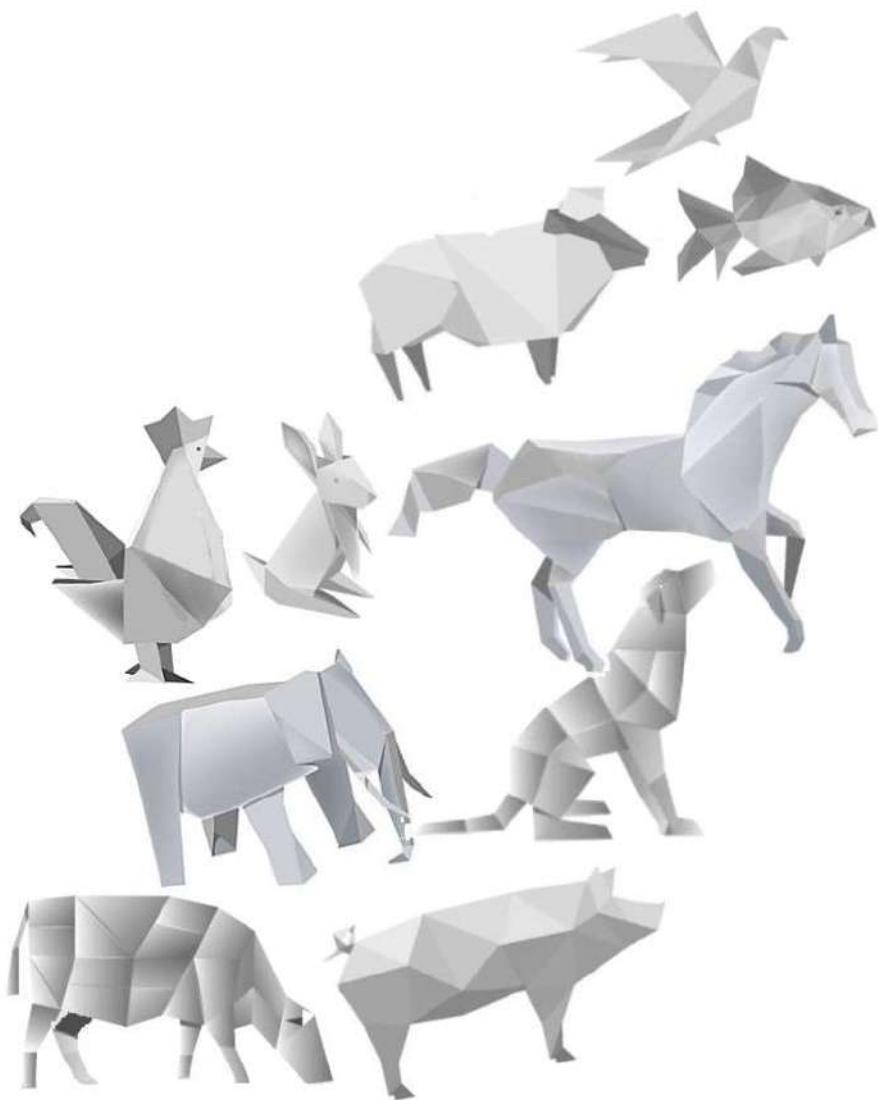


Nº1 – 2024

ISSN: 2976-0704

Revista Portuguesa de Zootecnia



Associação Portuguesa de Engenharia Zootécnica



Ficha Técnica

Director:

Ana Sofia Santos

Editor-chefe:

Vasco Cadavez

Editores:

Ana Sofia Santos

André Almeida

António Marcos Ramos

Ursula Gonzales-Barron

Propriedade:

Associação Portuguesa de Engenharia

Zootécnica (APEZ)

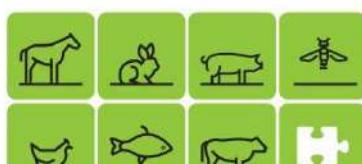
Apartado 60, 5001-909 Vila Real

Composição e Montagem:

Telma G. Pinto

Design Gráfico:

Mariana Almeida e Telma G. Pinto



ZOOTEC 2023 PORTUGAL
XXIII CONGRESSO DE ZOOTECNIA

Contactos:

Apartado 60,
5001-909 Vila Real
geral@apez.pt
912 239 527



A publicação deste número foi possível graças ao apoio da Comissão Ciêntifica do XXIII ZOOTEC – 23º Congresso Nacional de Zootecnia.

O IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO BEM-ESTAR E PRODUTIVIDADE DOS BOVINOS LEITEIROS – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Flávio Silva^{1,2*}, Paié-Ribeiro, J.^{1*}, Geraldo, A.², Carreira, E.², Cachucho, L.^{3,4}, Conceição, C.², Lamy, E.², Capela e Silva, F.², Pereira, A.² e Rangel-Figueiredo, MT.¹

¹Centro de Ciência Animal e Veterinária (CECAV) & Al4AnimalS, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

²Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento (MED) & Change, Universidade de Évora

³ Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL)

⁴Centro de Investigação Interdisciplinar em Sanidade Animal (CIISA) & Al4AnimalS, Universidade de Lisboa

*Ambos primeiros autores

*Autor de correspondência: jessicapaie@utad.pt

Resumo

As consequências das alterações climáticas (AC) são tema de crescente preocupação e debate a nível global. Dados do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, ONU, 2023) indicam a ocorrência de aumentos significativos da temperatura média à superfície terrestre. As AC na vertente “aquecimento global” podem prejudicar a saúde, o bem-estar e a produtividade dos animais de interesse zootécnico, sobretudo os de elevados índices produtivos. Impulsionada pelo crescimento socioeconómico dos países em desenvolvimento, a procura por produtos de origem animal tende a aumentar. O desafio futuro será suprir essas necessidades tendo em conta as múltiplas consequências do “aquecimento global”. São bem conhecidos os efeitos do aumento da temperatura ambiente sobre a fisiologia animal. Ao longo do tempo, várias revisões da literatura foram referindo diversas consequências adversas na produtividade e bem-estar, nomeadamente em bovinos leiteiros tanto em climas tropicais como em temperados. Os efeitos negativos observados na quantidade e composição (lactose, proteína, gordura) do leite foram atribuídos, sobretudo ao decréscimo da ingestão alimentar. Porém alterações na taxa

metabólica e no metabolismo dos hidratos de carbono são responsáveis pelos decréscimos mais do que proporcionais à redução do consumo alimentar. Outros efeitos incidiram, sobre a eficiência reprodutiva, com redução nos sinais de estro e na taxa de conceção, aumentando o intervalo entre partos. Os conhecimentos atuais permitem estimar as consequências do “aquecimento global” na atividade pecuária sendo que a mitigação dos efeitos negativos passa pela implementação de estratégias que atenuem o efeito das altas temperaturas, utilizem métodos de seleção animal adequados e o desenvolvimento de indivíduos mais resilientes para uma produção animal sustentável.

Palavras-chave: alterações climáticas, bem-estar, bovinos de leite, sustentabilidade, temperatura elevada

Introdução

A população mundial continua a aumentar, prevendo-se que em 2050 existam 9,7 biliões de pessoas. Desde 1950 até 2021, a população dos países em desenvolvimento cresceu 512%, enquanto a dos países desenvolvidos apenas 81% (Ritchie et al., 2023). Fatores como a urbanização, a globalização e o crescimento socioeconómico dos países em desenvolvimento levaram ao aumento na procura por alimentos de origem animal (FAO, 2018). Estão projetados aumentos na procura por produtos cárnicos nos países em desenvolvimento de 80% até 2030 e de 200% até 2050 (FAO, 2018). Face a estes valores, e ainda que os países desenvolvidos alterem alguns dos seus hábitos alimentares (Macdiarmid & Whybrow, 2019), é previsível a necessidade de aumentar a produção de alimentos de origem animal.

Em simultâneo, apresenta-se a “era da ebulação global” como alertou em 2023 o Secretário Geral da ONU, que coloca os ecossistemas, a biodiversidade e a segurança alimentar em risco (UN, 2023). Os programas de melhoramento genético (com grande ênfase para as vacas leiteiras), foram essencialmente conduzidos em países temperados privilegiando a seleção de caracteres produtivos, tornando os animais mais suscetíveis às alterações ambientais, pelo que hoje temos animais de reduzida versatilidade fisiológica e por isso pouco tolerantes a elevadas temperaturas.

De modo a conseguir responder às necessidades alimentares presentes e futuras num cenário de produção sustentável, a produção animal deverá enquadrar-se num cenário

onde as temperaturas ambientais serão superiores, os verões mais prolongados e onde fenómenos climatéricos extremos poderão ocorrer com maior frequência. Por isso, torna-se fulcral para as sociedades melhorar o conhecimento sobre o impacto das alterações climáticas na produção animal, bem como sobre as estratégias a adotar para reduzir o seu efeito (Rust, 2019). Neste trabalho, é efetuada uma revisão de literatura, alertando para o efeito das alterações climáticas no bem-estar e nos parâmetros reprodutivos e produtivos de bovinos leiteiros, sugerindo estratégias de adaptação e mitigação.

Caracterização climática

Os sistemas de produção agropecuários dependem em primeira instância, das condições climáticas da região onde estão inseridos. Na maioria das vezes, a quantidade e qualidade da produção está diretamente dependente da precipitação e temperatura. Com as alterações climáticas que já ocorrem um pouco por todo o globo terrestre, a frequência e intensidade de incêndios, inundações e secas tendem a aumentar (Pardo & Prado, 2020). As previsões climáticas para a Europa apontam para uma tendência geral de aquecimento, com a ocorrência de precipitação mais irregular e o aumento de períodos secos e secas extremas (Jacob et al., 2014). Esta tendência acentua-se nas regiões centro-sul da Europa, onde Portugal se situa.

No planisfério climático são referidos 11 climas principais: equatorial, subequatorial, tropical, tropical de altitude, subtropical, mediterrânico, temperado, semiárido, desértico, frio e polar (Medeiros & Vieira, 1997). Portugal é afetado predominantemente pelo clima mediterrânico. Este caracteriza-se por invernos húmidos e amenos e verões quentes e secos (Feio, 1991), onde as secas naturais são frequentes, mas têm vindo a acentuar-se nas últimas décadas tanto na duração como na frequência. A quantidade e ocorrência de precipitação no clima mediterrânico é altamente variável entre anos e dentro do próprio ano (Moreira, 2002). A título de exemplo, para a região de Évora, a temperatura média, nos meses de outubro, novembro e dezembro, tende a aumentar entre 3°C a 5°C; e, nos meses de abril, maio e junho, tende a aumentar 2°C a 3°C (Serrano et al., 2020). Já a precipitação tem vindo a diminuir nas últimas décadas, com vários anos abaixo dos 627mm (média de precipitação para Évora entre 1900 e 2007).

Regiões com características semiáridas, como é o caso de parte do território português, serão as mais afetadas pelas alterações climáticas, onde deverão ocorrer menores quantidades de precipitação e aumento da temperatura (Valverde et al., 2014). Como

consequência do aumento das temperaturas e da frequência e intensidade de secas extremas, acentuam-se os problemas relacionados com o stress térmico dos animais de produção (Pardo & Prado, 2020), aos quais se adicionam o enfraquecimento do sistema imunitário, devido ao efeito imunossupressor do stresse (Dohms & Metz, 1991) e a prevalência de doenças infeciosas (Escarcha et al., 2018). O acréscimo da temperatura contribui também para a persistência, abundância e até surgimento de novos vetores que não existiam em determinadas regiões. Exemplo disso é a Doença Hemorrágica Epizoótica – patologia de etiologia viral transmitida por um vetor – que foi detetada pela primeira vez em Portugal em maio de 2023 e que se verifica a afetar os bovinos, com elevadas perdas de produção.

Mecanismos homeostáticos e homeorréticos na resposta ao calor

Interação animal-ambiente

Os bovinos são homeotérmicos e como tal, são capazes de regular a sua temperatura corporal de modo a manter a homeostase, com um inerente custo metabólico. Contudo, o animal está em constante troca de calor com o ambiente que o rodeia, permutando invariavelmente de uma região de maior temperatura para uma de menor temperatura. Estas transferências processam-se sob a forma de calor sensível e latente. De forma contínua o animal troca calor com o ambiente por condução, convecção e radiação (calor sensível), por exemplo em contacto com a cama, com o ar e com a radiação solar, respetivamente. Quanto maior for o gradiente térmico entre as superfícies em permuta, maior será a quantidade de energia permutada por unidade de tempo.

Dependendo do ambiente, a taxa de dissipação de calor sensível poderá ser insuficiente (devido a um reduzido gradiente térmico), e nestes casos o animal necessita de recorrer a processos de termólise latente. Neste caso, a perda de calor é independente do gradiente térmico, e apenas dependente da pressão parcial de vapor. Assim, o animal pode permanecer num ambiente mais quente que o seu próprio corpo que consegue perder calor. Por isso desencadeiam-se mecanismos fisiológicos que ajudam a dissipar calor, como o aumento da troca de calor por evaporação, sendo frequente observar os animais com um incremento da frequência respiratória e da taxa de sudação.

Tal como outros seres homeotérmicos, os bovinos exibem o máximo do seu potencial genético num determinado intervalo de temperaturas - a zona de termoneutralidade (ZTN) – na qual não necessitam de despender energia adicional para processos relacionados com

a termorregulação. A ZTN varia de acordo com a espécie, a raça, a idade a fase produtiva do animal e com o indivíduo (Yousef, 1985). No caso dos bovinos leiteiros, especialmente os de raça Frísia, dada a sua origem em climas temperados com invernos frios e verões amenos, a ZTN apresenta temperatura críticas inferiores e superiores baixas. A ZTN destes animais tem diminuído ao longo do tempo, consequência do crescente tamanho dos animais, da decrescente superfície específica e da crescente taxa metabólica, que tem possibilitado maior capacidade produtiva, mas que acarreta uma maior produção de calor metabólico. De acordo com vários autores (Berman et al., 1985; Johnson, 1987; Avendaño-Reyes, 2012; Manzoor, Kalkal, Ahuja, Argade, & Nazir, 2021) a ZTN de vacas Frísias situa-se entre os -5°C e os 26°C, embora deva ser considerado que o balanço térmico do animal também pode ser influenciado por outros fatores, como a humidade relativa do ar, presença de radiação solar direta e velocidade do ar. A maior produção de leite está associada a uma maior produção de calor, como a vaca leiteira apresenta uma fraca condutância com uma alta produção apresenta uma menor tolerância ao calor.

Stresse térmico agudo por calor

O stresse térmico ocorre quando a temperatura corporal do animal excede os limiares fisiológicas das espécies durante um dado intervalo de tempo, onde se verifica uma alteração não compensada de atividade normal circadiana e necessita deativamente perder ou gerar calor, através de uma combinação de respostas comportamentais e fisiológicas (Yousef, 1985; Bernabucci et al., 2010; Becker, Collier, & Stone, 2020). Tendo em conta a ZTN dos bovinos leiteiros e as características climáticas dos locais onde estes animais são criados, o stresse térmico por calor ocorre com muito mais frequência que o stresse térmico por frio. Dependendo da severidade do stresse térmico, este pode simplesmente provocar ligeiras perdas produtivas ou levar à morte do animal.

A resposta normal ao stresse por calor é coordenada pelo centro regulador de temperatura do hipotálamo, através de mecanismos que concorrem para a homeostase térmica e que incluem, de um modo sequencial: (a) a vasodilatação cutânea, que permite uma maior irrigação sanguínea na superfície da pele e facilita na dissipaçāo de calor do corpo para o ambiente, mormente por convecção e radiação; (b) a ativação do sistema de sudorese para aumentar a evaporação do suor e a remoção de calor da superfície corporal que já se encontra aumentada, indiretamente, pelo maior suprimento de sangue periférico às glândulas sudoríparas; (c) o aumento da frequência respiratória (FR) que permite eliminar mais calor pela superfície respiratória, especialmente quando a evaporação for um

processo de resfriamento eficaz; o mecanismo é denominado polipneia térmica; para os bovinos leiteiros considera-se como sinal de stresse térmico uma FR de 60 ou mais movimentos do flanco por minuto (d) o consequente aumento da frequência cardíaca (Schleger e Bean, 1971; Finch, 1986; Barnes et al., 2004; Pereira, 2004; ; Garcia et al., 2015).

As respostas comportamentais, inseridas nos comportamentos adaptativos, englobam: (a) o aumento da ingestão de água, que refresca e faz face às maiores perdas hídricas inerentes a processos de arrefecimento por evaporação; (b) a redução da atividade metabólica para minimizar a produção de calor, diminuindo a taxa de metabolismo basal ou inibindo atividades físicas intensas geradoras de calor; (c) o decréscimo da ingestão voluntária de matéria seca, comportamento seletivo alimentar, evitando alimentos grosseiros, de menor valor nutricional e de maior tempo de ruminação que, por sua vez, contribuem para ao aumento da temperatura; (d) alimentação em momentos mais frescos do dia; (e) busca por ambientes mais frescos ou sombras, e permanência nos estábulos onde as condições térmicas são mais favoráveis (Baccari Jr., 2001; Overton et al., 2002; Fraser, 2004; Pereira, 2004; Tucker e Schütz, 2009; Bernabucci et al., 2010; Atrian & Aghdam Shahryar, 2012).

Tal como se verifica em muitas outras espécies, os bovinos também podem exibir variações significativas na temperatura corporal ao longo do dia, seguindo ritmos circadianos que são influenciados por fatores como luz, temperatura e atividade. Assim, as temperaturas corporais tendem a ser mais baixas durante a madrugada e a aumentar durante o dia. Em situações de calor intenso, os valores da temperatura corporal podem permanecer elevados mesmo no final do dia, quando as temperaturas ambientais já se encontram mais baixas em termos absolutos do que nos restantes períodos do dia. A eficiência dos mecanismos fisiológicos de dissipação de calor referidos é refletida na temperatura corporal ~~do animal~~, que pode ser avaliada através da temperatura retal (TR). Tal reflete a elevada inércia térmica da vaca leiteira que é a conjugação da elevada produção de calor, da elevada massa corporal, da baixa superfície específica e de mecanismos pouco eficientes de perda de calor. A medição da TR indicará o balanço térmico do animal, podendo fornecer uma noção mais exata da severidade da situação, pois cada animal é detentor de aspetos distintos de ordem morfológica (e. g., massa corporal e padrão das manchas da pelagem) e fisiológica (e. g., níveis basais hormonais e muitos outros), respondendo assim de forma diferente ao stresse térmico. Por norma,

durante a noite o animal poderá perder parte ou a totalidade do calor armazenado durante o dia pela via sensível, fruto de um favorável gradiente térmico. Um aumento de 1°C na TR acima do normal é suficiente para afetar a produtividade da vaca leiteira (McDowell et al., 1976; Kadzere et al., 2002).

Se a incidência do fator de stresse se fizer sentir apenas por algumas horas do dia, a condição de “stresse térmico agudo” é revertida e o animal regressa ao seu estado fisiológico anterior ao estímulo, quando este desaparecer.

Stresse térmico crónico – aclimatação

O stresse térmico crônico depreende uma exigência fisiológica muito severa para o animal, por isso, quando esta situação se prolonga por dias ou semanas ou mais, o animal ajusta-se de acordo com várias etapas (Udo, 1978; Gaughan et al., 2009). Durante o *stresse térmico crónico*, e para sobreviver, o animal pode desenvolver adaptações fisiológicas e comportamentais duradouras para se ajustar melhor, segundo um processo que é descrito como aclimatação. As mudanças fisiológicas graduais incluem redução da termogénese e aumento da termólise (Pereira, 2004), através de mecanismos homeorréticos, que passam por alterações morfológicas (como a modificação da pelagem) (Berman, 2011) e fisiológicas (alteração da taxa metabólica e aumento da taxa de sudação) (Gaughan et al., 2009; Bernabucci et al., 2010). Ao nível morfológico verifica-se essencialmente uma alteração das características da pelagem, no sentido de uma maior quantidade de pelos mais grossos e curtos, assim como um aumento de mais folículos pilosos, que permanecendo na fase anagénica conduz paralelamente ao aumento da irrigação das glândulas sudoríparas que é condição essencial para garantir um aumento da taxa de secreção (Udo, 1978; Berman, 2011). Verifica-se uma redução do metabolismo, verificado por níveis mais baixos das hormonas da tireoide, hormonas de crescimento e de glucocorticóides, e da ingestão de alimento, conduzindo a uma redução da produção de leite (Kadzere et al., 2002; Collier et al., 2008; Gaughan et al., 2009; Bernabucci et al., 2010). Além da redução da produção de leite, podem verificar-se perdas de eficiência reprodutiva. A menor estimulação das gonadotrofinas determina alterações nas respostas da FSH que por sua vez irá determinar picos de LH menores e mais circunscritos no tempo (Roman-Ponce et al., 1976). Ocorrem também aumentos na ingestão de água, que são respostas às tentativas de arrefecimento por transferência de massa e devido às elevadas necessidades em água devido à sudação, o que pode originar concomitantes alterações do hematócrito com situações de hemodiluição. Estas alterações morfológicas e fisiológicas

pode adquirir um caráter permanente e transmissível através da reprogramação da expressão genética que conduzem a vias de sinalização celular e processos metabólicos mais eficientes (Horowitz, 2001), muitas das vezes mediados por proteínas de choque térmico (HSP) (Bernabucci et al., 2010).

Consequências das alterações climáticas na produção e qualidade do leite

A vida produtiva de uma vaca leiteira é muito menor comparada com a expectativa de vida natural. Nas explorações leiteiras com vacas de alta produção, o desgaste fisiológico é intenso e isso reflete-se na redução da vida produtiva média das vacas, que varia de 2,5 a 4 anos. O primeiro parto ocorre geralmente aos 2 anos de idade, resultando em uma expectativa de vida total, do nascimento à morte, de aproximadamente 4,5 a 6 anos. Em comparação, a expectativa de vida natural dos bovinos leiteiros é em torno de 20 anos. Essa expectativa de vida produtiva é determinada pela saída do animal da exploração, seja por venda, refugo, eutanásia ou morte, sendo a baixa produção de leite um fator para o abate. Para manter ou melhorar a produtividade do rebanho, os produtores de leite tomarão a decisão económica de refugar vacas com produção abaixo de um determinado limite e substituí-las por vacas que se espera venham a apresentar maior produção (Fetrow et al., 2006; De Vries & Marcondes, 2020).

Dentre diversos fatores, o clima quente emerge como um dos principais elementos capazes de impactar significativamente na produção de leite, especialmente naquelas com elevados índices produtivos. Esses animais são os mais afetados pelo stresse térmico devido à intensa atividade metabólica e inerente produção de calor gerada durante a síntese do leite, a qual é diretamente proporcional ao seu nível de produção (Nasr & El-Tarabany, 2017). A exposição ao stresse térmico ocasiona na redução da ingestão de alimento, uma resposta primária e facilmente mensurada que é frequentemente associada ao declínio na produção de leite, porém, apenas 35% da diminuição da produção é causada pela redução da ingestão de alimento em bovinos de leite (Rhoads, 2023).

A exposição ao stresse térmico desencadeia alterações nos metabolitos e hormonas associados ao metabolismo bovino, que vai além da mera privação nutricional (Rhoads, 2023). Baumgard e Rhoads (2013) identificaram que a redução da produção de leite não estava apenas associada ao decréscimo da ingestão alimentar, mas que havia uma alteração significativa no metabolismo dos hidratos de carbono e alterações nos níveis de insulina, tanto basal como estimulada, e uma aparente falta de capacidade de mobilização

de gordura do tecido adiposo associada a uma resposta reduzida dos estímulos lipolíticos. Igualmente se constatam alterações no metabolismo do azoto.

Com o objetivo de diferenciar os efeitos do stresse térmico crónico daqueles causados pela diminuição da ingestão de matéria seca, Almoosavi e colaboradores (2021) conduziram um estudo para avaliar esses efeitos sobre o metabolismo durante o período pré-parto, o colostro e a subsequente produção de leite. O estudo incluiu 30 vacas de raça Holstein, distribuídas aleatoriamente entre três tratamentos: (1) Condições de arrefecimento com consumo de ração *ad libitum* (CR), (2) stresse térmico com consumo de ração *ad libitum* e (3) Condições de arrefecimento com consumo alimentar reduzido. Os resultados indicaram que o grupo sujeito a stresse térmico apresentou uma redução na duração da gestação, na produção de colostro e no peso ao nascimento do vitelo em comparação com os grupos que receberam arrefecimento. A produção de leite também foi significativamente afetada, diminuindo em 21% (5 kg) nas vacas em stresse térmico e 8% (2 kg) nas vacas que receberam arrefecimento, concluindo que o stresse térmico durante o final da gestação alterou o metabolismo e a produção, sendo esses efeitos parcialmente atribuídos à redução da ingestão alimentar.

Com base na literatura, pode concluir-se que o stresse térmico exerce uma influência significativa nas respostas fisiológicas, tendo como consequência mais notável a diminuição da produção de leite, ocasionando em perdas económicas substanciais para os produtores de leite. A correlação negativa entre a produção de leite e o índice de temperatura-humidade (THI) destaca a sensibilidade das vacas ao ambiente térmico, especialmente quando esse indicador ultrapassa 68 (Sha Tao et al., 2020).

A ampliação da expectativa de vida produtiva nas vacas leiteiras surge como uma estratégia para mitigar o impacto ambiental associado à produção de leite. Rebanhos que desfrutam de uma maior longevidade produtiva necessitam de menos novilhas de reposição, resultando em uma presença mais significativa de vacas adultas, associada a uma maior eficiência produtiva. Assim, é crucial considerar as implicações ambientais dessa abordagem. Rebanhos com proporções elevadas de novilhas e vacas primíparas tendem a excretar mais fósforo e emitir mais metano por unidade de leite, em comparação com rebanhos com maior presença de vacas multíparas (De Vries & Marcondes, 2020).

Consequências das alterações climáticas na reprodução

O aumento das temperaturas e as mudanças nos padrões climáticos têm efeitos significativos no desempenho reprodutivo, sendo as vacas leiteiras de alta produção as mais afetadas pelo stresse térmico, pois enfrentam amplas alterações fisiológicas e metabólicas, visto que a necessidade do aumento das necessidades energéticas para a lactação é maior em comparação com as necessidades antes do parto (Schüller et al., 2014; Stefanska et al., 2023).

O stresse térmico é um fator crucial que com impacto significativo na fertilidade e na sobrevivência embrionária nos bovinos leiteiros durante o período de lactação (Schüller et al., 2014; Rhoads, 2023). Embora fatores como fertilidade e qualidade embrionária sejam importantes para o resultado da gestação, muitos estudos têm sido realizados para avaliar os impactos do stresse térmico nos oócitos e no folículo ovárico (Rhoads, 2023).

De acordo com Schuller e colaboradores (2017), a exposição ao stresse térmico influenciou negativamente o tamanho do folículo durante o estro, com uma redução de 0,1 mm de diâmetro do folículo para cada ponto adicional no THI no dia do estro. Esse resultado é consistente com estudos anteriores que indicaram que, durante o stresse térmico, o folículo dominante da segunda onda inicialmente aumenta de tamanho, mas o seu crescimento desacelera ao longo do tempo, afetando negativamente no diâmetro final. Além disso, as alterações no crescimento folicular durante o stresse térmico foram associadas a uma duração mais longa do ciclo éstrico e a um aumento no fluxo sanguíneo para os ovários antes da ovulação. Alterações na composição do fluido folicular e nas concentrações de esteróides no ovário também foram observadas nesse estudo, comprovando os efeitos do stresse térmico no ciclo reprodutivo e na fisiologia ovárica (Honig et al., 2015; Roth & Wolfenson 2016; Shehab-El-Deen et al., 2010).

Stefanska e colaboradores (2023), ao investigarem o potencial impacto do stresse térmico na produtividade, fertilidade e bioquímica sanguínea de 100 vacas Holstein-Friesian, comprovaram a associação negativa entre o THI e os parâmetros de fertilidade, designadamente o atraso no primeiro estro pós-parto e intervalo entre partos prolongado. Nasr e El-Tarabany (2017) investigaram em quais fases da gestação o stresse térmico poderia influenciar mais negativamente no desempenho produtivo e reprodutivo da descendência. Os fetos foram classificados em quatro categorias, dependendo do estádio gestacional em que foram expostos ao stresse térmico no útero. Os resultados indicaram que a exposição ao stresse térmico durante o primeiro trimestre de gestação afetou negativamente a produção de leite, as reservas ováricas e o desempenho reprodutivo da

descendência. Akbarinejad e colaboradores (2017) concluíram igualmente que o stresse térmico nas vacas, especialmente durante o segundo e terceiro trimestres de gestação, tem efeitos prejudiciais na fertilidade, longevidade e reservas ováricas na descendência. Os autores verificaram que a exposição ao stresse térmico durante essas fases resultou em puerpérios mais longos, menor taxa de conceção no primeiro parto e maior proporção de reprodutores repetidos. Além disso, a concentração da hormona anti-Mulleriana (AMH), um marcador da reserva folicular, revelou-se significativamente menor nas vacas cujas mães foram expostas ao stresse térmico durante o segundo e terceiro trimestres.

Biomarcadores na avaliação do bem-estar e saúde dos animais submetidos ao stresse térmico

Existem várias abordagens para quantificar as respostas dos animais ao stresse térmico, nomeadamente através da utilização de métodos de avaliação invasivos e não invasivos. Os biomarcadores são características mensuráveis que podem ser usados como indicadores de processos biológicos, patológicos ou respostas a procedimentos terapêuticos e que podem ser utilizados como forma de avaliar determinadas patologias (Taba et al., 2005). A maioria dos potenciais biomarcadores para avaliar o stresse térmico são obtidos de forma invasiva e com base em amostras biológicas, como sangue, tecidos ou outras estruturas, sendo considerados fiables para avaliar os mecanismos associados ao stresse térmico. A análise do perfil hormonal em animais sob stresse térmico é um método que permite deduzir o impacto do stresse nas respostas neuro-endócrinas, onde são avaliados marcadores clássicos de stresse térmico, como o cortisol, triiodotironina (T_3) e tiroxina (T_4) (Sejian et al., 2018), sendo estes considerados potenciais biomarcadores (Maurya et al., 2019). Num estudo realizado por Yue e colaboradores (2020), cujo objetivo foi determinar o impacto do stresse térmico nos parâmetros fisiológicos, ingestão de matéria seca, produção de leite, metaboloma do leite e plasma sanguíneo, em vacas leiteiras Holstein em fase de lactação, foi referido que determinados metabolitos presentes no plasma e no leite estão envolvidos na proteólise, gluconeogénesis e síntese de ácidos gordos do leite e podem ser potenciais biomarcadores em vacas de leite sujeitas a stresse térmico. Num estudo de Grelet colaboradorss (2022), onde foi feita a avaliação de biomarcadores de stresse crónico em vacas de leite, após induzir stresse durante um período de quatro semanas, verificou-se que a frutosamina sanguínea e as concentrações de cortisol no pelo podem funcionar como indicadores de stresse crónico.

Como resposta celular ao stresse térmicos destacam-se as proteínas de choque térmico (HSP), que atuam como uma resposta primária de proteção celular (Hu et al., 2022). Na presença de condições adversas que originem stresse, tal como o aumento da temperatura, os níveis de HSP aumentam na corrente sanguínea (Bukau & Horwich, 1998). As HSP podem ser utilizadas como biomarcadores de stresse térmico (Sørensen, 2010), sendo a HSP70 a que possui uma maior atuação na resposta ao stresse a nível celular (Monzo et al., 2012). A saliva é utilizada como uma fonte de biomarcadores para condições fisiológicas e patológicas (Lamy, 2015). O elevado potencial da saliva como fonte de biomarcadores deve-se ao facto de possuir substâncias que frequentemente se encontram em quantidades que se relacionam com as do sangue (Lamy, Vitorino, & Amado, 2012). Lamy e colaboradores (2017), identificaram pela primeira vez a proteína de choque térmico de 70 kDa na saliva de vacas leiteiras. As concentrações salivares mais altas de HSP70 foram significativamente associadas a uma maior produção de leite e maior temperatura ambiental. A utilização da HSP70 salivar como biomarcador pode ser uma potencial ferramenta para estudos futuros sobre a termotolerância em vacas de leite. Por outro lado, em animais sujeitos a temperaturas elevadas foi observada uma maior quantidade de albumina no soro (Bernabucci et al., 2015), pelo que a presença de albumina na saliva pode ser um biomarcador de potencial produtivo e reprodutivo.

Apesar de serem utilizados métodos invasivos para obter biomarcadores de saúde e bem-estar para avaliação de stresse em bovinos de leite, a sua utilização pode ser controversa, na medida em que se pressupõe utilizar um fator adicional de stresse aos animais para obter o material biológico, o que eventualmente pode condicionar as respostas ao stresse térmico. Assim, a utilização de métodos não invasivos para avaliar o stresse térmico poderá ser uma abordagem mais promissora. Os métodos não invasivos para a avaliação do stresse térmico nos animais, nomeadamente em vacas de leite, têm sido avaliados com base em determinadas respostas comportamentais e fisiológicas, tais como a frequência respiratória, temperatura corporal e batimento cardíaco (através de sensores). O facto de serem não-invasivos garante que não é adicionado um fator externo que cause stresse adicional ao animal. Também a utilização de termografia por infravermelhos pode ser considerada outra ferramenta não invasiva para avaliar a resposta do animal ao stresse, bem como avaliar o nível da produção, a saúde e o bem-estar animal (Sejian et al., 2022).

Estudos recentes demonstraram que a utilização de amostras de fezes e pelos podem ser uma alternativa ao plasma para a avaliação dos níveis de cortisol, possuindo a vantagem

de avaliar o stresse durante períodos mais longos ao invés de avaliar situações a curto prazo, tais como as que são obtidas utilizando amostras de sangue (Idris et al., 2021). O cortisol é um biomarcador de stresse e pode ser avaliado em amostras de fezes, urina, pelo e leite (Sejian et al., 2022). No entanto, é necessário considerar que o cortisol varia com o ritmo circadiano (Hays et al., 1975) e com outros estímulos stressores que não a temperatura (Boissy & Le Neindre, 1997; Bristow & Holms, 2007), pelo que deve existir cautela na sua utilização como marcador de stresse térmico.

O stresse térmico pode alterar o perfil lipídico da gordura do leite. Num estudo realizado por Liu e colaboradores (2017), onde foi avaliado o efeito do stresse térmico agudo (THI até 84) na composição lipídica do leite, verificou-se uma redução dos níveis de algumas classes de lípidos polares, especialmente a lisofosfatidilcolina, sendo proposta a sua utilização como biomarcadores de stresse térmico em vacas de leite. O piruvato, lactato, acetona, β -hidroxibutirato, creatina, ácido oleico, trimetilamina, lisofosfatidilcolina, ácido linoleico, glicose, betaína, acetoacetato, esfinganina C16, ácido araquidónico e fosfatidilcolina são biomarcadores que estão presentes no plasma e no leite, o que sugere que os níveis de biomarcadores do leite estão relacionados com as alterações metabólicas que ocorrem no sangue (Tian et al., 2016). Estes biomarcadores estão envolvidos no metabolismo de aminoácidos, hidratos de carbono ou lípidos, o que sugere que o stresse térmico influencia as vias metabólicas de vacas em lactação (Abdelnour et al., 2019).

Estratégias de adaptação e mitigação dos efeitos das alterações climáticas

Estratégias para atenuar o efeito direto do calor

Atenuar o efeito direto do calor é uma das medidas mais práticas que pode ser implementada nas explorações leiteiras, no entanto, também uma das mais dispendiosas. Essencialmente pretende-se tirar partido dos mecanismos de transferência de calor pela via sensível e latente, já referidos anteriormente. Para tal, pode escolher duas estratégias reduzir a temperatura ambiental onde os animais se encontram, seja no estábulo ou no exterior e/ou reduzir diretamente a vaca. A temperatura ambiental pode ser reduzida através de: (a) o sombreamento, que diminui a quantidade de calor adquirida por radiação de ondas curtas; (b) a qualidade dos materiais usados nas instalações, principalmente nas camas, de modo a aumentar a permuta de calor por condução e radiação; (c) a instalação de sistemas ventilação e aspersão ou nebulização, criando um microclima e facilitando os

mecanismos de convecção e evaporação permitindo o seu arrefecimento e reduzindo a quantidade de calor armazenada pelo animal.

Sombreamento (proteção da radiação solar)

O objetivo do sombreamento é reduzir a quantidade de calor adquirido através da radiação solar de ondas curtas. Tanto no exterior como no interior do estábulo, é necessário ter em atenção se todos os animais estão protegidos da radiação solar, já que existe um efeito da hierarquia social pela utilização de sombra, principalmente quando o espaço sombreado não está corretamente dimensionado (Deniz et al., 2021). Em sistemas de pastoreio, a combinação de sombra com a produção de energia pode ser alcançada com a utilização de painéis solares (Sharpe et al., 2021). O acesso à sombra pode permitir uma maior saúde ruminal, aumentando o tempo de ruminação (Reis et al., 2021); reduzir a frequência respiratória e temperatura rectal (Heins et al., 2022) e atenuar a redução na produção e composição leiteira em períodos de stresse térmico (Abreu et al., 2020). Em todo o caso, os animais tendem a escolher deitarem-se nestes locais à sombra na pastagem, concentrando a quantidade de fezes no local, o que provoca um aumento na conspurcação do animal (Heins et al., 2022; Sharpe et al., 2021).

No interior dos pavilhões, deve existir também altura suficiente, orientação espacial e abertura na cumeeira para que o ar quente ascenda e circule a uma velocidade suficiente que possibilite perdas de calor significativas (Shoshani & Hetzroni, 2013), principalmente durante o período da noite, quando as temperaturas baixam a níveis suficientes para que o animal possa perder por via sensível o calor adquirido durante o dia (Kendall et al., 2006; Ji et al., 2020). No período de inverno, ainda que animais da raça Frísia não tenham problemas com as temperaturas atingidas na maioria dos climas temperados e tropicais, a chuva pode molhar camas, aumentando o risco microbiológico, e as correntes de ar podem comprometer a saúde dos animais mais jovens ou animais mais debilitados, pelo que estas situações devem também ser tidas em consideração.

Arrefecimento das camas (arrefecimento por condução)

Em ambientes quentes, o bovino tende a manter-se em pé para aumentar a superfície específica em contacto com o ar, aumentando as trocas por convecção. No entanto, este precisa de tempo de repouso em decúbito, pelo que a superfície das camas deve fornecer conforto (evitando lesões), higiene (reduzindo o risco microbiológico), entre outros aspetos práticos (Dimov & Marinov, 2021), e também deve permitir apresentar uma

elevada condutividade térmica que possibilite ao animal perder calor por condução a uma taxa favorável. Caso contrário, com o aumento da temperatura, aumenta também o número de animais que se deitam nas zonas de passagem dos parques, aproveitando o pavimento de betão molhado que apresenta uma menor temperatura e uma elevada condutividade térmica, que são dois fatores cruciais para aumentar as perdas de calor por condução (Herbut & Angrecka, 2018).

As camas de colchões de água são o tipo de cama que melhor bem-estar fornece ao animal durante o verão, devido às suas capacidades condutoras de calor (Lendelova et al., 2019). A cama de matéria orgânica seca apresenta baixa condutividade térmica, sendo por isso mais bem aproveitada no inverno, já a cama orgânica húmida também apresenta bons resultados no verão uma vez que a água presente no substrato aumenta a taxa da transferência de calor, no entanto, aumenta também o risco bacteriológico (Lendelova et al., 2019). Para que o sistema de arrefecimento por condução através das camas funcione com mais eficácia, é necessário que água transite pelas camas, transportando o calor emitido pelos animais. A água é um bom condutor de calor mas requer que esteja a uma temperatura suficientemente baixa para que o gradiente térmico proporcione uma aumento da taxa de transferência de calor. Foram utilizados canos de água a 7°C a circular por baixo de camas de areia e de estrume seco, o que permitiu arrefecer a cama, previamente aquecida pela vaca, e por conseguinte, aumentando o gradiente térmico (Ortiz et al., 2015). As camas de areia foram mais eficientes que as de matéria orgânica e os animais nas camas de areia com água apresentaram menor armazenamento de calor e uma maior produção de leite e ingestão alimentar (Ortiz et al., 2015). É necessário ter em conta que as quantidades de material da cama por cima dos canos de água interferem com o calor permitido e que é necessário baixar significativamente a temperatura da água antes desta passar nas camas. Em todo o caso, não se observaram diferenças significativas nos parâmetros fisiológicos e produtivos dos animais quando a temperatura de água era 4,5 ou 10°C (neste caso em colchões de água adaptados) (Perano et al., 2015). Os colchões de água atualmente ainda apresentam dificuldades na sua implementação prática, no entanto, recentemente foram desenvolvidos 4 modelos de colchão de água circulante com bons valores de condutância (teóricos) que tentam ultrapassar dificuldades técnicas associadas ao custo, durabilidade e risco de lesões, (Błotny & Rosiek, 2022).

Ventiladores, aspersores e nebulizadores (arrefecimento evaporativo e convectivo)

As estratégias e os equipamentos utilizados para arrefecer o animal devem ser adaptados a cada situação, pois fatores como o design do pavilhão, a temperatura, a humidade relativa e velocidade do ar afetam a eficiência deste processo (Ji et al., 2020; Fidler & VanDevender, n.d.). Neste tipo de processo de arrefecimento são utilizados mecanismos de ventilação e de utilização de água em contacto direto com o animal. Relativamente à ventilação existem dois tipos, a ventilação natural (pavilhão com aberturas em ambos os eixos) e ventilação forçada ou em túnel, onde as laterais são totalmente ou parcialmente fechadas e a circulação do ar é efetuada por ventoinhas ao longo do comprimento do pavilhão (Ji et al., 2020). A utilização da água é feita através de sistemas de aspersores, funcionando como chuveiros, ou por sistemas de nebulizadores de baixa ou alta pressão. Os aspersores produzem gotas de maior dimensão que caiem sobre a superfície do animal e ajudam a remover o calor por transferência de massa e posteriormente através do contacto da água na superfície da pele e posteriormente por conjugação dos efeitos combinados da convecção com a evaporação. A taxa de perda de calor é potenciada através da colocação de ventiladores e exacerbam as perdas de calor por convecção e evaporação. Os nebulizadores produzem gotas de menor dimensão que promovem o arrefecimento adiabático do ar junto dos animais.

Estes equipamentos podem ser utilizados separadamente, mas a combinação de um sistema ventilação com os aspersores ou nebulizadores fornece melhores índices de arrefecimento e são designados de sistemas de arrefecimento evaporativo. Estes sistemas têm mostrado melhores resultados do que os sistemas de arrefecimento das camas por condução, (Drwencze et al., 2020). Em conjunto com os nebulizadores, a ventilação independentemente de ser mecânica ou natural permite obter melhores resultados produtivos, tal como decorreu num ensaio na Eslováquia onde explorações com sistemas de arrefecimento evaporativo e localizadas a maior altitude apresentaram maior quantidade de leite produzido em períodos de temperaturas elevadas (Broucek et al., 2020). É também importante referir que dependendo do nível de stresse térmico, o arrefecimento durante o dia e a noite, são essenciais para atingir melhores índices de conforto e produtividade (Gaghan et al., 2023).

Planeamento de gestão produtiva/reprodutiva

Em climas temperados, não é habitual que o fator da sazonalidade seja tido em conta na gestão de efetivos de bovinos leiteiros. No entanto, com as AC, é possível que os verões se tornem cada vez mais longos e que as quatro estações sejam cada vez menos marcadas

(Wang et al., 2021). Em antecipação a esse cenário provável no futuro, pode ser desejável pôr em prática algumas estratégias que deverão ser implementadas na gestão dos efetivos, com o objetivo de minimizar os efeitos deletérios do stresse térmico nos índices reprodutivos e produtivos. Estas estratégias devem contemplar não apenas as vacas em lactação, mas também vacas secas, pois o stresse térmico pode comprometer o estado fisiológico do feto, a formação de colostro e a lactação futura (Tao et al., 2011; Almoosavi et al., 2021).

Do ponto de vista alimentar, um dos principais efeitos do stresse térmico é a redução da ingestão de MS, que consequentemente conduzem a uma série de problemas de saúde e na produção, especialmente nas vacas em balanço energético negativo (Sammad et al., 2020; Jo et al., 2021). Algumas estratégias de manejo mitigadoras desse efeito passam por alimentar os animais nas horas mais frescas do dia e aumentar o número de refeições. A nível nutricional, a suplementação, como a melatonina, a metionina, o crómio, ácido fólico, ácidos gordos saturados, entre outros, pode ser ponderada no sentido de se poder obter benefícios durante o período de stresse térmico, atenuando alguns dos seus efeitos (Negrón-Pérez et al., 2019; Sammad et al., 2020).

A nível reprodutivo, a incapacidade de deteção do estro durante as épocas quentes do ano é um dos principais causadores do aumento do intervalo entre partos (De Rensis & Scaramuzzi, 2003). O stresse térmico influencia os níveis de GnRH e LH, o que causa uma redução nos níveis de estradiol, afetando os sinais de estro e a qualidade dos oócitos (De Rensis & Scaramuzzi, 2003). Uma alternativa é o uso de cobrição natural nas épocas de maior calor, embora o stresse térmico também pode afetar a fertilidade do touro. A utilização de inseminação artificial a tempo fixo e a transferência embrionárias são alternativas para ultrapassar a dificuldade na deteção do estro (De Rensis & Scaramuzzi, 2003; Negrón-Pérez et al., 2019). Existem diversos protocolos de inseminação a tempo fixo, no entanto, aqueles que se baseiam principalmente na GnRH são provavelmente mais adequados para a utilização em condições de stress térmico, uma vez que exercem um controlo significativo sobre o momento da ovulação (Negrón-Pérez et al., 2019). A administração de GnRH no momento da inseminação, o uso de GnRH, eCG e hCG em protocolos à base de progesterona e a suplementação de progesterona durante a fase final embrionária ou no período fetal inicial são tratamentos hormonais que podem beneficiar a gestão reprodutiva durante períodos de stresse térmico. (De Rensis et al., 2015). Em todo o caso, o sucesso da implementação destes protocolos numa exploração é difícil, pelo

que terá de existir um reforço na investigação e na implementação práticas destes protocolos.

Existem atualmente diversos sensores e equipamentos que podem ser aplicados nos animais ou na exploração para obter informação individual e em tempo-real, fornecendo informações sobre o estado de saúde, sobre parâmetros produtivos e reprodutivos (Caja et al., 2016; Silva et al., 2021). Estas tecnologias podem fornecer respostas aos efeitos das AC nos animais através da deteção automática dos limites ambientais que sugerem stresse térmico, atuando, por exemplo, no sistema de arrefecimento evaporativo (Goswami, 2021), normalmente através do THI (Castelo Branco et al., 2022). No entanto, como já foi referido, existe um efeito individual na resposta ao calor, pelo que uma generalização do THI pode acarretar algumas perdas em determinados animais, possivelmente nos animais de superior mérito genético para produção de leite (Lamy et al., 2017; Silva et al., 2018). Além disso, o THI tem a desvantagem de não considerar efetivamente as trocas de calor por convecção e radiação (Ji et al., 2017). O ideal seria a ativação do sistema de arrefecimento em função do estado fisiológico do animal e não do pavilhão. A utilização destas tecnologias irá otimizar a investigação nesta área, podendo trazer novos conhecimento sobre a relação entre o stresse térmico e os animais.

Termotolerância e seleção genética

A forma como os animais respondem perante situações de stresse térmico, influencia diretamente a sua capacidade produtiva e reprodutiva. Estas respostas estão também dependentes da sua termotolerância.

É possível abordar várias estratégias para aumentar a termotolerância dos animais de produção, tais como, através do cruzamento (entre raças menos tolerantes com raças mais tolerantes), a seleção para reduzir a produção de leite, a seleção com base em características fisiológicas, a seleção para melhorar a resposta imunitária (Cartwright et al., 2023), e através da identificação das mutações responsáveis pela variação genética na termotolerância, transferindo alelos específicos para a raças não adaptadas a climas quentes, conferindo-lhes assim maior termotolerância (Hansen, 2020).

Considerando a maior capacidade de regulação dos fluxos de calor em resposta ao stresse térmico de animais *Bos indicus* quando comparados com *Bos taurus*, o cruzamento entre

raças zebuínas e raças de origem em climas temperados tem sido uma prática bastante aplicada, principalmente em regiões de clima quente e húmido. Contudo, frequentemente os animais F1 de alguns destes cruzamentos, apresentam menor performance produtiva. Segundo Hansen (2004), a identificação de *loci* genéticos específicos que conferem termotolerância ao gado zebuíno poderia ser seguida de cruzamentos e da seleção do alelo favorável utilizando características fenotípicas ou marcadores moleculares.

Alguns genes ou regiões de genes que contribuem para a termotolerância foram já identificados, nomeadamente as proteínas de choque térmico (HSP), cuja sobrepressão protege a célula contra a hipertermia; genes envolvidos na produção de antioxidantes; e genes relacionados como desenvolvimento e funcionalidade das glândulas sudoríparas e na sudação (Taye et al., 2017). Existe uma associação significativa de SNPs em genes de HSP70, HSP90, HSF1, EIF2AK4, HSPB1, HSPB8, HSPB7, MYO1A, e ATP1A1, com a termotolerância em bovinos de várias raças, o que sugere a sua potencial utilização como marcadores moleculares em programas de melhoramento genético (Hariyono & Prihandini, 2022).

Um exemplo de uma mutação que confere uma capacidade superior para regular a temperatura corporal é o grupo de mutações *frame-shift* no gene do recetor da prolactina (PRLR) que conduzem a um recetor truncado, com implicações nas glândulas sudoríparas, e ao desenvolvimento de bovinos com um pelo curto e liso (Hansen, 2020). Vários estudos confirmam uma maior capacidade termorreguladora em animais de raça Holstein de pelo liso, em comparação com os animais de pelo não liso, demonstrando assim que o haplótipo SLICK restringe a diminuição da produção de leite durante o verão em vacas Holstein de alta produção (Dikmen et al., 2014).

De acordo com Osei-Amponsah e colaboradores (2019), de forma a atenuar os efeitos do estresse térmico é necessária a realização de estudos que abordem: o desenvolvimento e a monitorização de índices fenotípicos de estresse térmico; a utilização da genómica e da proteómica para avaliação dos fatores genéticos associados ao stress térmico; o desenvolvimento de práticas de gestão inovadoras e mais sustentáveis para reduzir o estresse térmico e melhorar o bem-estar e a produção animal; e a avaliação das consequências epigenéticas resultantes das alterações climáticas.

Conclusão

Esta breve revisão bibliográfica teve como objetivo principal reforçar a atenção para os impactos críticos e multifacetados das alterações climáticas na produção leiteira e no bem-estar dos bovinos, referindo consequências diretas e indiretas associadas ao aquecimento global. Além das repercussões imediatas na produção de leite, eficiência reprodutiva e consequentes prejuízos económicos, releva-se a necessidade premente de criação e implementação de estratégias que visem mitigar o stresse térmico, em particular nos bovinos leiteiros. A crescente procura nos países em desenvolvimento por produtos lácteos e outros de origem animal amplia a urgência de ações proativas cruciais para enfrentar os desafios impostos pelo aumento das temperaturas, preservando não apenas a sustentabilidade da atividade pecuária, mas também a segurança alimentar. O futuro da produção animal depende irremediavelmente da adoção contínua de práticas sustentáveis e da inovação em resposta às mudanças climáticas. A garantia de um fornecimento estável de alimentos aos mercados requer um compromisso inabalável com estratégias que minimizem os impactos das alterações climáticas, protegendo a continuidade da produção pecuária num ambiente desafiador e em constante evolução.

Referências Bibliográficas

- Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Arif, M., Taha, A. E., & Noreldin, A. E. (2019). Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review. *Journal of Thermal Biology*, 79, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.013>.
- Abdul S., Wang, Y., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B. & Wang, Y. (2020). Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities. *Animals*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ani10050793>.
- Abdul S., Wang, Y., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B. & Wang, Y. (2020). Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities. *Animals*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ani10050793>.

Abreu, A. S., Vasconcelos, J. T., & Nogueira, G. P. (2020). Natural tree shade increases milk stability of lactating dairy cows during the summer in the subtropics. *Journal of Dairy Research*, 87(4), 444-447. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000916>.

Akbarinejad, V., Gharagozlou, F., & Vojgani, M. (2017). Temporal effect of maternal heat stress during gestation on the fertility and anti-Müllerian hormone concentration of offspring in bovine. *Theriogenology*, 99, 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.05.018>.

Almoosavi, S. M.M., Ghoorchi, T., Khanaki, H., Drackley, J. K. & Ghaffari, M. H. (2021). Effects of Late-Gestation Heat Stress Independent of Reduced Feed Intake on Colostrum, Metabolism at Calving, and Milk Yield in Early Lactation of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 104(2): 1744–58. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19115>.

Atrian, P., & Aghdam Shahryar, H. (2012). Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology*, 2(4), 31-37. <https://doi.org/10.5923/j.zoology.20120204.03>.

Avendaño-Reyes, L. (2012). Heat stress management for milk production in arid zones. In: Chaiyabutr, N. (Ed.), *Milk production – An up-to-date overview of animal nutrition, management and health body* (pp. 165-184). Baja California, México: InTech. <https://doi.org/10.5772/51299>.

Baccari Jr., F. (2001). Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. Londrina: UEL Brasil, pp. 11-41, 85-99.

Barnes, A., Beatty, D., Taylor, E., Stockman, C., Maloney, S., & McCarthy, M. (2004). Physiology of heat stress in cattle and sheep. [Online], Australia, Live Export. Disponível em: <http://www.livecorp.com.au/LC/files/dc/dcfff517-e032-4d6e-8dc5-5be26b9ba845.pdf> [Acedido em 12 de junho de 2015].

Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6751-6770. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>.

Berman, A. (2011). Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2147-2158. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3962>.

Berman, A., Folman, Y., Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z., Wolfenson, D., Arieli, A., & Graber, Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, 68(6), 1488-1495.

UN (United Nations) (2023). Press Conference by Secretary- General Antonio Guterres at United Nations Headquarters. SG/SM/21893 27 July 2023. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80987-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5).

Bernabucci, U. (2019). Climate change: Impact on livestock and how can we adapt. *Animal Frontiers*, 9(1), 1-5. <https://doi.org/10.1093/af/vfy039>.

Błotny, J., & Rosiek, S. (2022). Heat transfer efficiency as the determinant of the water mattress design: A sustainable cooling solution for the dairy sector. *Energy*, 245, 123132. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123243>.

Boissy, A., & Le Neindre, P. (1997). Behavioral, cardiac and cortisol responses to brief peer separation and reunion in cattle. *Physiology & Behavior*, 61(5), 693-699. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(96\)00521-5](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(96)00521-5).

Broucek, J., Mihina, S., Ryba, S., Tongel, P., Kisac, P., Hanus, A., Uhrincat, M., & Vavrik, J. (2020). Effect of evaporative cooling and altitude on dairy cows milk efficiency in lowlands. *International Journal of Biometeorology*, 64(3), 433-444. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01828-5>.

Bukau, B., & Horwich, A. (1998). The Hsp70 and Hsp60 chaperone machines. *Cell*, 92, 351-366. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80928-9](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80928-9).

Caja, G., Castro-Costa, A., & Knight, C. H. (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83(2), 136-147. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>.

Castelo Branco, A. M., Silva, F. G., Conceição, C., & Pereira, A. M. F. (2022). An observational study in the seasonal variation of colostrum' total solids concentration of dairy cows housed with an evaporative cooling system. In International Scientific Meeting on Colostrum, Las Palmas, Gran Canaria. <http://hdl.handle.net/10174/33622>.

- Collier, R. J., Collier, J. L., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2008). Gene involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science*, 91, 445-454. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0540>.
- Bristow, D. J., & Holmes, D. S. (2007). Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. *Physiology & Behavior*, 90(4), 626-628. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.11.015>.
- De Rensis, F., Garcia-Isprierto, I., & López-Gatius, F. (2015). Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*, 84(5), 659-666. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.04.021>.
- De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - A review. *Theriogenology*, 60(6), 1139-1151. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2).
- De Vries, A., & Marcondes, M. I. (2020). Review: Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14(S1), S155-S164. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003264>.
- Deniz M., Karolini Tenffen de Sousa, Matheus Fernando Moro, M. M. Vale, J. R. Dittrich, L. C. P. M. Filho, M. Hötzl (2021). Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Applied Animal Behaviour Science*, 244(July), 105469. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467>.
- Dimov, D., & Marinov, I. (2021). Factors determining the choice of bedding for freestall housing system in dairy cows farming-a review. *Journal of Central European Agriculture*, 22(1), 1-13. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2778>.
- Dohms, J. E., & Metz, A. (1991). Stress - mechanisms of immunosuppression. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 30(1), 89-109. [https://doi.org/10.1016/0165-2427\(91\)90011-Z](https://doi.org/10.1016/0165-2427(91)90011-Z).
- Drwencke, A. M., Janni, K. A., Graves, R. E., Berry, E. D., Linn, J. G., & Endres, M. I. (2020). Innovative cooling strategies: Dairy cow responses and water and energy use. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5440-5454.

Escarcha, J. F., Lassa, J. A., & Zander, K. K. (2018). Livestock under climate change: A systematic review of impacts and adaptation. *Climate*, 6(3), 1-17. <https://doi.org/10.3390/cli6030054>.

FAO. (2023). Shaping the future of livestock. In The 10th Global Forum for Food and Agriculture (GFFA), Berlin. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4d7eff6c-2846-410d-aa37-5a4fa8b1a0f0/content>.

Feio, M. (1991). Clima e Agricultura: Exigências Climáticas das Principais Culturas e Potencialidade Agrícolas do Nosso Clima. Lisboa, Portugal: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. ISBN 972-9175-25-X.

Fetrow, J., Nordlund, K. V., & Norman, H. D. (2006). Invited review: Culling: Nomenclature, definitions, and recommendations. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 1896–1905. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72257-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72257-3).

Fidler, A. P., & VanDevender, K. Heat stress in dairy cattle. *Agriculture and Natural Resources*.

Finch, V. A. (1986). Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*, 62, 531-542. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622531x>.

Fraser, D. A. (2004). Factors influencing livestock behaviour and performance. Victoria, British Columbia: Rangeland Health Brochure 8.

Garcia, A. B., Angeli, N., Machado, L., Cardoso, F. C., & Gonzalez, F. (2015). Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 47(5), 889–894. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0804-9>.

Gaughan, J. B., Sharman, K., & McGowan, M. R. (2023). The effect of day-only versus day-plus-night cooling of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 5002–17. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22819>.

- Gaughan, J., Lacetera, N., Valtorta, S. E., Khalifa, H. H., Hahn, L., & Mader, T. (2009). Response of domestic animals to climate challenges. In: Ebi, K. L., Burton, I., & McGregor, G. (eds.) *Biometeorology for adaptation to climate variability and change* (pp. 131–170). Springer Science + Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8921-3_7.
- Goswami, S. (2021). Implementation of automatic cooling system for cattle shed and its effect on milk production. *Indian Research Journal of Extension Education*, 21(2 & 3), 137–43.
- Grelet, C., Vanden Dries, V., Leblois, J., Wavreille, J., Mirabito, L., Soyeurt, H., & Dehareng, F. (2022). Identification of chronic stress biomarkers in dairy cows. *Animal*, 16(5), 100502. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100502>.
- Hays, F. L., Armbruster, H., Vetter, W., et al. (1975). Plasma cortisol in cattle: Circadian rhythm and exposure to a simulated high altitude of 5,000 m. *International Journal of Biometeorology*, 19, 127–135. <https://doi.org/10.1007/BF01463869>.
- Heins, B. J., Sharpe, K. T., Buchanan, E. S., & Reese, M. H. (2022). Agrivoltaics to shade cows in a pasture-based dairy system. *AIP Conference Proceedings*, 2635. <https://doi.org/10.1063/5.0103148>.
- Herbut, P., & Angrecka, S. (2018). Relationship between THI level and dairy cows behaviour during summer period. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 226–33. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1333892>.
- Honig, H., Ofer L., Kaim, M., Jacobi, S., Shinder, D. & Gershon, E. (2016). The effect of cooling management on blood flow to the dominant follicle and estrous cycle length at heat stress. *Theriogenology*, 86(2), 626–34. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.02.017>.
- Horowitz, M. (2001). Heat acclimation: Phenotypic plasticity and cues to the underlying molecular mechanisms. *Journal of Thermal Biology*, 26(4-5), 357–363. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00044-4).

- Hu, C., Yang, J., Qi, Z., Wu, H., Wang, B., Zou, F., ... & Liu, Q. (2022). Heat shock proteins: Biological functions, pathological roles, and therapeutic opportunities. *MedComm* (2020), 3(3), e161. <https://doi.org/10.1002/mco2.161>.
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., & Phillips, C. J. C. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals* (Basel), 11(1). <https://doi.org/10.3390/ani11010071>.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... & Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 2014(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Ji, B., Banhazi, T., Wang, C., & Li, B. (2017). PLF technologies: Model development for solving heat stress problems on dairy farms. In 8th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2017, Nantes, France, 821–36.
- Ji, B., Banhazi, T., Perano, K., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C. & Li, B. (2020). A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosystems Engineering*, 199, 4–26. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>.
- Jo, J. H., Jalil, N. G., Dong-Qiao, P., Hye-Ran, K., Sang-Ho, K. & Hong-Gu, L. (2021). Characterization of short-term heat stress in Holstein dairy cows using altered indicators of metabolomics, blood parameters, milk microRNA-216 and characteristics. *Animals*, 11(3), 722. <https://doi.org/10.3390/ani11030722>.
- Johnson, H. D. (1985). Physiological responses and productivity of cattle. In: Yousef, M. K. (ed.), *Stress Physiology in Livestock. Basic Principles* (Vol. 1). Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 4-19.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, 77, 59–91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X).

Kendall, P. E., Nielsen, P. P., Webster, J. R., Verkerk, G. A., Littlejohn, R. P. & Matthews, L. R. (2006). The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science*, 103(1–2), 148–57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.004>.

Lamy, E. (2015). The potential of saliva in animal physiology, nutrition and welfare studies. Paper presented at the 1º Simpósio Nacional: Biomarcadores Em Ciência Animal E Ciências Veterinária - Ma Abordagem Interdisciplinar.

Lamy, E., et al. (2017). Detection of 70 KDa heat shock protein in the saliva of dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 84(3), 280–82. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000280>.

Lendelova, J., et al. (2019). Thermo-technical parameters of the different bedding surfaces in cubicles for dairy cows as a factor of their well-being in winter and summer. ASABE Annual International Meeting, 2–12.

Liu, Z., Ezernieks, V., Wang, J., Arachchillage, N. W., Garner, J. B., Wales, W. J., ... & Rochfort, S. (2017). Heat stress in dairy cattle alters lipid composition of milk. *Scientific Reports*, 7(1), 961. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01120-9>.

Macdiarmid, J. I., & Whybrow, S. (2019). Nutrition from a climate change perspective. *Proceedings of the Nutrition Society*, 78(3), 380–87. <https://doi.org/10.1017/S0029665118002896>.

Manzoor, A., Kalkal, H., Ahuja, R., Argade, A., & Nazir, T. (2021). Effect of heat and cold stress and its management in dairy animals. In: N. Ch. Patra (Ed.), *Advanced Research in Veterinary Sciences (Volume - 1)* (pp. 82–90). Delhi, India: Scripown Publications.

Maurya, V. P., Sejian, V., Kumar, D., & Naqvi, S. M. K. (2019). Impact of heat stress, nutritional stress and their combinations on the adaptive capability of Malpura sheep under hot semi-arid tropical environment. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 7(1), 31–38. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n1p31-38>.

McDowell, R. E., Hooven, N. W., & Camoens, J. K. (1976). Effect of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59(5), 965–73. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(76\)84305-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(76)84305-6)

Medeiros, L. F. D., & Vieira, H. D. (1997). Bioclimatologia animal (Instituto). Ministério da Educação e Cultura.

Monzo, C., Haouzi, D., Roman, K., Assou, S., Dechaud, H., & Hamamah, S. (2012). Slow freezing and vitrification differentially modify the gene expression profile of human metaphase II oocytes. *Human Reproduction*, 27(7), 2160-2168. <https://doi.org/10.1093/humrep/des153>.

Moreira, N. (2002). Agronomia das Forragens e Pastagens; Sector Editorial; Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: Vila Real, Portugal; 183p.

Nasr, M. A. F., & El-Tarabany, M. S. (2017). Impact of three THI levels on somatic cell count, milk yield and composition of multiparous Holstein cows in a subtropical region. *Journal of Thermal Biology*, 64, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.01.004>.

Natani S. R., Ferreira, I. C., Mazocco, L. A., Souza, A. C., Pinho, G., Neto, A., Malaquias, J., Macena, F., Muller, A., Martins, C., Balbino, L. & McManus, C. (2021). “Shade Modifies Behavioral and Physiological Responses of Low to Medium Production Dairy Cows at Pasture in an Integrated Crop-Livestock-Forest System.” *Animals*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/ani11082411>.

Negrón-Pérez, V. M., Fausnacht, D. W., & Rhoads, M. L. (2019). Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 10695-10710. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16718>.

Ortiz, X. A., Choi, C. Y., Collier, R. J., Hernández-Cerón, J., López-Gatius, F., & Zimbelman, R. B. (2015). Evaluation of conductive cooling of lactating dairy cows under controlled environmental conditions. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1759-1771. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8583>.

Overton, M. W., Sischo, W. M., Temple, G. D., & Moore, D. A. (2002). Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*, 85, 2407-2413. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74323-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74323-3).

Pardo, G., & del Prado, A. (2020). Guidelines for small ruminant production systems under climate emergency in Europe. *Small Ruminant Research*, 193, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106261>

Perano, Kristen M., Joseph G. Usack, Largus T. Angenent, and Kifle G. Gebremedhin (2015). Production and Physiological Responses of Heat-Stressed Lactating Dairy Cattle to Conductive Cooling. *Journal of Dairy Science*, 98(8): 5252–61. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8784>.

Pereira, A. M. F. (2004). Adaptação ao ambiente geofísico mediterrâneo de bovinos nativos e exóticos – tolerância ao calor. Tese de Doutoramento em Ciência Agrárias. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Évora, Évora, Portugal. 171 pp. <http://hdl.handle.net/10174/11179>.

Rhoads, M. L. (2023). Review: Reproductive Consequences of Whole-Body Adaptations of Dairy Cattle to Heat Stress. *Animals*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100847>.

Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Marthieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J. & Roser, M. (2023). Population Growth. OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/population-growth> (July 21, 2023).

Roman-Ponce, H., Thatcher, W. W., Buffington, D. E., Wilcox, C. J. e Van Horn, H. H. (1977). Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *Journal of Dairy Science*, 60, 424- 430. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83882-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83882-4).

Roth, Z., and Wolfenson, D. (2016). Comparing the Effects of Heat Stress and Mastitis on Ovarian Function in Lactating Cows: Basic and Applied Aspects. *Domestic Animal Endocrinology*, 56: S218–27. <https://doi.org/10.1016/j.daniend.2016.02.013>.

Rust, J. M. (2019). The Impact of Climate Change on Extensive and Intensive Livestock Production Systems. *Animal Frontiers*, 9(1): 20–25. <https://doi.org/10.1093/af/vfy028>.

Schleger, A. V. e Bean, K.G. (1971). Factor determinig sweating competence of cattle skin. *Australian Journal of Biological Sciences*, 24, 1291–1300. <https://doi.org/10.1071/BI9711291>.

Schüller, L. K., Burfeind, O. e Heuwieser, W. (2014). Impact of Heat Stress on Conception Rate of Dairy Cows in the Moderate Climate Considering Different Temperature-Humidity Index Thresholds, Periods Relative to Breeding, and Heat Load Indices. *Theriogenology* 81(8): 1050–57. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.029>.

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., e Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12(s2), s431-s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>.

Sejian, V., Shashank, C. G., Silpa, M. V., Madhusoodan, A. P., Devaraj, C., & Koenig, S. (2022). Non-Invasive Methods of Quantifying Heat Stress Response in Farm Animals with Special Reference to Dairy Cattle. *Atmosphere*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/atmos13101642>.

Serrano, J., Shahidian, S., Da Silva, J. M., Paixão, L., Carreira, E., Pereira, A., & Carvalho, M. (2020). Climate changes challenges to the management of mediterranean montado ecosystem: Perspectives for use of precision agriculture technologies. *Agronomy*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy10020218>.

Sha, T., Rivas, R. M. O., Marins, T. N., Chen, Yun-Chu, Gao, J. & Bernard, J. K. (2020). Impact of Heat Stress on Lactational Performance of Dairy Cows. *Theriogenology*, 150: 437–44. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>.

Sharpe, K. T., Heins, B. J. Buchanan, E. S. and Reese, M. H. (2021). Evaluation of Solar Photovoltaic Systems to Shade Cows in a Pasture-Based Dairy Herd. *Journal of Dairy Science*, 104(3): 2794–2806. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18821>.

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*, 117(3–4): 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.04.013>.

Shoshani, E., and Hetzroni, A. (2013). Optimal Barn Characteristics for High-Yielding Holstein Cows as Derived by a New Heat-Stress Model. *Animal*, 7(1): 176–82. <https://doi.org/10.1017/S175173112001085>.

Silva, F., Pinheiro, C., Cachucho, I., Matos, C., Geraldo, A., Lamy, E., Capela e Silva, F., Infante, P. & Pereira A. (2018). Physiological Variations in the Seasonal Acclimatisation Process – Study in Dairy Cows with Different Milk Yield Potencial. *Revista Portuguesa de Zootecnia*, 3(1): 153–61. <http://hdl.handle.net/10174/24467>.

Silva, S. R., Araujo, J. P., Guedes, C., Silva, F., Almeida, M. & Cerqueira, J. L. (2021). Precision Technologies to Address Dairy Cattle Welfare: Focus on Lameness, Mastitis and Body Condition. *Animals*, 11(8): 1–17. <https://doi.org/10.3390/ani11082253>.

Sørensen, J. G. (2010). Application of heat shock protein expression for detecting natural adaptation and exposure to stress in natural populations. *Current Zoology*, 56(6), 703–713. <https://doi.org/10.1093/czoolo/56.6.703>.

Stefanska, B., Sobolewska, P., Fievez, V., Pruszynska-Oszmałek, E., Purwin, C. & Nowak, W. (2023). The Impact of Heat Stress on Performance, Fertility, and Adipokines Involved in Regulating Systemic Immune Response during Lipolysis of Early Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23804>.

Taba, M., Jr., Kinney, J., Kim, A. S., e Giannobile, W. V. (2005). Diagnostic biomarkers for oral and periodontal diseases. *Dental Clinics of North America*, 49(3), 551-571, vi. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2005.03.009>.

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*, 94(12): 5976–86. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4329>.

Tian, H., Zheng, N., Wang, W., Cheng, J., Li, S., Zhang, Y., e Wang, J. (2016). Integrated Metabolomics Study of the Milk of Heat-stressed Lactating Dairy Cows. *Sci Rep*, 6, 24208. <https://doi.org/10.1038/srep24208>.

Tucker, C. e Schütz, K. (2009). Behavioral responses to heat stress: dairy cows tell the story. In: Western Dairy Nutrition Conference. Tempe, Arizona, pp. 13–21.

Udo, H. M. J. (1978). Hair coat characteristics in Friesian heifers in the Netherlands and in Kenya. Wageningen, Holanda, H. Veenman e Zonen B.V.

UN (United Nations) (2023) Press Conference by Secretary- General Antonio Guterres at United Nations Headquarters. SG/SM/21893 27 July 2023.

Valverde, P., Serralheiro, R., Carvalho, M. de Shahidian, S., & Rodrigues, C. (2014). Efeitos das alterações climáticas nas necessidades úteis de rega na bacia do Guadiana. Revista Recursos Hídricos, 35(1), 53–67. <https://doi.org/10.5894/rh35n1-4>.

Wang J., Guan Y., Wu L., Guan X., Cai W., Huang J., Dong W., & Zhang, B. (2021). Changing Lengths of the Four Seasons by Global Warming. Geophysical Research Letters, 48(6): 1–9. <https://doi.org/10.1029/2020GL091753>.

Yousef, M. K. (1985). Basic Principles. Stress Physiology in Livestock, Vol. 1. Boca Raton, Flórida, CRC Press.

ISBN:

9780849356674, 9780849356681, 9780849356698, 0849356679, 0849356687, 0849356695

Yue, S., Ding, S., Zhou, J., Yang, C., Hu, X., Zhao, X., Wang, Z., Wang, L., Peng Q., & Xue, B. (2020). Metabolomics Approach Explore Diagnostic Biomarkers and Metabolic Changes in Heat-Stressed Dairy Cows. Animals (Basel), 10(10). <https://doi.org/10.3390/ani10101741>.