte de gordura e imunoglobulinas (IgG, IgM e IgA). Uma vez que a placenta impede a passagem de imunoglobulinas para o feto durante a gestação, o colostro representa a primeira e principal fonte de imunidade para neonatos, além de fornecer energia para funções basais e termólise. As imunoglobulinas presentes no colostro são aquelas produzidas pela vaca e liberadas na sua corrente sanguínea. As vacas em período de transição que passam por estresse térmico podem comprometer tanto a sua própria imunidade quanto a do seu bezerro, o que é ocasionado pela baixa qualidade do colostro e ineficiente transferência de imunidade passiva. Isso foi evidenciado nos estudos de Tao e Dahl (2013) e Dado-Senn (2020), em que os bezerros de vacas leiteiras que passaram por estresse térmico no período seco tiveram menor concentração de IgG sérico (após colostragem), menor desenvolvimento do trato intestinal, menor função de células imunológicas e maior suscetibilidade a doenças.

Comportamento

As mudanças comportamentais, como taquipneia, sudorese, hipertermia, redução do consumo e aumento do ócio em pé, expressam o desconforto dos animais e são as

primeiras respostas adaptativas de bovinos para dissipar a carga de calor (Shilja *et al.*, 2016). Pode-se observar ainda vocalização angustiante e desconforto posicional, competitividade e agressividade (Polsky, 2017). Esses são os primeiros e mais visíveis indicadores de estresse térmico, seguidos da queda de desempenho produtivo (para tal, é necessária a adequada coleta de dados e monitoramento dos índices zootécnicos na fazenda).

Infelizmente, a observação, apenas, das mudanças comportamentais pode ser um diagnóstico tardio. Muitas vezes, as alterações metabólicas, celulares e até genéticas já se fazem presentes, principalmente em sistemas de criação em pasto e com animais de corte, onde a observação próxima e individual dos animais é rara e até mesmo inviável. Na criação de animais leiteiros em pasto, os períodos de ordenha e a observação de cio permitem maior interação com os animais, melhor observação do comportamento e do desempenho. Embora esse fato torne o diagnóstico mais eficiente, deve-se considerar que esses animais passam a maior parte do dia distantes, e muitas vezes as expressões dos sinais não são vistas.

Na tentativa de reduzir os efeitos causados pela incidência direta da radiação solar, os animais buscam a sombra em ambientes protegidos, como debaixo de árvores, arbustos, sombrites ou outro tipo de cobertura. Curtis *et al.* (2017) mostraram o nítido aumento da frequência de procura por sombras em resposta ao aumento da temperatura e à incidência de radiação solar em vacas leiteiras criadas em pasto. Como a sombra propicia um ambiente de melhor conforto térmico, o animal sob estresse evita sair da área sombreada e aumenta significativamente seu tempo ocioso.

O ócio é uma estratégia de reduzir a produção de energia corporal, pois a simples movimentação contribui para o aumento do calor endógeno. Estudos apontam que, no tempo ocioso, tanto bovinos adultos quanto bezerros gastam menos tempo deitados e mais tempo em pé (Silanikove, 2000; Darcan *et al.*, 2008; Provolo e Riva, 2009; Tripon *et al.*, 2013). Geralmente os bovinos se comportam dessa forma com o intuito de redirecionar seus corpos em posições diferentes para evitar a intensa e constante radiação proveniente do sol e do chão. Além disso, nessa posição é possível maior dissipação de calor por irradiação e convecção (Sejian *et al.*, 2017).

A redução do consumo é marcante no estresse térmico. Estudos recentes demonstraram que a temperatura ambiental elevada reduziu a ingestão de matéria seca em bezerros (Dahl *et al.*, 2019; Dado-seen *et al.*, 2020), bovinos de corte (Brown-Brandl *et al.*, 2018), bovinos de leite (Collier *et al.*, 2017; Fan *et al.*, 2019), ovinos (De *et al.*,

2017), caprinos (Shilja *et al.*, 2016), suínos (Cervantes *et al.*, 2018) e aves (Bahry *et al.*, 2018). A queda no consumo voluntário dos bovinos foi percebida por meio de monitoramento do consumo de matéria seca (individual ou por lote), aumento de sobras no cocho e menores períodos de pastejo e ruminação (Valente *et al.*, 2015; Curtis *et al.*, 2017). Ferrazza *et al.* (2017) estimaram que vacas expostas a ITUs maiores que 75 apresentavam consistentemente menor consumo de matéria seca após o terceiro dia.

Simultaneamente à ativação dos mecanismos de perda de calor e de queda do consumo, a frequência de visitas ao bebedouro e a ingestão de água aumentaram em várias espécies domésticas nos meses mais quentes do ano (Valente *et al.*, 2015; Shilja *et al.*, 2016). A maior frequência de visitas aos bebedouros e o consumo de água podem ser explicados pela constante perda hídrica nos processos de dissipação de calor. Contudo, o consumo de água pode ser evitado quando bebedouros estão distantes, pois isso acarreta maior esforço para deslocamento.

Estudos com vacas secas demonstraram que o estresse térmico causa lesões mamárias (Tao *et al.*, 2011; Tao e Dahl, 2013). Embora a taxa de apoptose das células da glândula mamária tenha sido semelhante entre animais com e sem estresse térmico, os autores observaram que, nas vacas estressadas, a proliferação celular foi menor. Isso remete ao desenvolvimento inadequado da glândula mamária e a prejuízos produtivos na lactação subsequente.

Até mesmo fetos que sofreram estresse térmico no terço final de gestação podem ter o desenvolvimento da glândula mamária afetado e com risco de perdurar até a segunda lactação. O menor desempenho produtivo desses animais foi descrito por Skibieli *et al.* (2018) e associado a alterações morfológicas caracterizadas predominantemente por menor número de alvéolos e maior quantidade de tecido conectivo na glândula mamária.

Animais de raças adaptadas ao clima tropical se mostram mais resistentes ao estresse causado pela incidência solar. Por isso, demonstram mudanças comportamentais de maneira atenuada, o que resulta em maiores conforto, tempo de pastejo e ruminação diária (Sejian *et al.*, 2018).

As alterações comportamentais e fisiológicas ocasionadas pelo estresse térmico crônico convergem para o declínio na *performance* dos bovinos, prejudicando majoritariamente os índices produtivos e reprodutivos. Esses índices se comportam como interface entre a saúde dos animais e seu retorno financeiro. A saúde e o conforto do rebanho são diretamente relacionados com a produção e a reprodução, que, por sua vez,

estão diretamente relacionadas aos índices financeiros e à viabilidade econômica do sistema.

CONSEQUÊNCIAS PRODUTIVAS

Em situações em que há excesso de calor corporal, o animal aumenta o metabolismo basal e o requerimento energético por meio dos mecanismos fisiológicos de termorregulação. O requerimento por energia para manutenção pode aumentar em até 25% (NRC, 2001) em caso de estresse crítico. À medida que a energia de manutenção aumenta, menos energia é destinada à produção e à reprodução. Este é o principal mecanismo relacionado ao baixo rendimento dos animais acometidos pelo estresse térmico.

Além do menor aporte nutricional para a produção, a inibição da síntese de proteínas e o catabolismo proteico aumentado reduzem progressivamente o ganho de massa muscular. Especialmente em gado de corte, cuja finalidade é produzir carne, as perdas produtivas podem ser observadas no ganho de peso médio diário (GMD) indesejável, na maior duração da estação de monta, na taxa de prenhez reduzida, nos menores pesos ao nascimento, na desmama e no abate, na baixa conversão alimentar, no crescimento lento e limitado, entre outros.

O balanço energético negativo (BEN) e a mobilização de gordura corporal durante o estresse térmico potencializam os prejuízos no crescimento e no ganho de peso dos animais. Baumgard *et al.* (2013) citam que vacas da raça Holandês com balanço energético negativo submetidas ao estresse térmico tiveram restrição de 30 a 40% na ingestão de nutrientes e perdas de 40 kg de peso corporal comparadas com aquelas que não foram submetidas ao estresse térmico.

A qualidade da carcaça pode ser afetada de diferentes maneiras. Os músculos podem continuar sofrendo efeitos do estresse térmico mesmo após o abate do animal. Em animais em terminação sob estresse térmico, o organismo passa por um processo de desidratação e quebra do glicogênio muscular, de forma a aumentar a glicogênese e causar produção de ácido láctico nos músculos. A glicogênese favorece a maior deposição de gordura visceral ao invés da deposição subcutânea, e o ácido láctico favorece um pH mais ácido na musculatura. Quando a gordura subcutânea é pouca e a carcaça não tem adequado acabamento de gordura (menos de 3 mm de espessura), a carne fica mais exposta ao frio durante sua maturação no frigorífico e suas fibras são encurtadas. Esse processo é denominado *cold shortening* e é responsável por aumentar a dureza da carne. Além disso, o estresse térmico agudo no pré-abate esgota as reservas de glicogênio

muscular e leva à baixa produção de ácido lático na glicólise anaeróbia. Logo, o pH não decresce adequadamente, o que causa o escurecimento e o enrijecimento da carne, características também indesejáveis para a comercialização (Jorquera-Chavez *et al.*, 2019).

Quando se trata de gado leiteiro, o primeiro e principal prejuízo produtivo a se pensar é a diminuição da produção de leite. Um dos motivos que enfatiza tal prejuízo é a rápida perda financeira percebida pelos produtores. Embora a diminuição imediata da produção seja visível e chamativa, não se devem negligenciar as demais consequências do estresse térmico, como o menor crescimento dos bezerros, a menor fertilidade do rebanho, a maior incidência de doenças e de gastos com medicamentos.

A mastite, as doenças clínicas, a dieta desbalanceada ou o pasto inadequado são problemas reais e atribuídos rotineiramente pelos produtores como causas da queda de produção em fazendas leiteiras. Porém, é incomum ouvir sobre as perdas na produção de leite devido ao estresse térmico. Essa consideração torna-se ainda mais relevante em sistemas de pastejo em que os animais ficam expostos ao ambiente quente e à radiação.

O estresse térmico durante a gestação provoca alterações no desenvolvimento e na fisiologia da placenta. Tao *et al.* (2013) relatam menor nível de hormônios estimuladores da placenta e menor quantidade e concentração de DNA, RNA e proteínas presentes nela. Isso foi relacionado com o menor número de células e peso de placenta, menor vascularização e fluxo sanguíneo. Como consequência, o feto tem o aporte reduzido de nutrientes, hormônios e oxigenação. Ouellet *et al.* (2020), em trabalho com vacas em estresse térmico no pré-parto, constataram redução da concentração de sulfato de estrona na circulação materna. O sulfato de estrona é um hormônio estrogênico conjugado proveniente dos tecidos fetais e da placenta. Essa redução foi relacionada com prejuízos na função placentária e com desenvolvimento fetal prejudicado. Somado à possível temperatura fetal maior que a temperatura corporal da mãe (pois a taxa metabólica do feto é duas vezes maior), o útero se torna um ambiente inadequado por acúmulo de calor e os efeitos serão percebidos após o parto.

O adiantamento do parto é uma consequência comum em fêmeas sob estresse calórico no final da gestação. Com isso, tecidos fetais podem não ter seu completo desenvolvimento até o parto, como os órgãos linfóides e o trato gastrointestinal. A glândula mamária fetal subdesenvolvida é diretamente relacionada ao baixo rendimento das lactações futuras (Tao *et al.*, 2013; Skibieli *et al.*, 2018). Essas alterações no ambiente

uterino e no período gestacional podem explicar a *performance* ruim de bezerras e novilhas com boa linhagem genética e com potencial produtivo.

Monteiro *et al.* (2016) avaliaram a sobrevivência, o crescimento, a fertilidade e a produção de leite de vacas que foram resfriadas ou não (condição de estresse térmico) durante as últimas seis semanas de gestação. Como esperado, as bezerras filhas de vacas estressadas pelo calor tiveram menores pesos ao nascimento (39,1 kg *vs.* 44,8 kg) e ao primeiro ano de idade (305,8 kg *vs.* 299,1 kg). A proporção de novilhas que chegaram mais cedo à primeira lactação bem como a produção de leite foi maior para as filhas de vacas resfriadas (85,4% *vs.* 65,9% e 31,9 kg/dia *vs.* 26,8 kg/dia, respectivamente).

CONSEQUÊNCIAS REPRODUTIVAS

Para a maioria das regiões do Brasil, quase todos os dias de verão são quentes o bastante para comprometer a reprodução (Vasconcelos e Demetrio, 2011). Os oócitos podem ser afetados pelo estresse térmico a partir do momento em que a temperatura corporal da fêmea pós-púbere se eleva. Estima-se que o aumento de 0,5 °C acima da temperatura uterina fisiológica é suficiente para iniciar o declínio da fertilidade (Gwazdauskas *et al.*, 1973).

O excesso de calor na fêmea púbere pode afetar seu ciclo estral desde a foliculogênese até o estágio pré-ovulatório. A ovulação ocorre quando há alta concentração de estrógeno liberado pelo folículo pré-ovulatório e picos do hormônio luteinizante (LH). Logo, a interferência no eixo hipotálamo-pituitária-gonadal (HPG) e os baixos níveis do LH e do hormônio folículo estimulante (FSH) comprometem o desenvolvimento dos folículos e a produção de estrógeno (Rocha *et al.*, 2012). As alterações na circulação hormonal de FSH e estrógenos, como o 17 β -estradiol, desfavorecem o ambiente da tuba uterina ou do útero para a formação, a implantação e o crescimento embrionário (Sakatani *et al.*, 2012; Hansen, 2019). A ovulação de um folículo de baixa qualidade compromete a formação de um corpo lúteo adequado, bem como sua produção de progesterona e a manutenção da gestação, o que pode aumentar a taxa de absorção embrionária.

A queda da fertilidade encontrada nos rebanhos nos meses mais quentes do ano se deve, em grande parte, à baixa competência dos oócitos (Rocha *et al.*, 2012). O estresse térmico crônico acarreta menor diâmetro do folículo dominante e alterações bioquímicas no microambiente folicular caracterizado por menor presença de ácidos graxos, colesterol

e estrógenos (Shehab-El-Deen *et al.*, 2010). Baixos níveis de FSH e LH afetam a seleção de um folículo dominante e a produção de inibina, hormônio liberado por este folículo, que gera atresia de todos os outros para que este se desenvolva até o estágio de pré-ovulação. Sem uma dominância folicular efetiva, o ovário comporta maior quantidade de folículos grandes, o que leva ao maior tempo de dominância do folículo pré-ovulatório e ao seu envelhecimento. Essas alterações hormonais e foliculares aclaram a probabilidade de a ovulação falhar, mesmo com a aplicação de fármacos análogos do hormônio liberador de gonadotropinas (GnRH) (Hanses, 2019).

Como resultado do comprometimento folicular, há baixa liberação e concentração de estrógenos no sangue. Isso pode acarretar maior ocorrência de cio silenciosos ou discretos e redução da taxa de detecção de cio (Rocha *et al.*, 2012). A coloração mais forte da mucosa vaginal, o corrimento de muco vaginal translúcido pela vulva e a expressão da receptibilidade à monta são alguns sinais característicos de cio que se atenuam em fêmeas de ruminantes conforme o aumento do estresse térmico.

As maiores taxas de prenhez são descritas em fazendas que adotam estratégias de mitigação do estresse térmico, como sombreamento e resfriamento para os animais, e não apenas estratégias reprodutivas, como protocolos de inseminação artificial ou de transferência de embrião (Carvalho *et al.*, 2018). Assim, fica evidente a importância do conforto térmico para alcançar a eficiência reprodutiva e os índices zootécnicos da propriedade.

ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO DE RUMINANTES SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO

Como visto, o estresse térmico afeta negativamente a fisiologia, o comportamento e a *performance* dos animais. Essas alterações são marcadas pela expressão dos mecanismos de dissipação de calor, da queda do consumo, do menor crescimento e dos prejuízos na produção e reprodução. Isso é convertido em prejuízos zootécnicos (depreciação do potencial genético dos animais) e financeiros. Por isso, é fundamental que fazendas de criação de ruminantes, especialmente as que são baseadas no pastejo, adotem estratégias para reduzir o estresse térmico experimentado pelos animais e melhorar a eficiência do sistema.

Atualmente, são descritas três estratégias principais para reduzir o estresse térmico experimentado pelos animais:

1. Modificação física do ambiente;
2. Adoção de práticas de manejo;
3. Desenvolvimento genético de animais tolerantes.

Essas estratégias podem ser adotadas em qualquer tipo de sistema de criação de ruminantes. Independentemente do poder de investimento, esses sistemas podem reduzir os prejuízos comuns em regiões de clima tropical de acordo com suas limitações e facilidades.

Modificação física do ambiente

A modificação do ambiente objetiva reduzir a incidência de calor exógeno sobre o animal, por meio do fornecimento de sombra, ventilação e pulverização. Existem diversas construções e equipamentos que atendem ao objetivo, em níveis diferentes de custo e eficiência. A fim de expor a viabilidade dessa estratégia em fazendas leiteiras de diferentes regiões dos EUA, Gunn *et al.* (2019) avaliaram o custo-benefício da implantação de quatro níveis de investimento (baixo, médio, alto e intenso) em infraestrutura que minimize o estresse térmico nos animais. Cada nível de investimento possuía:

- baixo: sombreamento no piquete ou galpão coberto com laterais abertas (ventilação natural e bloqueio dos raios solares) e bebedouros com água fresca;
- médio: sistema de ventiladores em galpão coberto com laterais abertas ou exaustores em galpão fechado (ventilação forçada) e bebedouros com água fresca;
- alto: semelhante ao médio investimento, com adição de aspersores de água (pulverização);
- intenso: galpão fechado com ar-condicionado ou sistema de resfriamento evaporativo de alta pressão.

O custo-benefício foi calculado considerando-se a inflação, a depreciação e demais custos ligados ao investimento. Em todas as regiões avaliadas, os quatro níveis resultaram em redução do ITU experimentado pelos animais, com significativo alívio ao estresse térmico e menores perdas produtivas. Os níveis de investimento baixo, médio e alto tiveram a produção de leite anual aumentada em 3, 8 e 21%, respectivamente. Fazendas que adotaram o baixo investimento aumentaram a produção de leite em até 5 kg/vaca/dia, equivalente a 1.500 kg/vaca/ano. Aquelas fazendas que adotaram os maiores níveis de investimento alcançaram melhor custo-benefício e maior retorno financeiro. Por exemplo, a adoção do alto investimento permitiu um lucro de até \$190,00 por vaca; já a

adoção do investimento intenso gerou lucros entre \$20,00 e \$590,00 por vaca, sem indício de prejuízo. Os autores concluíram que o custo-benefício geralmente aumenta conforme maior for o nível de investimento.

Ruminantes em lactação naturalmente possuem maior produção de calor endógeno, e o deslocamento de ida e volta à sala de ordenha é um agravante. Sabe-se que a ocitocina, hormônio que contrai a musculatura da glândula mamária e promove secreção do leite, é inibida pelo cortisol em situação estressante ocorrida antes da ordenha. Portanto, vacas em estresse térmico pré-ordenha podem ter a liberação de leite inibida. A aclimatização na sala de ordenha pode ser uma boa tática para reduzir o estresse e proporcionar a secreção de leite pelos animais. Segundo Almeida (2011), 30 minutos de aclimatação no curral de espera, com uso de ventiladores e nebulizadores, proporcionaram aos animais (7/8 Gir x Holandês) valores adequados de ITU, ITGU e parâmetros fisiológicos (FR, TR e temperatura de pelame), além de aumentar a produção de leite em 4,4%. Baseados nos parâmetros fisiológicos e comportamentais, Schültz *et al.* (2011) demonstraram que vacas leiteiras preferiram se acomodar sob a sombra a se acomodar sob sistema de pulverização (sem sombra) após caminharem de 0,3 a 2 km até a sala de ordenha, no período da tarde. Isso mostra que, embora a pulverização seja uma ferramenta para melhorar o conforto térmico, o fornecimento de sombra é primário e indispensável, tanto no curral de ordenha quanto no pasto.

Em sistemas de criação de ruminantes em pasto para produção de carne, o sombreamento é uma das poucas ferramentas eficientes usadas para mitigar o estresse por calor. A sombra pode reduzir até 30% da carga de calor radiante (Ulvshammar, 2014). Em experimento com ovinos, Caroprese *et al.* (2012) demonstraram que houve menor mobilização de gordura, menor índice de ácidos graxos não esterificados (NEFA) circulantes e melhor condição de escore corporal, em comparação com os animais alocados em piquetes sem sombra.

O sombreamento pode ser natural ou artificial. Karvatte *et al.* (2016) avaliaram o efeito do sombreamento natural no microclima de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Os sistemas de pastejo eram formados por pasto de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã e árvores de espécies nativas ou eucaliptos plantados em diferentes densidades. Os sistemas de ILPF geraram melhor microclima aos animais, pois reduziram o ITU em 3,7%, o ITGU em 10,2% e a carga térmica radiante (CTR) em 28,3%. Independentemente do tipo de sistemas utilizado, aqueles que tiveram disposição espacial arbórea menos densa propiciaram

melhor microclima, por permitirem maior circulação do vento, menor temperatura do ar, menor umidade e menor ITGU.

O tipo de estrutura e material usado para fazer o sombreamento, bem como o tempo e os recursos gastos, varia de acordo com a disponibilidade de capital, de mão de obra e a necessidade. Nos trópicos, o planejamento de um sombreamento eficaz e resistente, embora dispendioso, é uma opção inteligente para mitigar o estresse térmico sofrido pelos animais a pasto. Já em regiões subtropicais, ondas de calor podem surgir rapidamente, e um sombreamento feito de forma rápida e simples pode fazer a diferença para proteger os animais e evitar grandes prejuízos.

Kamal *et al.* (2016a, 2016b, 2018) avaliaram diferentes tipos de materiais para sombreamento (árvores, sombrite, amianto+lona e palha) de bezerros de corte. Os autores perceberam que os animais tiveram maiores tempos de consumo, descanso e ruminação debaixo de sombrite, seguido pelas árvores, pela palha e pelo amianto+lona. Ainda, passaram mais tempo próximos ao bebedouro e em pé, debaixo do ambiente com amianto+lona, seguido pela cobertura de palha, árvores e sombrite. Esses resultados evidenciam que o sombrite proporciona melhor conforto para os bezerros e reflete na mitigação dos efeitos negativos causados pelo estresse térmico, seguido por arborização, cobertura de palha e, por último, amianto+lona.

Adoção de práticas de manejo

Algumas práticas de manejo podem ser aplicadas de forma estratégica para reduzir a produção de calor endógeno, melhorar a conversão alimentar e a imunidade. No experimento de Caroprese *et al.* (2012) exposto anteriormente, os ovinos foram alimentados com feno e concentrado peletizado e foram divididos em dois grupos, com ou sem adição de sementes de linhaça na dieta (21% em substituição do concentrado). O grupo que se alimentou de sementes de linhaça apresentou menor FR e TR e maior índice sérico de imunoglobulina G. Segundo os autores, a dieta contendo sementes de linhaça, rica em ômega-3, melhorou a imunidade e a termorregulação dos animais. Outra linha de pesquisa que visa à melhoria da imunidade de ruminantes em estresse térmico é o uso de GABA (ácido gama-aminobutírico). Cheng *et al.* (2016) experimentaram o uso de GABA protegido da degradação ruminal nas doses de 40, 80 e 120 mg/kg MS na dieta de vacas em lactação. As respostas para TR e concentração sérica de interleucinas (IL-2, IL-4 e IL-6) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) diminuiram linearmente, enquanto a concentração sérica de imunoglobulina A (IgA), de imunoglobulina G (IgG), de linfócitos

T e a capacidade antioxidante aumentaram linearmente com o aumento da dose de GABA na dieta. Essa observação indica que o fornecimento de GABA protegido na dieta melhora a função imunológica e a atividade antioxidante.

O rebalanceamento de dietas durante períodos de elevadas temperaturas e umidade, como no verão tropical, pode ser usado a favor da redução do estresse por calor. Segundo Rhoads *et al.* (2013), uma boa parte da perda produtiva, cerca de 35 a 50%, em ruminantes sob estresse térmico, pode ser recuperada com o manejo nutricional. Em revisão feita por Conte *et al.* (2018), mostrou-se que alguns artifícios podem ser usados em ruminantes leiteiros para mitigar o estresse térmico. Entre esses artifícios, o principal é reduzir cuidadosamente a proporção de volumoso na dieta e aumentar a de concentrado, respeitando-se os limites mínimos de FDN (fibra insolúvel em detergente neutro - 28%), FDA (fibra insolúvel em detergente ácido - 18%) e FDNfe (fibra fisicamente efetiva - 20%). Esse adensamento energético visa reduzir a produção de calor endógeno e aumentar o consumo de energia pelo animal, de forma a compensar a queda do consumo e o aumento das exigências de manutenção.

A suplementação com gordura segue o princípio de que lipídios são fontes mais ricas em energia e sua digestão produz menos calor que os carboidratos. Porém, a indicação do uso em animais em estresse calórico é divergente na literatura. Conte *et al.* (2018) indicaram a suplementação de gordura em casos extremos, em que é necessário adensar ainda mais a energia da dieta e reduzir a produção de calor endógeno, por meio do uso de gordura protegida, respeitando-se os limites de inclusão para não exercer danos à microbiota ruminal. O uso de aditivos como prática complementar pode ocorrer por meio da suplementação de vitaminas e minerais antioxidantes (Vit. A, C e E; selênio), leveduras, bicarbonato e probióticos. As substâncias antioxidantes e a associação de levedura e selênio têm função de reduzir o estresse oxidativo. Ferraretto *et al.* (2012) relataram aumento na digestibilidade dos nutrientes, na capacidade de tamponamento ruminal e na eficiência alimentar de vacas leiteiras suplementadas com células vivas de levedura. A suplementação com bicarbonato é indicada em casos de acidose compensatória à alcalose respiratória, pois serve como substância tampão para o rúmen e ajuda no equilíbrio ácido-básico do sangue. Por fim, os probióticos auxiliam na resposta inflamatória, bem como na integridade e eficiência da barreira intestinal, prevenindo a presença de lipopolissacarídeos (LPS) na corrente sanguínea.

Desenvolvimento genético de animais tolerantes

Um dos princípios para melhorar o bem-estar e a produtividade dos rebanhos criados nos trópicos é a identificação de animais tolerantes ao estresse térmico e, num passo adiante, propagar suas características adaptativas para os demais (animais mais resistentes). Isso pode ser feito por meio da seleção e de acasalamentos de reprodutores tolerantes e da manipulação genética. Essa manipulação tem ganhado importância nos últimos anos pelo potencial de discriminação e replicação de genes ligados à tolerância ao estresse térmico.

Garner *et al.* (2016), em estudo feito com vacas Holandês alocadas em câmaras climáticas, segregaram os animais quanto à susceptibilidade ou à tolerância ao estresse térmico a partir de previsões feitas por meio da avaliação genômica de cada um deles. Os autores perceberam que os animais mais tolerantes ao estresse térmico tiveram maior eficiência em dissipar calor, mantiveram os outros parâmetros fisiológicos mais próximos da normalidade e produziram mais leite. Ainda foi identificado que estes animais apresentaram maior vasodilatação e capacidade de irradiação, menor FR e maior consumo. Essas características adaptativas podem ser atribuídas à presença de genes ou à diferenciada expressão deles no DNA de animais mais tolerantes.

Hamblen *et al.* (2018) avaliaram a relação entre o tipo de pelagem, o peso corporal e o temperamento de novilhas da raça Brangus criadas a pasto. Em 1 hora após o aumento do ITU, todos os animais apresentaram resposta, com aumento da temperatura vaginal. Os animais mais calmos apresentaram menores valores de temperatura vaginal e menor taxa de transpiração que os demais. Foi significativamente correlacionada a menor elevação da temperatura corporal para os animais de maior peso, mais calmos e de pelagem curta e lisa. O maior peso corporal está associado ao menor estresse desses animais, que possuíram melhor conversão alimentar. Portanto, selecionar ruminantes de corte para características de temperamento, pelagem e conversão alimentar é uma estratégia para obter um rebanho mais adaptado às condições tropicais.

Logo, é perceptível que os animais mais tolerantes ao estresse térmico possuem características fenotípicas semelhantes que os diferem de animais mais sensíveis. Essas características são originárias da expressão de genes específicos ligados à tolerância térmica presente no DNA dos animais mais tolerantes. Assim, uma proposta de melhoramento genético para obtenção de animais mais tolerantes nos rebanhos nacionais se baseia em isolar esses genes e inserir no DNA de animais sensíveis, por meio de

técnicas inovadoras utilizadas pela engenharia genética. O haplótipo *slick*, (significa “liso”, traduzido para o português) foi reconhecido originalmente na raça Senepol como um gene dominante, que confere pelagem lisa e curta e está associado à maior tolerância a ambientes quentes. Atualmente, esse gene já foi introduzido em animais da raça Holandês com resultados promissores. Dikmen *et al.* (2014) compararam um grupo de vacas Holandês que apresentava fenótipo *slick* com outro grupo que não apresentava e constataram que vacas *slick* tiveram menor temperatura vaginal, menores TR e FR e maior taxa de transpiração nos dias de verão. Também foi comparada a *performance* das vacas paridas no inverno com a das paridas no verão. Os autores observaram que as vacas paridas no verão tiveram menor produção nos 90 primeiros dias de lactação e, entre elas, as que possuíam fenótipo *slick* tiveram a produção superior. A conclusão do estudo foi que o gene *slick* conferiu superior habilidade de termorregulação e menor queda na produção de vacas Holandês durante o verão.

As descobertas acerca do importante papel que as HSPs (proteínas de choque térmico) desempenham na regulação das respostas fisiológicas perante situações de estresse térmico representam uma gama de oportunidades para estudos e desenvolvimento de tecnologias focadas na maior tolerância dos animais e, conseqüentemente, no maior retorno produtivo e financeiro nos sistemas de criação de ruminantes. Entre esses estudos, a associação entre os genes envolvidos na expressão das HSPs e a capacidade adaptativa das espécies domésticas mostra-se correlacionada com a produtividade individual e coletiva dos animais. Muitos estudos têm demonstrado que HSP90 e HSP70 têm grande associação com as atividades de proteção celular e desempenho produtivo, como o peso de desmame e a taxa de prenhez (Banks *et al.*, 2007; Starkey *et al.*, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse térmico causado pelo calor é um problema comum em regiões de clima tropical, onde fatores ambientais interferem na homeostase do organismo animal. Seus efeitos deletérios à saúde, ao bem-estar e à *performance* variam de acordo com a intensidade e o período de exposição, com o fenótipo do animal, o nível de produção e o estágio fisiológico. Os prejuízos podem ser pouco perceptíveis em curto prazo, mas seu resultado acumulativo assume importância conforme aumenta o período avaliado e o número de animais afetados.

As estratégias de mitigação do estresse térmico podem ser adotadas em qualquer sistema de produção. Fornecer infraestrutura de sombreamento e aclimatação demonstrou

ser uma prática eficaz e imprescindível nos sistemas de produção de ruminantes em clima tropical. Todas as práticas de condicionamento térmico foram positivamente relacionadas com o maior conforto e a produção dos animais. O custo-benefício dessas práticas tende a ser proporcional ao nível de investimento.

As estratégias de manejo nutricional, assim como a aquisição de animais transgênicos, podem ser usadas como práticas complementares à estratégia de aclimatização.

As estratégias de mitigação do estresse térmico permitem a produção sustentável de ruminantes em clima tropical e minimizam os prejuízos produtivos e financeiros em longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A. E.; Olea-Popelka, F. J.; Roman-Muniz, I. N. 2013. Using temperature-sensing reticular boluses to aid in the detection of production diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 96 n. 3. p. 1549–1555. doi: 10.3168/jds.2012-5822.
- Alamer, M. 2011. The role of prolactin in thermoregulation and water balance during heat stress in domestic ruminants. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 6, p. 1153–69.
- Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Henrique, H. M.; Almeida, G. A. P. 2011. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça Girolando. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 7, p. 754–760.
- Andrade, M. E. R.; Araujo, R. S.; Barros, P. A. V.; de Soares, A. D. N.; Abrantes, F. A.; Generoso, S. V.; Fernandes, S. O. A.; Cardoso, V. N. 2015. The role of immunomodulators on intestinal barrier homeostasis in experimental models. *Clinical Nutrition*, v. 34, p. 1080–1087.
- Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of dairy science*, v. 77, n. 7, p. 2044-2050. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(94)77149-6.
- Arumugam, R.; Horowitz, E.; Noland, R. C.; Lu, D.; Fleenor, D.; Freemark, M. 2010. Regulation of islet b-cell pyruvatemetabolism: interactions of prolactin, glucose, and dexamethasone. *Endocrinology*. v. 149, p. 5401–14 139.
- Auclair-Ronzaud, J.; Benoist, S.; Dubois, C.; 2019. Frejaville, M.; Jousset, T.; Jaffrézic, F.; Wimmel, L.; Chavatte-Palmer, P. No-contact microchip monitoring of body temperature in yearling horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. doi: 10.1016/j.jevs.2019.102892.
- Azevedo, M. D.; Pires, M. D. F.A.; Saturnino, H. M.; Lana, A. M. Q.; Sampaio, I. B. M.; Monteiro, J. B. N.; Morato, L. E. 2005. 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, n. 6, p. 2000-2008. doi: 10.1590/S1516-35982005000600025.
- Baêta F. C.; Souza C. F. 1997. *Ambiência em edificações rurais: conforto térmico animal*. Viçosa: UFV. 246p.
- Baeta, F.C. 1985. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. 218 f. Thesis (Ph.D.). University of Missouri, Columbia, 1985.
- Bagath, M.; Krishnan, G.; Devaraj, C.; Rashamol, V. P.; Pragna, P.; Lees, A. M.; Sejian, V. 2019. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*. doi: 10.1016/j.rvsc.2019.08.011.
- Bahry, M. A.; Yang, H.; Tran, P. V.; Do, P. H.; Han, G.; Eltahan, H. M.; Chowdhury V. S.; Furuse, M. 2018. Reduction in voluntary food intake, but not fasting, stimulates hypothalamic gonadotropin-inhibitory hormone precursor mRNA expression in chicks under heat stress. *Neuropeptides*. doi: 10.1016/j.npep.2018.09.001.
- Baker, L. B. 2019. Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. *Temperature*. doi: 10.1080/23328940.2019.1632145.
- Banks A, Looper ML, Reiter S, Starkey L, Flores R, Hallford D and Rosenkrans C Jr 2007. Identification of single nucleotide polymorphisms within the promoter region of the bovine heat shock protein 70 gene and associations with pregnancy. *Proceeding of American Society of Animal Science*. Southern Section Meeting 85 (suppl. 2), 10.
- Baumgard, L. H. e Rhoads, R. P. 2013. Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 1, n. 1, p. 311–337. doi: 10.1146/annurev-animal-031412-103644.
- Berman, A.; Horovitz, T.; Kaim, M.; Gacitua, H. 2016. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 10, p. 1453-1462. 2016. doi: 10.1007/s00484-016-1136-9.

- Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L. H.; Rhoads, R. P.; Ronchi, B.; Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1167-1183. doi: 10.1017/s175173111000090x.
- Bewley, J. M.; Einstein, M. E.; Grott, M. W.; Schutz, M. M. 2008. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 4661-4672. doi: 10.3168/jds.2007-0835.
- Bezerra, L. R.; Ferreira, A. F.; Camboim, E. K. A.; Justiniano, S. V.; Machado, P. C. R., Gomes, B. B. 2008. Perfil hematológico de cabras clinicamente sadias criadas no Cariri paraibano. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 3, p. 955-960. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/_adm/upload/revista/32-3-2008_37.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2020. doi: 10.1590/S1413-70542008000300037.
- Bianca, W. 1962. Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*. London, v. 195, p. 251-252. doi: 10.1038/195251a0.
- Bianchini, E.; McManus, C.; Lucci, C. M.; Fernandes, M. C. B.; Prescott, E.; Mariante, A. D. S.; Egito, A. A. D. 2006. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 1443-1448.
- Bianco, A. C. 2000. Hormônios tireóideos, UCPs e termogênese. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*, v. 44, n. 4, p. 281-289. doi: 10.1590/S0004-27302000000400003.
- Brown-Brandl, T. M. 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47. doi: 10.1590/rbz4720160414.
- Cardoso, C. C.; Peripolli, V.; Amador, S. A.; Brandão, E. G.; Esteves, G. I. F.; Sousa, C. M. Z.; França M. F. M. S.; Gonçalves, F. G.; Barbosa, F. A.; Montalvão, T. C.; Martins, C. F.; Fonseca Neto, A. M.; McManus, C. 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science*, v. 182, p. 83-92. doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.022 .
- Caroprese, M.; Albenzio, M.; Bruno, A.; Annicchiarico, G.; Marino, R.; Sevi, A. 2012. Effects of shade and flaxseed supplementation on the welfare of lactating ewes under high ambient temperatures. *Small Ruminant Research*, v. 102, n.2-3, p. 177-185. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.07.010.
- Carvalho, P. D.; Santos, V. G.; Giordano, J. O.; Wiltbank, M. C.; Fricke, P. M. 2018. Development of fertility programs to achieve high 21-day pregnancy rates in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, v. 114, p.165-172.
- Cervantes, M., Antoine, D., Valle, J. A., Vásquez, N., Camacho, R. L., Bernal, H., e Morales, A. (2018). Effect of feed intake level on the body temperature of pigs exposed to heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, v. 76, p. 17.
- Cheng, J.; Zheng, N.; Sun, X.; Li, S.; Wang, J.; Zhang, Y. 2016. Feeding rumen-protected gamma-aminobutyric acid enhances the immune response and antioxidant status of heat-stressed lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, v. 60, p. 103-108. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.06.011.
- Collier, R. J.; Renquist, B. J.; Xiao, Y. 2017. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, v. 100 n. 12, p. 10367-10380. doi: 10.3168/jds.2017-13676.
- Conte, G.; Ciampolini, R.; Cassandro, M.; Lasagna, E.; Calamari, L.; Bernabucci, U.; Abeni, F. 2018. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. *Italian Journal of Animal Science*, v. 17, n. 3, p. 604-620. doi: 10.1080/1828051x.2017.1404944.
- Curtis, A. K.; Scharf, B.; Eichen, P. A.; Spiers, D. E. 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *Journal of Thermal Biology*, v. 63, p. 104-111.
- Dado-Senn, B.; Vega Acosta, L.; Torres Rivera, M.; Field, S. L.; Marrero, M. G.; Davidson, B. D.; Tao, S.; Fabris, T. F.; Ortiz-Colón, G.; Dahl G.E.; Laporta, J. 2020. Pre- and postnatal heat stress abatement affects dairy calf thermoregulation and performance. *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/jds.2019-17926.

- Dahl, G. E., Skibieli, A. L., e Laporta, J. 2019. In Utero Heat Stress Programs Reduced Performance and Health in Calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 35 n. 2, p. 343–353. doi: 10.1016/j.cvfa.2019.02.005.
- Dalcin, V. C.; Fischer, V.; Daltro, D. S.; Alfonzo, E. P. M.; Stumpf, M. T.; Kolling, G. J.; Silva, M, v. G. B.; McManus, C. 2016. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n. 8, 458-465. doi: 10.1590/S1806-92902016000800006.
- Darcan, N.; Cedden, F.; Cankaya, S. 2008. Spraying effects on some physiological and behavioral traits of goats in a subtropical climate. *Italian Journal of Animal Science*, v. 7, p. 77–85.
- De, K.; Kumar, D.; Saxena, V. K.; Thirumurugan, P.; Naqvi, S. M. K. 2017. Effect of high ambient temperature on behavior of sheep under semi-arid tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 61, n. 7, p. 1269–1277. doi: 10.1007/s00484-016-1304-y.
- Dikmen, S.; Khan, F. A.; Huson, H. J.; Sonstegard, T. S.; Moss, J. I.; Dahl, G. E.; Hansen, P. J. 2014. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v. 97, n. 9, p. 5508–5520. doi: 10.3168/jds.2014-8087.
- Fan, C., Su, D., Tian, H., Hu, R., Ran, L., Yang, Y.; Su, Y.; Cheng, J. 2019. 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. doi: 10.1016/s2095-3119(19)62834-0.
- Ferraretto, L. F.; Shaver, R. D.; Bertics, S. J. 2012. Effect of dietary supplementation with live-cell yeast at two dosages on lactation performance, ruminal fermentation, and total tract nutrient digestibility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 4017–4028.
- Ferrazza, R.; Garcia, D.; Aristizabal, V.; Nogueira, S.; Verissimo, C.; Sartori, J. 2017. Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *Journal of Thermal Biology*, v. 66, p. 68– 80.
- 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. 2009. Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, n. 4, p. 763-768. doi: 10.1590/S0102-09352009000400001.
- Garner, J. B.; Douglas, M. L.; Williams, S. R. O.; Wales, W. J.; Marett, L. C.; Nguyen, T. T. T.; Raich, C. M.; Hayes, B. J. 2016. Genomic Selection Improves Heat Tolerance in Dairy Cattle. *Scientific Reports*, v. 6, p. 1. doi: 10.1038/srep34114.
- Gaughan, J. B.; Lacetera, N.; Valtorta, S. E.; Khalifa, H. H.; Hahn, L.; Mader, T. 2009. Response of domestic animals to climate challenges. *Biometeorology for adaptation*. p. 131–170. doi: 10.1007/978-1-4020-8921-3_7.
- Gunn, K. M.; Holly, M. A.; Veith, T. L.; Buda, A. R.; Prasad, R.; Rotz, C. A.; Soder, J. K.; Stoner, A. M. K. 2019. Projected heat stress challenges and abatement opportunities for U.S. milk production. *PLOS ONE*, v. 14, e0214665. doi: 10.1371/journal.pone.0214665.
- Gwazdauskas, F. C.; Thatcher, W. W.; Wilcox, C. J. 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *Journal of Dairy Science*, v. 56, p. 873-877.
- Hahn, G. L.; Parkhurst, A. M.; Gaughan, J. B. 1997. Cattle respiration rate as function of ambient temperature. (Abstr.) In: ASAE, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapoli: [s.n]. p. 1-21.
- Hamblen, H.; Hansen, P. J.; Zolini, A. M.; Oltenacu, P. A.; Mateescu, R. G. 2018. Thermoregulatory response of Brangus heifers to naturally occurring heat exposure on pasture. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 8, p. 3131–3137. doi: 10.1093/jas/sky224.
- Hansen, P. J. 2019. Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. In: *35th Annual Meeting of the European Embryo Transfer Association (AETE)*. Murcia, Spain, September 12th and 14th.
- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, B. H. M.; Singh, G.; Chandran, P. C.; Dey, A.; Barari, S. K. 2016a. Effect of shade materials on rectal temperature, respiration rate and body surface temperature of crossbred calves during rainy season. *Indian Journal of Animal Sciences*, v. 86, n. 1, p. 75–81.

- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, M.; Dey, A.; Bharti, P. K.; Chandran, P. C. 2018. Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review. *Tropical Animal Health and Production*, v. 50, n. 4, p. 701–706. doi: 10.1007/s11250-018-1542-6.
- Kamal, R.; Dutt, T.; Patel, M.; Dey, A.; Bharti, P. K.; Chandran, P. C.; Barari, S. K. 2016b. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *Journal of Applied Animal Research*, v. 44 n. 1, p. 347–354.
- Karvatté, N.; Klosowski, E. S.; de Almeida, R. G.; Mesquita, E. E.; de Oliveira, C. C.; Alves, F. v. 2016. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Journal of Biometeorology*, v. 60 n. 12, p. 1933–1941. doi: 10.1007/s00484-016-1180-5.
- Lee, Y.; Bok, J. D.; Lee, H. J.; Lee, H. G.; Kim, D.; Lee, I.; Kang, S.K.; Choi, Y. J. 2015. Body Temperature Monitoring Using Subcutaneously Implanted Thermo-loggers from Holstein Steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 29, n. 2, p. 299–306. doi: 10.5713/ajas.15.0353.
- Lees, A. M.; Lees, J. C.; Lisle, A. T.; Sullivan, M. L.; Gaughan, J. B. 2017. Effect of heat stress on rumen temperature of three breeds of cattle. *International Journal of Biometeorology*, v. 62, n. 2, p. 207–215. doi: 10.1007/s00484-017-1442-x .
- Lees, A. M.; Lea J. M.; Salvin, H. E.; Cafe, L. M.; Colditz, I. G.; Lee, C. 2018. Relationship between Rectal Temperature and Vaginal Temperature in Grazing *Bos taurus* Heifers. *Animals*, v. 8, p. 156. doi: 10.3390/ani8090156.
- Mader, T. L.; Davis, M. S.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Dairy Science*. Champaign, v. 84, n. 3, p. 712-719. doi: 10.2527/2006.843712x.
- Mader, T. L.; Holt, S. M.; Hahn, G. L.; Davis, M. S.; Spiers, D. E. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v. 80, p. 2373–2382.
- Maia, A. S. C.; R. G. da Silva; C. M. Battiston Loureiro. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 50, p. 17–22.
- Monteiro, A. P. A.; Tao, S.; Thompson, I. M. T.; Dahl, G. E. 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 10, p. 8443–8450. doi: 10.3168/jds.2016-11072.
- National Research Council. 1971. *A guide to environmental research on animals*. National Academy Science, Washington, DC. 88p.
- National Research Council. NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. *National Academy Press*. Washington, D.C., 381p.
- Ouellet, V.; Laporta, J.; Dahl, G. E. 2020. Late gestation heat stress in dairy cows: Effects on dam and daughter. *Theriogenology*. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.03.011.
- Pantoja, M. H. A.; Esteves, S. N.; Jacinto, M. A. C.; Pezzopane, J. R. M.; Paz, C. C. P. de; Silva, J. A. R.; Lourenço Jr., J. B.; Brandão, F. Z.; Moura, A. B. B.; Romanello, N.; Botta, D.; Garcia, A. R. 2017. Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. *Journal of Thermal Biology*, v. 69, p. 302–310. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.09.002.
- Pereira, A. M. F.; Titto, E. L.; Infante, P.; Titto, C. G.; Geraldo, A. M.; Alves, A.; Leme, T. M.; Baccari Jr. F.; Almeida, J. A. 2014. Evaporative heat loss in *Bos taurus taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way? *Journal of Thermal Biology*, v. 45, p. 87–95. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.08.004.
- Polsky, L.; von Keyserlingk, M. A. G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n. 11, p. 8645–8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651.
- Provolo, G.; Riva, E. 2009. One year study of lying and standing behavior of dairy cows in a freestall barn in Italy. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 40, p. 27–33.
- Rhoads, R. P.; Baumgard, L. H.; Suagee, J. K.; Sanders, S. R. 2013. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*, v. 4, p. 267–276.

- Rocha, D. R.; Salles, M. G. F.; Moura, A. A. A. N.; Araújo, A. A. 2012. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. Belo Horizonte. v.36, n.1, p.18-24, jan./mar. Disponível em: <www.cbra.org.br>.
- Rodrigues, N. E. B.; Zangeronimo, M. G.; Fialho, E. T. 2010. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.7, n.2, p.1197-1211.
- Sakatani, M.; Alvarez, N. V.; Takahashi, M.; Hansen, P. J. 2012. Consequences of Physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 6, p. 3080–3091.
- Sejian, V.; Kumar, D.; Naqvi, S. M. K. 2017. Physiological rhythmicity in Malpura ewes to adapt to cold stress in a semi-arid tropical environment. *Biological Rhythm Research*, v. 9, p. 215–225.
- Sejian, V.; Bhatta, R.; Gaughan, J. B.; Dunshea, F. R.; Lacetera, N. 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, p. 1–14. doi: 10.1017/s1751731118001945.
- Shehab-El-Deen, M. A. M. M.; Leroy, J. L. M. R.; Fadel, M. S.; Saleh, S. Y. A.; Maes, D.; Van Soom, A. 2010. Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Animal Reproduction Science*, v. 117, n. 3-4, p. 189–200. doi: 10.1016/j.anireprosci.2009.04.013.
- Shilja, S; Sejian, V.; Bagath, M.; Mech, A.; David, C. G.; Kurien, E. K.; Varma, G.; Bhatta, R. 2016. Adaptive capability as indicated by behavioural and physiological responses, plasma HSP70 level, and PBMC HSP70 mRNA expression in Osmanabadi goats subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, p. 1311–1323.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, v. 35, p. 181–193.
- Silva, A. M.; Modesto, E. C.; Lira, C. C.; Santos, M. V. F.; Brasil, L. H. A.; Lira, M. A.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Mello, A. C. L. 2011. Diurnal intake behavior of Girolanda cows at different stocking rates. *Arquivos de Zootecnia*, v. 60, n. 232, p. 859-870. doi: 10.4321/S0004-05922011000400003.
- Skibieli, A. L.; Dado-Senn, B.; Fabris, T. F.; Dahl, G. E.; Laporta, J. 2018. In utero exposure to thermal stress has long-term effects on mammary gland microstructure and function in dairy cattle. *PLOS ONE*, v. 13, n. 10. doi: 10.1371/journal.pone.0206046.
- Souza, A. W. S.; Mesquita Júnior, D.; Araújo, J. A. P.; Catelan, T. T. T.; Cruvinel, W. de M.; Andrade, L. E. C.; Silva, N. P. 2010. Sistema imunitário: parte III. O delicado equilíbrio do sistema imunológico entre os pólos de tolerância e autoimunidade. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 50, n. 6, p.665–679.
- Souza, P. T.; Salles, M. G. F.; Araújo, A. A. 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural*, v. 42, n. 10, p. 1888–1895. doi: 10.1590/s0103-84782012005000072.
- Starkey, L.; Looper, M. L.; Banks, A.; Reiter, S.; Rosenkrans, C. Jr. 2007. Identification of polymorphisms in the promoter region of the bovine heat shock protein gene and associations with bull calf weaning weight. *American Society of Animal Science*, Southern Section Meeting 85 (suppl. 2), p. 42.
- Stöber, M. 1993. Identificação, anamnese, regras básicas da técnica de exame clínico geral. In: Dirksen, G.; Gründer, H.D.; Stöber, M. *Exame clínico dos bovinos*, 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, cap. 2, p.44-80.
- Swanson, R. M.; Tait, R. G.; Galles, B. M.; Duffy, E. M.; Schmidt, T. B.; Petersen, J. L.; Yates, D. T. 2020. Heat stress-induced deficits in growth, metabolic efficiency, and cardiovascular function coincided with chronic systemic inflammation and hypercatecholaminemia in ractopamine-supplemented feedlot lambs. *Journal of Animal Science*, v. 98. ed. 6, p. 168.
- Tao, S.; Dahl, G. E. 2013. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 7, p. 4079–4093. doi: 10.3168/jds.2012-6278.
- Tao, S.; Bubolz, J. W.; Amaral, B. C.; Thompson, I. M.; Hayen, M. J.; Johnson, S. E.; Dahl, G. E. 2011. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *Journal of Dairy Science*, v. 94, n. 12, p. 5976–5986. doi: 10.3168/jds.2011-4329.

- Teixeira, V. A.; Coelho, S. G.; Tomich, T. R.; Pacheco Rodrigues, J. P.; Campos, M. M.; Machado, F. S.; Monteiro, G. A.; Ribeiro Pereira, L. G. 2019. Reproductive characteristics of bulls from two breed compositions and their correlations with infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.102407 .
- Terra, R. L. História, exame físico e registro dos ruminantes. In: Smith, B.P. *Tratado de medicina interna dos grandes animais*. São Paulo: Manole, 1993, v. 1, cap. 1, p. 3-15.
- Thom, E.C. Cooling degree days. 1958. *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, New York, v. 55, p. 65-69.
- Thompson, I. M.; Dahl, G. E. 2012. Dry period seasonal effects on the subsequent lactation. *Professional Animal Science*, v. 28, p. 628–631.
- Tripon, I.; Cziszter, L. T.; Bura, M.; Sossidou, E. N. 2013. Effects of seasonal and climate variations on calves' thermal comfort and behaviour. *International Journal of Biometeorology*, v. 58, n. 7, p. 1471–1478. doi: 10.1007/s00484-013-0749-5.
- Ulvshammar, K. Effects of shade on milk production in Swedish dairy cows on pasture. 2014. Tese (mestrado). Universidade Sueca de Ciências Agrárias, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Suécia. Disponível em: <https://stud.epsilon.slu.se/6604/7/ulvshammar_k_140416.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- Valente, E. E. L.; Chizzotti, M. L.; Oliveira, C. v. R.; Galvão, M. C.; Domingues, S. S.; Rodrigues, A. C.; Ladeira, M. M. 2015. Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, p. 4565–4574.
- Vasconcelos, J. L. M.; Demetrio, D. G. B. 2011. Manejo reprodutivo de vacas sob estresse calórico. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 396-401 (supl. especial). ISSN 1806-9290.
- Yousef, M. K. 1985. *Stress physiology in livestock*, vol. 1. Basic principles. Boca Raton: CRC Press, 159p.