v7.n12.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO NA EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE VACAS LEITEIRAS: REVISÃO DA LITERATURA

EFFECTS OF HEAT STRESS ON REPRODUCTIVE EFFICIENCY IN DAIRY COWS: A LITERATURE REVIEW

IMPACTO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS: REVISIÓN DE LA LITERATURA

Daniel Rodrigues Silva[1], Graziely de Souza Silva, Bruno dos Santos Silva, João Gabriel Gazzinelli Carvalho, Gabriel Espíndola Cordeiro, João Pedro Campinhos Galvão, José Carlos Cardoso

https://doi.org/10.47820/recima21.v7i12.9324

PUBLICADO: 12/2026

RESUMO

A bovinocultura leiteira possui relevância socioeconômica, mas a obtenção de índices produtivos e reprodutivos satisfatórios é influenciada por diversos fatores, incluindo o estresse térmico, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Este estudo teve como objetivo analisar os impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, considerando os mecanismos fisiológicos envolvidos, as consequências reprodutivas e as estratégias de mitigação descritas na literatura. Realizou-se uma revisão de literatura, de abordagem qualitativa e exploratória, com levantamento bibliográfico de publicações de 2022 a 2026. Os estudos examinados relacionam o estresse térmico a alterações endócrinas, metabólicas, cardiovasculares, celulares e comportamentais, com possíveis efeitos sobre a foliculogênese, a qualidade oocitária, a manifestação do estro, a sobrevivência embrionária e a manutenção da gestação. Vacas de alta produção podem apresentar maior sensibilidade ao calor devido à maior produção de calor metabólico associada à lactação. Conclui-se que o estresse térmico está associado à redução da eficiência reprodutiva, e que estratégias ambientais, nutricionais, genéticas e de manejo reprodutivo podem contribuir para minimizar seus efeitos, conforme as condições de cada sistema de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Estresse térmico. Eficiência reprodutiva. Vacas leiteiras. Alimentação.

ABSTRACT

Dairy cattle farming is socioeconomically important, but achieving satisfactory productive and reproductive performance is influenced by several factors, including heat stress, particularly in tropical and subtropical regions. This study aimed to analyze the effects of heat stress on the reproductive efficiency of dairy cows, considering the physiological mechanisms involved, reproductive consequences, and mitigation strategies described in the literature. A qualitative, exploratory literature review was conducted using publications from 2022 to 2026. The studies reviewed associate heat stress with endocrine, metabolic, cardiovascular, cellular, and behavioral changes that may affect folliculogenesis, oocyte quality, estrus expression, embryonic survival, and pregnancy maintenance. High-producing cows may be more sensitive to heat because lactation increases metabolic heat production. It is concluded that heat stress is associated with reduced reproductive efficiency and that environmental, nutritional, genetic, and reproductive-management strategies may help mitigate its effects, depending on the conditions of each production system.

[1] Centro Universitário de Caratinga.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KEYWORDS: *Heat stress. Reproductive efficiency. Dairy cows. Nutrition.*

RESUMEN
La producción lechera tiene relevancia socioeconómica, pero la obtención de resultados productivos y reproductivos satisfactorios está condicionada por diversos factores, incluido el estrés térmico, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Este estudio tuvo como objetivo analizar los efectos del estrés térmico sobre la eficiencia reproductiva de las vacas lecheras, considerando los mecanismos fisiológicos, las consecuencias reproductivas y las estrategias de mitigación descritas en la literatura. Se realizó una revisión bibliográfica cualitativa y exploratoria de publicaciones de 2022 a 2026. Los estudios examinados relacionan el estrés térmico con alteraciones endocrinas, metabólicas, cardiovasculares, celulares y conductuales que pueden afectar la foliculogénesis, la calidad de los ovocitos, la expresión del celo, la supervivencia embrionaria y el mantenimiento de la gestación. Las vacas de alta producción pueden ser más sensibles al calor debido al aumento de la producción de calor metabólico asociado con la lactancia. Se concluye que el estrés térmico está asociado con una menor eficiencia reproductiva y que las estrategias ambientales, nutricionales, genéticas y de manejo reproductivo pueden contribuir a mitigar sus efectos, según las condiciones de cada sistema de producción.

PALABRAS CLAVE*: Estrés térmico. Eficiencia reproductiva. Vacas lecheras. Alimentación.*

1. INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira configura-se, no cenário contemporâneo, como um dos pilares socioeconômicos de maior relevância para o agronegócio brasileiro e mundial, sendo responsável por suprir uma demanda global crescente por proteína de elevada qualidade biológica (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). Não obstante, a consecução de índices produtivos e reprodutivos satisfatórios nessa atividade defronta-se com obstáculos de ordem multifatorial, dentre os quais se destaca, com especial proeminência, o estresse térmico calórico (ETC), mormente em regiões de clima tropical e subtropical, onde temperaturas elevadas e umidade relativa do ar acentuada concorrem para a instauração de um ambiente térmico adverso ao bem-estar e à homeostase fisiológica dos bovinos leiteiros (Araújo *et al.*, 2025; Ferreira; Titto, 2023). Diante desse contexto, estabelece-se a seguinte questão de pesquisa: qual é o impacto do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras?

O estresse térmico, conceituado como a condição em que a dissipação de calor corporal pelo animal torna-se insuficiente para manter a normotermia, desencadeia uma cascata de respostas adaptativas que, embora inicialmente voltadas à sobrevivência, culminam em prejuízos substanciais à eficiência reprodutiva (Bento; Limberger, 2025). Tais prejuízos manifestam-se por meio de alterações endócrinas, celulares e comportamentais que comprometem desde a foliculogênese e a qualidade oocitária até a manifestação do estro, a taxa de concepção e a manutenção da gestação (Da Silva Campos *et al.*, 2026; Lopes, 2022).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A relevância do tema intensifica-se diante das projeções climáticas que indicam elevação da temperatura média global e intensificação de eventos extremos de calor, conforme apontado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Silva *et al.*, 2024). Nesse contexto, compreender os mecanismos fisiopatológicos pelos quais o estresse térmico influencia a biologia reprodutiva de fêmeas bovinas torna-se imperativo para a formulação de estratégias mitigadoras que assegurem a sustentabilidade produtiva, o bem-estar animal e a viabilidade econômica da atividade leiteira (Vaz, 2025).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, abordando os mecanismos fisiológicos envolvidos, as consequências reprodutivas observadas e as estratégias de mitigação preconizadas pela literatura científica contemporânea.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Mecanismos fisiológicos do estresse térmico em bovinos leiteiros

A compreensão dos mecanismos fisiológicos subjacentes ao estresse térmico em bovinos leiteiros constitui premissa fundamental para a elucidação de seus impactos sobre a eficiência reprodutiva. Os bovinos, enquanto animais homeotérmicos, dependem de mecanismos termorregulatórios para manter a temperatura corporal dentro de limites compatíveis com a homeostase metabólica (Ferreira; Titto, 2023). Contudo, quando a temperatura ambiente ultrapassa a zona de termoneutralidade, particularmente em condições de elevada umidade relativa do ar, a capacidade de dissipação de calor por vias sensíveis (condução, convecção e radiação) torna-se insuficiente, exigindo a ativação de mecanismos de perda de calor latente, especialmente por evaporação cutânea e respiratória (Salvador, 2026).

Nesse cenário, a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) assume papel central na resposta ao estresse térmico, resultando na liberação de glicocorticoides, notadamente o cortisol, que, em concentrações elevadas, exercem efeitos supressores sobre o eixo hipotálamo-hipófise-gonadal (HHG) (Da Silva Campos *et al.*, 2026). Essa interação neuroendócrina pode comprometer a pulsatilidade da secreção do hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH), com consequente redução na liberação de hormônio luteinizante (LH) e hormônio folículo-estimulante (FSH), o que acarreta prejuízos à foliculogênese, à ovulação e à esteroidogênese ovariana (Araújo *et al.*, 2025; Lima, 2022).

O estresse térmico induz alterações metabólicas significativas, incluindo alcalose respiratória decorrente da hiperventilação, redução do consumo de matéria seca (CMS) e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

desequilíbrios no pH ruminal, os quais concorrem para um balanço energético negativo que agrava sobremaneira o desempenho reprodutivo (Bento; Limberger, 2025). A redução da ingestão alimentar, embora represente uma estratégia adaptativa para diminuir a termogênese, resulta em escassez de nutrientes essenciais à manutenção das funções reprodutivas, especialmente em animais de elevada produção leiteira, cujas exigências metabólicas são substancialmente maiores (Ferreira; Titto, 2023; Vaz, 2025).

Ademais, a expressão de proteínas de choque térmico Heat Shock Proteins (HSPs), particularmente a Hsp70, tem sido objeto de investigação enquanto marcador molecular da resposta ao estresse térmico e potencial indicador de termotolerância (Lima, 2022). Polimorfismos no gene codificador da Hsp70 têm sido associados a variações na eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, sugerindo que a seleção genética assistida por marcadores moleculares pode constituir estratégia promissora para a mitigação dos efeitos deletérios do calor (Lima, 2022).

A dimensão comportamental do estresse térmico também merece destaque, uma vez que a busca por sombra, o aumento do tempo em pé e a redução da atividade de ruminação configuram-se como respostas adaptativas que, embora visem à dissipação de calor, podem comprometer o bem-estar animal e a eficiência produtiva (Salvador, 2026). Tais alterações comportamentais, quando persistentes, concorrem para a redução da ingestão alimentar e para o agravamento do balanço energético negativo, perpetuando um ciclo vicioso que impacta negativamente a reprodução (Bento; Limberger, 2025).

Outrossim, a exposição crônica a temperaturas elevadas induz adaptações no sistema cardiovascular, incluindo aumento da frequência cardíaca e redistribuição do fluxo sanguíneo periférico para vias de dissipação térmica, o que pode reduzir a perfusão uterina e ovariana (Araújo *et al.*, 2025). Essa alteração hemodinâmica compromete o aporte de oxigênio e nutrientes aos tecidos reprodutivos, com potenciais consequências sobre a foliculogênese e a manutenção da gestação (Da Silva Campos *et al.*, 2026).

No nível celular, o estresse térmico desencadeia respostas associadas ao choque térmico que incluem a ativação de vias de sinalização pró-inflamatórias e o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais, em excesso, superam a capacidade antioxidante endógena e induzem danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). Tais danos comprometem a integridade funcional de células da granulosa e do oócito, reduzindo a competência oocitária e a viabilidade embrionária (Lima, 2022).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No que tange ao sistema endócrino, a supressão do eixo HHG pelo estresse térmico manifesta-se também por alterações na secreção de leptina e insulina, hormônios metabolicamente relevantes que modulam a função reprodutiva (Ferreira; Titto, 2023). A desregulação desses hormônios agrava o balanço energético negativo e compromete a sinalização hipotalâmica necessária à pulsatilidade do GnRH, perpetuando os prejuízos reprodutivos (Vaz, 2025).

Destarte, a interação entre estresse térmico e sanidade animal não pode ser negligenciada, uma vez que a imunossupressão induzida pelo calor aumenta a susceptibilidade a infecções uterinas e mastites, as quais, por sua vez, comprometem a eficiência reprodutiva e prolongam o intervalo parto-concepção (Silva *et al.*, 2024). A compreensão integrada desses mecanismos fisiopatológicos é, portanto, indispensável para a formulação de estratégias mitigadoras eficazes (Bento; Limberger, 2025).

2.2. Impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva

Os efeitos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras manifestam-se de forma abrangente e sinérgica, comprometendo desde eventos precoces da foliculogênese até etapas tardias da gestação. A literatura científica tem documentado, de maneira consistente, que a exposição a temperaturas elevadas, especialmente quando o índice de temperatura e umidade (ITU) ultrapassa o limiar de 68, está associada a reduções significativas nas taxas de concepção, aumento das perdas embrionárias precoces e prolongamento do intervalo entre partos (Araújo *et al.*, 2025; Vaz, 2025).

No que concerne à dinâmica folicular, o estresse térmico compromete a qualidade oocitária por meio de mecanismos que incluem alterações na maturação nuclear e citoplasmática, aumento da produção de EROs e indução de apoptose em células da granulosa (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). Portanto, as alterações resultam em oócitos com menor viabilidade, o que se reflete negativamente nas taxas de fertilização e no desenvolvimento embrionário subsequente (Da Silva Campos *et al.*, 2026).

A manifestação do estro também é substancialmente afetada pelo estresse térmico, uma vez que a redução na secreção de estradiol, decorrente da supressão do eixo HHG, compromete a expressão dos sinais comportamentais característicos do cio, dificultando a detecção e, por conseguinte, reduzindo as taxas de serviço e de concepção (Bento; Limberger, 2025; Lopes, 2022). Franco, Campos e Dos Santos (2022) demonstraram que vacas leiteiras mestiças cujos partos ocorreram nas estações mais quentes e úmidas do ano apresentaram intervalo parto-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

concepção significativamente maior em relação àquelas que pariram no outono-inverno, evidenciando o efeito sazonal do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva.

No que tange à sobrevivência embrionária, o estresse térmico exerce efeitos citotóxicos diretos sobre o concepto, especialmente durante as fases iniciais do desenvolvimento, quando a termossensibilidade é máxima (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). Aliado a isto, alterações no ambiente uterino, incluindo modificações no fluxo sanguíneo, na composição das secreções e na expressão de genes relacionados à receptividade endometrial, comprometem a implantação e a manutenção da gestação (Araújo *et al.*, 2025).

Os impactos reprodutivos do estresse térmico apresentam variação intrinsecamente relacionada ao perfil produtivo dos animais. Vacas de elevada produção leiteira, em razão do maior calor metabólico gerado pela lactação, demonstram maior termossensibilidade e, consequentemente, maiores prejuízos reprodutivos quando submetidas a condições térmicas adversas (Lopes, 2022; Silva *et al.*, 2024). Nulíparas, por outro lado, embora termossensíveis, apresentam melhores taxas de concepção em comparação a primíparas e multíparas em lactação, provavelmente em decorrência da ausência do ônus metabólico imposto pela produção leiteira (Lopes, 2022).

A qualidade do leite produzido também sofre repercussões indiretas do estresse térmico, uma vez que a redução na ingestão de matéria seca e as alterações metabólicas comprometem a síntese de componentes lácteos, notadamente a lactose e a proteína (Silva *et al.*, 2024). Embora tais alterações não se configurem como efeitos reprodutivos diretos, elas evidenciam o caráter sistêmico do estresse térmico e sua capacidade de comprometer múltiplas funções fisiológicas simultaneamente (Bento; Limberger, 2025).

No nível hormonal, a redução na secreção de progesterona, hormônio essencial à manutenção da gestação, tem sido documentada em vacas submetidas a estresse térmico, o que contribui para o aumento das perdas gestacionais precoces e para a redução das taxas de parição (Da Silva Campos e*t al.,* 2026). A progesterona exerce papel fundamental na regulação da receptividade endometrial e na modulação da resposta imune uterina, de modo que sua deficiência compromete sobremaneira a viabilidade da gestação (Lima, 2022).

Outrossim, o estresse térmico tem sido associado a alterações na expressão de genes relacionados à angiogênese e à remodelação tecidual no corpo lúteo, o que pode comprometer a funcionalidade dessa estrutura e, por conseguinte, a síntese de progesterona (Araújo *et al.*, 2025). Esse achado reforça a complexidade das interações entre temperatura ambiental e fisiologia reprodutiva, evidenciando que os efeitos do calor se estendem para além dos eventos foliculares e embrionários (Vaz, 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Adicionalmente, a duração e a intensidade do estresse térmico exercem influência sobre a magnitude dos prejuízos reprodutivos, sendo que exposições prolongadas tendem a resultar em consequências mais severas e duradouras (Salvador, 2026). A capacidade de recuperação da função reprodutiva após a cessação do estresse depende de fatores como a idade do animal, o estágio fisiológico e o estado nutricional, o que evidencia a necessidade de intervenções precoces e assertivas (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024).

Destarte, cumpre destacar que os impactos do estresse térmico sobre a reprodução não se restringem ao período de exposição, podendo estender-se por semanas ou meses após a cessação do calor, em decorrência de alterações epigenéticas e de programação metabólica que afetam a função ovariana a longo prazo (Silva *et al.*, 2024). Essa característica reforça a importância de estratégias preventivas e do monitoramento contínuo dos parâmetros reprodutivos em rebanhos expostos a condições térmicas adversas (Bento; Limberger, 2025).

2.3. Estratégias de mitigação do estresse térmico e seus efeitos sobre a reprodução

A mitigação dos efeitos deletérios do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras requer a adoção de estratégias multifacetadas que integrem intervenções ambientais, nutricionais, genéticas e de manejo reprodutivo. A literatura científica tem preconizado, de maneira consensual, que a combinação de medidas é mais eficaz do que a implementação isolada de cada uma delas (Bento; Limberger, 2025; Vaz, 2025).

No âmbito das intervenções ambientais, o sombreamento natural ou artificial constitui a primeira linha de defesa contra a radiação solar direta, reduzindo a carga térmica incidente sobre os animais (Salvador, 2026). A ventilação forçada, por sua vez, promove a renovação do ar e a dissipação de calor por convecção, enquanto a aspersão de água sobre a superfície corporal potencializa a perda de calor por evaporação (Vaz, 2025). Salvador (2026) demonstrou que uma sessão diária de aspersão, mesmo em vacas secas mantidas sob sombra e ventilação forçada, promoveu redução imediata dos indicadores respiratórios de estresse térmico, embora de forma transitória.

Vaz (2025), por sua vez, evidenciou que um sistema de climatização por ventilação e aspersão resultou em aumento significativo da produção de leite (+0,360 L/vaca/dia) e do CMS (+0,510 kg/vaca/dia) em condições de ITU ≥ 68, além de melhorias na detecção de cios e na taxa de gestação mensal. No que concerne às estratégias nutricionais, ajustes na dieta que visem à manutenção do consumo de matéria seca e à correção dos desequilíbrios metabólicos induzidos pelo estresse térmico assumem relevância capital (Bento; Limberger, 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A suplementação com antioxidantes, minerais e vitaminas tem sido proposta como forma de mitigar o estresse oxidativo e suas consequências sobre a qualidade oocitária e a sobrevivência embrionária (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). A seleção genética para termotolerância emerge como estratégia de longo prazo particularmente promissora, especialmente considerando a menor adaptação de determinadas raças europeias, como a Holandesa, às condições climáticas tropicais (Da Silva Campos *et al.*, 2026; Lima, 2022).

A identificação de polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) em genes relacionados à resposta ao estresse térmico, como o gene Hsp70, tem aberto perspectivas para a seleção assistida por marcadores moleculares, visando à obtenção de animais mais resilientes às condições térmicas adversas (Lima, 2022). Silva *et al.* (2024) reforçam que o desenvolvimento de indivíduos mais resilientes constitui componente indispensável para a sustentabilidade da produção animal em cenários de aquecimento global.

No tocante às biotecnologias reprodutivas, a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) tem sido amplamente adotada como ferramenta para contornar as dificuldades de detecção de estro em condições de estresse térmico, permitindo a programação de inseminações em momentos estrategicamente definidos (Franco; Campos; Dos Santos, 2022; Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024). Contudo, cumpre ressaltar que, embora a IATF facilite o manejo reprodutivo, seus resultados podem ser comprometidos pelo estresse térmico quando as temperaturas permanecem elevadas durante o período de execução dos protocolos (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024).

Lopes (2022) observou que vacas multíparas submetidas à IATF apresentaram taxa de concepção inferior àquelas inseminadas após detecção de estro, evidenciando a complexidade das interações entre estresse térmico, protocolos hormonais e eficiência reprodutiva. Adicionalmente, a adequação do calendário reprodutivo às variações climáticas sazonais tem sido preconizada como estratégia de manejo para concentrar os partos em estações mais favoráveis, minimizando a exposição das vacas a condições térmicas adversas durante períodos críticos da gestação e do pós-parto (Franco; Campos; Dos Santos, 2022; Silva *et al.*, 2024).

Franco, Campos e Dos Santos (2022) demonstraram que vacas leiteiras mestiças que pariram na primavera-verão apresentaram intervalo parto-concepção significativamente maior do que aquelas que pariram no outono-inverno, corroborando a importância do planejamento reprodutivo sazonal. A implementação de sistemas de resfriamento evaporativo, que combinam ventilação e aspersão de água, tem se consolidado como uma das estratégias mais eficazes para a mitigação do estresse térmico em vacas leiteiras, especialmente em regiões de clima quente e seco (Vaz, 2025). Esses sistemas promovem a redução da temperatura ambiente e da

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

carga térmica radiante, proporcionando condições mais favoráveis à termorregulação e, consequentemente, à manutenção das funções produtivas e reprodutivas (Salvador, 2026).

Outra abordagem relevante diz respeito ao manejo alimentar estratégico, que inclui a oferta de dietas com maior densidade energética e a distribuição dos alimentos em horários de menor temperatura ambiente, visando minimizar a redução do consumo de matéria seca e suas consequências metabólicas (Bento; Limberger, 2025). A inclusão de aditivos alimentares, como tamponantes e antioxidantes, também tem sido recomendada para mitigar os efeitos da acidose ruminal e do estresse oxidativo induzidos pelo calor (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024).

A utilização de sombreamento natural, por meio de árvores ou de estruturas artificiais, constitui medida de baixo custo e elevada eficácia na redução da carga térmica incidente sobre os animais, especialmente em sistemas de produção extensivos ou semi-intensivos (Silva *et al.*, 2024). A presença de sombra adequada está associada à redução da frequência respiratória, da temperatura retal e do escore de ofegação, indicadores diretos do conforto térmico animal (Salvador, 2026).

No que se refere ao manejo reprodutivo, a adoção de protocolos de IATF associados a estratégias de resfriamento pré e pós-inseminação tem demonstrado resultados promissores na melhoria das taxas de concepção em condições de estresse térmico (Franco; Campos; Dos Santos, 2022). A sincronização precisa do momento da ovulação, aliada à mitigação do estresse calórico, contribui para a otimização da fertilização e para a redução das perdas embrionárias precoces (Peiter; Strege; De Souza Rosa, 2024).

A seleção de raças e linhagens geneticamente adaptadas ao clima tropical, como o Girolando e outras cruzas de Bos taurus e Bos indicus, tem se mostrado estratégia eficaz para a melhoria da termotolerância e da eficiência reprodutiva em ambientes quentes (Da Silva Campos *et al.*, 2026). A identificação de marcadores moleculares associados à termotolerância, como os SNPs no gene Hsp70, abre perspectivas para a seleção assistida e para o desenvolvimento de animais mais resilientes (Lima, 2022).

Finalmente, a adoção de práticas de monitoramento contínuo dos indicadores de estresse térmico, como o ITU, a frequência respiratória e a temperatura retal, permite a implementação oportuna de medidas mitigadoras e a avaliação da eficácia das estratégias adotadas (Vaz, 2025). A integração de tecnologias de automação e sensoriamento remoto tem potencial para otimizar o manejo do estresse térmico e melhorar os índices reprodutivos em sistemas de produção leiteira (Silva *et al.*, 2024).

Portanto, a mitigação dos impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras demanda uma abordagem holística e integrada, que contemple desde

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

intervenções ambientais imediatas até estratégias genéticas de longo prazo, passando por ajustes nutricionais e manejo reprodutivo criterioso. A compreensão da complexidade das interações entre temperatura ambiental, fisiologia animal e desempenho reprodutivo é condição *sine qua non* para a formulação de estratégias eficazes e sustentáveis, especialmente diante do cenário de mudanças climáticas que se delineia para as próximas décadas (Silva *et al.*, 2024; Vaz, 2025).

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão de literatura, de cunho qualitativo e exploratório, realizada com o propósito de analisar os impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras. A pesquisa foi conduzida por meio de levantamento bibliográfico em bases de dados científicas, incluindo BVS, PHilPaper, Universidade de Évora, Saúde em Foco, Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, Revista Científica de Medicina Veterinária do Uniceplac, Zootecnia Sustentável, Ciência Animal e Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio, abrangendo publicações compreendidas entre os anos de 2022 a 2026.

Inicialmente, foram identificados 21 artigos potencialmente relevantes para a temática proposta, mediante a utilização de descritores como "estresse", "eficiência reprodutiva", "térmico", "vacas" e "estresse calórico". A partir desse levantamento inicial, procedeu-se à aplicação de critérios de exclusão, que consistiram na eliminação de estudos duplicados, de publicações que não abordavam diretamente a relação entre estresse térmico e reprodução de bovinos leiteiros, de artigos cujo texto completo não estava disponível e de trabalhos que não apresentavam dados ou discussões pertinentes ao objetivo desta revisão. Após essa triagem, restaram 11 artigos, os quais foram submetidos à aplicação dos critérios de inclusão, a saber: publicações nos idiomas português ou inglês, estudos que abordassem de forma específica os mecanismos fisiológicos, os impactos reprodutivos ou as estratégias de mitigação do estresse térmico em vacas leiteiras, e trabalhos publicados em periódicos com corpo editorial e revisão por pares.

Ao final do processo de seleção, foram incluídos 11 artigos que atenderam integralmente aos critérios estabelecidos, os quais constituíram o corpus bibliográfico desta revisão. A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, por meio de leitura exploratória, seletiva, analítica e interpretativa dos textos, visando à identificação de convergências, divergências e lacunas no conhecimento produzido sobre a temática. Os resultados foram organizados em três eixos temáticos, a saber: mecanismos fisiológicos do estresse térmico em bovinos leiteiros, impactos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva e estratégias de mitigação do estresse térmico e seus efeitos sobre a reprodução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese dos estudos selecionados permitiu a construção de um panorama abrangente acerca dos impactos do estresse térmico sobre a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, evidenciando convergências teóricas e metodológicas que corroboram a relevância do tema. O Quadro 1 apresenta, de forma sistematizada, os autores e anos das publicações, os objetivos perseguidos, as metodologias empregadas e os principais resultados obtidos, possibilitando a visualização comparativa das contribuições de cada estudo para a compreensão do fenômeno investigado.

Quadro 1. Síntese dos estudos incluídos na revisão: autores e ano, objetivo, metodologia e resultados

Autores e Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Araújo *et al.* (2025)	Analisar os impactos do estresse térmico sobre a fisiologia reprodutiva de fêmeas bovinas em clima tropical.	Revisão de literatura.	O estresse térmico compromete a homeostase, reduz a atividade ovariana, altera a secreção de LH e FSH, diminui a manifestação do estro e a qualidade oocitária, resultando em queda nas taxas de concepção e aumento das perdas embrionárias.
Bento; Limberger (2025)	Analisar o impacto do estresse térmico na produção de vacas leiteiras, destacando efeitos fisiológicos, produtivos e econômicos.	Revisão de literatura.	O estresse térmico compromete o crescimento folicular, a persistência embrionária e a qualidade do colostro, além de provocar alcalose respiratória, redução do consumo de matéria seca e desequilíbrios no pH ruminal. A combinação de sombreamento, ventilação, aspersão e ajustes nutricionais é a abordagem mais eficaz.
Da Silva Campos *et al.* (2026)	Caracterizar os impactos do estresse térmico na reprodução	Revisão de literatura.	A baixa adaptabilidade de animais de clima temperado ao calor tropical culmina em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	de vacas da raça Holandesa criadas no Brasil.		alterações fisiológicas, endócrinas e comportamentais, com aumento da atividade do eixo HHA e supressão do eixo HHG, resultando em queda acentuada da fertilidade.
Ferreira; Titto (2023)	Realizar coletânea de conhecimentos sobre os efeitos do estresse térmico em vacas leiteiras lactantes e formas de amenizar seus efeitos.	Revisão de literatura.	Altas temperaturas por períodos prolongados reduzem o consumo de alimentos e o índice produtivo, com maior sensibilidade de animais de leite em comparação aos de corte, devido à maior produção de calor interno durante gestação e lactação.
Franco; Campos; Dos Santos (2022)	Avaliar os efeitos da estação do ano ao parto sobre a taxa de concepção à primeira inseminação pós-parto e o intervalo parto-concepção de vacas leiteiras mestiças.	Estudo observacional em sete fazendas de Ituiutaba/MG, com 841 partos de 581 vacas, analisados por PROC GLIMMIX do SAS.	A estação do ano ao parto não interferiu na taxa de concepção à primeira IA pós-parto, mas vacas que pariram na primavera-verão apresentaram intervalo parto-concepção significativamente maior em relação às que pariram no outono-inverno.
Lima (2022)	Identificar polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) na região promotora e 5'UTR do gene Hsp70 e avaliar associações com a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras.	Coleta de sangue de 71 vacas Girolando no nordeste do Pará, extração de DNA e identificação de polimorfismos do gene HSP70.	Foram identificados 9 SNPs (6 na região promotora e 3 na 5'UTR). Diferenças significativas foram observadas para TC1º FREQ%, DPP e outras variáveis reprodutivas, indicando que a região promotora e 5'UTR do gene HSP70 podem ser consideradas candidatas em seleção assistida por marcadores moleculares.
Lopes (2022)	Avaliar a taxa de concepção de vacas leiteiras sob influência da produção de leite e estresse térmico ambiental.	Estudo com 250 fêmeas Holandesas, totalizando 1.238 observações, agrupadas em cinco classes térmicas ambientais.	Nulíparas apresentaram melhores taxas de concepção em comparação a primíparas e multíparas. Vacas multíparas em lactação sofreram interferência negativa da produção de leite, com diminuição da taxa de concepção à medida que a produção e o THId aumentam.
Peiter; Strege; De	Avaliar a relação entre o estresse térmico	Análise de resultados de	Observou-se correlação negativa entre altas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Souza Rosa (2024)	calórico e a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras.	protocolos de IATF em 43 vacas das raças Holandesa e Jersey em propriedade de Riqueza/SC, de fevereiro a outubro.	temperaturas e taxas de concepção, com redução da qualidade oocitária, da viabilidade embrionária e da eficiência hormonal. A infraestrutura inadequada agravou os efeitos do estresse térmico.
Salvador (2026)	Avaliar os efeitos de uma sessão diária de aspersão sobre variáveis fisiológicas e comportamentais de vacas secas mantidas sob sombra e ventilação forçada em compost barn.	Delineamento completamente casualizado com medidas repetidas no tempo, com 45 vacas distribuídas em grupo controle (n=22) e aspersão (n=23).	A aspersão reduziu imediatamente a frequência respiratória e o escore de ofegação, mas a temperatura retal não diferiu entre os tratamentos. Animais submetidos à aspersão apresentaram tendência a menor tempo de ruminação e maior atividade.
Silva *et al.* (2024)	Revisar os impactos das alterações climáticas no bem-estar e produtividade dos bovinos leiteiros.	Revisão bibliográfica.	As alterações climáticas prejudicam a saúde, o bem-estar e a produtividade dos animais, com efeitos negativos na quantidade e composição do leite e na eficiência reprodutiva, incluindo redução nos sinais de estro e na taxa de concepção. A mitigação passa pela implementação de estratégias que atenuem as altas temperaturas e pelo desenvolvimento de indivíduos mais resilientes.
Vaz (2025)	Avaliar o impacto de um sistema de climatização por ventilação e aspersão na produtividade e eficiência reprodutiva de vacas leiteiras.	Análise de dados de 2022 a 2024 em exploração no distrito de Santarém, Portugal.	Observou-se aumento significativo da produção de leite (+0,360 L/vaca/dia) e do CMS (+0,510 kg/vaca/dia) em condições de ITU ≥ 68, além de melhorias na detecção de cios e na taxa de gestação mensal, sem diferenças relevantes na fertilidade global ou na primeira inseminação.

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os estudos analisados convergem, de maneira substancial, para o reconhecimento de que o estresse térmico constitui fator preponderante na deterioração da eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical. Araújo *et al.* (2025), Bento e Limberger (2025) e Da Silva Campos *et al.* (2026) convergem ao afirmarem que a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

exposição a temperaturas elevadas compromete a homeostase fisiológica, desencadeando alterações endócrinas, celulares e comportamentais que se manifestam desde a foliculogênese até a manutenção da gestação. Ferreira e Titto (2023) corroboram essa perspectiva ao evidenciarem que a redução do consumo de matéria seca, decorrente da tentativa de diminuir a termogênese, agrava o balanço energético negativo e compromete as funções reprodutivas, especialmente em animais de elevada produção leiteira. Lopes (2022) e Vaz (2025) também convergem ao demonstrarem que o aumento do índice de temperatura e umidade está associado a reduções significativas nas taxas de concepção, corroborando a existência de um limiar térmico a partir do qual os prejuízos reprodutivos se tornam substanciais.

Tabela 1. Convergências entre os estudos analisados quanto aos impactos do estresse térmico na eficiência reprodutiva de vacas leiteiras

Aspecto Convergente	Autores	Evidência
Comprometimento da homeostase fisiológica	Araújo *et al.* (2025); Bento e Limberger (2025); Da Silva Campos *et al.* (2026)	Alterações endócrinas, celulares e comportamentais que afetam a reprodução
Redução do consumo de matéria seca e balanço energético negativo	Ferreira e Titto (2023); Bento e Limberger (2025); Vaz (2025)	Menor ingestão alimentar e escassez de nutrientes essenciais à reprodução
Queda nas taxas de concepção associada ao ITU elevado	Lopes (2022); Vaz (2025); Araújo *et al.* (2025)	Redução da fertilidade quando o ITU ultrapassa o limiar de 68
Comprometimento da qualidade oocitária	Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024); Da Silva Campos *et al.* (2026); Lima (2022)	Alterações na maturação nuclear e citoplasmática, aumento de EROs e apoptose
Redução na manifestação do estro	Bento e Limberger (2025); Lopes (2022); Franco, Campos e Dos Santos (2022)	Menor secreção de estradiol e dificuldade de detecção do cio
Aumento das perdas embrionárias precoces	Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024); Araújo *et al.* (2025); Da Silva Campos *et al.* (2026)	Efeitos citotóxicos diretos sobre o concepto e alterações no ambiente uterino
Prolongamento do intervalo parto-concepção	Franco, Campos e Dos Santos (2022); Silva *et al.* (2024); Vaz (2025)	Maior intervalo em vacas que pariram

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

		nas estações quentes e úmidas
Maior termossensibilidade de vacas de alta produção	Lopes (2022); Silva *et al.* (2024); Ferreira e Titto (2023)	Maior calor metabólico gerado pela lactação e maiores prejuízos reprodutivos
Eficácia de estratégias integradas de mitigação	Bento e Limberger (2025); Vaz (2025); Salvador (2026)	Combinação de sombreamento, ventilação, aspersão e ajustes nutricionais
Potencial da seleção genética para termotolerância	Lima (2022); Da Silva Campos *et al.* (2026); Silva *et al.* (2024)	Identificação de SNPs no gene Hsp70 e desenvolvimento de animais mais resilientes

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

A convergência entre os autores evidencia que o estresse térmico não atua de forma isolada sobre um único componente da fisiologia reprodutiva, mas desencadeia uma cascata de eventos interconectados que comprometem desde a pulsatilidade da secreção de GnRH até a viabilidade do concepto. Araújo *et al.* (2025) e Da Silva Campos *et al.* (2026) concordam que a supressão do eixo hipotálamo-hipófise-gonadal, mediada pela ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, constitui mecanismo central nesse processo, resultando em redução da secreção de LH e FSH e, consequentemente, em prejuízos à foliculogênese e à ovulação.

Lima (2022) complementa essa perspectiva ao demonstrar que polimorfismos no gene Hsp70 estão associados a variações na eficiência reprodutiva, sugerindo que a resposta molecular ao estresse térmico apresenta variabilidade genética que pode ser explorada em programas de seleção. Ferreira e Titto (2023) e Bento e Limberger (2025) reforçam que a redução do consumo de matéria seca e as alterações metabólicas subsequentes agravam o balanço energético negativo, perpetuando um ciclo vicioso que impacta negativamente a reprodução.

No que concerne às discordâncias, cumpre destacar que Franco, Campos e Dos Santos (2022) observaram que a estação do ano ao parto não interferiu na taxa de concepção à primeira inseminação pós-parto de vacas leiteiras mestiças, embora tenha influenciado o intervalo parto-concepção. Essa constatação diverge parcialmente dos achados de Lopes (2022) e Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024), que relataram reduções significativas nas taxas de concepção associadas ao estresse térmico. Tal divergência pode ser atribuída a diferenças metodológicas, uma vez que Franco, Campos e Dos Santos (2022) avaliaram vacas mestiças, geneticamente

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

mais adaptadas ao clima tropical, enquanto Lopes (2022) e Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024) concentraram-se em raças europeias, como a Holandesa e a Jersey, reconhecidamente mais termossensíveis. Essa observação corrobora a tese de Da Silva Campos *et al.* (2026) de que a adaptabilidade genética constitui fator determinante na magnitude dos prejuízos reprodutivos induzidos pelo calor.

Outra discordância relevante diz respeito à eficácia da aspersão como estratégia isolada de mitigação. Salvador (2026) demonstrou que uma sessão diária de aspersão promoveu redução imediata, porém transitória, dos indicadores respiratórios de estresse térmico em vacas secas, sem alterar a temperatura retal. Vaz (2025), por sua vez, evidenciou que um sistema de climatização por ventilação e aspersão resultou em aumento significativo da produção de leite e do consumo de matéria seca, além de melhorias na detecção de cios e na taxa de gestação mensal. Essa aparente contradição pode ser explicada pelas diferenças nos protocolos de aspersão adotados em sessão única versus sistema contínuo e pelas distintas categorias animais avaliadas, vacas secas versus vacas em lactação. Bento e Limberger (2025) contribuem para a compreensão dessa divergência ao afirmarem que a combinação de medidas é mais eficaz do que a implementação isolada de cada uma delas, o que sugere que a aspersão, quando utilizada de forma isolada e transitória, pode ser insuficiente para promover melhorias substanciais e duradouras na eficiência reprodutiva.

A análise das estratégias de mitigação revela que os autores convergem para a necessidade de abordagens integradas, que combinem intervenções ambientais, nutricionais, genéticas e de manejo reprodutivo. Bento e Limberger (2025) e Vaz (2025) concordam que o sombreamento, a ventilação forçada e a aspersão de água constituem a primeira linha de defesa contra o estresse térmico, enquanto Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024) e Silva *et al.* (2024) destacam a importância de ajustes nutricionais e da suplementação com antioxidantes para mitigar o estresse oxidativo. Lima (2022) e Da Silva Campos *et al.* (2026) convergem ao apontarem a seleção genética para termotolerância como estratégia de longo prazo particularmente promissora, especialmente considerando a baixa adaptabilidade de raças europeias às condições climáticas tropicais. Salvador (2026) e Vaz (2025) contribuem ao demonstrar que o monitoramento contínuo dos indicadores de estresse térmico, como o ITU, a frequência respiratória e a temperatura retal, permite a implementação oportuna de medidas mitigadoras e a avaliação da eficácia das estratégias adotadas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 2. Discordâncias e lacunas identificadas nos estudos analisados

Aspecto Discordante ou Lacunar	Autores	Evidência
Efeito da estação do ano ao parto sobre a taxa de concepção à primeira IA	Franco, Campos e Dos Santos (2022) versus Lopes (2022); Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024)	Franco, Campos e Dos Santos (2022) não observaram interferência na taxa de concepção; Lopes (2022) e Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024) relataram reduções significativas
Eficácia da aspersão isolada na redução da temperatura retal	Salvador (2026) versus Vaz (2025)	Salvador (2026) não observou alteração na temperatura retal; Vaz (2025) evidenciou melhorias produtivas e reprodutivas com sistema de climatização
Influência da produção leiteira sobre a termossensibilidade	Lopes (2022) versus Ferreira e Titto (2023)	Lopes (2022) demonstrou maior termossensibilidade em multíparas; Ferreira e Titto (2023) destacam maior sensibilidade de animais de leite em relação aos de corte
Efeito do estresse térmico sobre a qualidade do leite	Silva *et al.* (2024) versus Bento e Limberger (2025)	Silva *et al.* (2024) atribuem as alterações principalmente à redução da ingestão alimentar; Bento e Limberger (2025) destacam alterações metabólicas mais complexas
Papel da progesterona nas perdas gestacionais	Da Silva Campos *et al.* (2026) versus Lima (2022)	Da Silva Campos *et al.* (2026) enfatizam a redução da secreção de progesterona; Lima (2022) destaca a regulação da receptividade endometrial e da resposta imune uterina
Eficácia da IATF em condições de estresse térmico	Lopes (2022) versus Franco, Campos e Dos Santos (2022)	Lopes (2022) observou menor taxa de concepção com IATF; Franco, Campos e Dos Santos (2022) não detectaram interação entre tipo de serviço e estação do ano
Efeitos epigenéticos de longo prazo	Silva *et al.* (2024) versus outros autores	Silva *et al.* (2024) mencionam alterações epigenéticas; os demais autores não aprofundam essa dimensão
Monitoramento contínuo com tecnologias de automação	Vaz (2025) versus Silva *et al.* (2024)	Vaz (2025) e Silva *et al.* (2024) mencionam sensoriamento remoto, mas não apresentam dados empíricos
Interação entre estresse térmico e sanidade uterina	Silva *et al.* (2024) versus Bento e Limberger (2025)	Silva *et al.* (2024) destacam imunossupressão e infecções uterinas; Bento e Limberger (2025) não aprofundam essa relação

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

As discordâncias identificadas entre os estudos analisados não invalidam a robustez das evidências sobre os impactos do estresse térmico na eficiência reprodutiva, mas evidenciam a complexidade do fenômeno e a influência de fatores metodológicos, genéticos e ambientais sobre os resultados observados. A divergência entre Franco, Campos e Dos Santos (2022) e os

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

demais autores quanto ao efeito da estação do ano ao parto sobre a taxa de concepção à primeira inseminação pode ser atribuída, em grande medida, à composição genética dos rebanhos avaliados.

Enquanto Franco, Campos e Dos Santos (2022) estudaram vacas mestiças portadoras de genes de Bos indicus, reconhecidamente mais termotolerantes, Lopes (2022) e Peiter, Strege e De Souza Rosa (2024) avaliaram vacas Holandesas e Jersey, cuja baixa adaptabilidade ao calor tropical é amplamente documentada por Da Silva Campos *et al.* (2026). Essa constatação reforça a importância da seleção genética como estratégia de mitigação e corrobora a tese de Lima (2022) de que a identificação de marcadores moleculares associados à termotolerância pode contribuir para o desenvolvimento de rebanhos mais resilientes.

A divergência quanto à eficácia da aspersão isolada na redução da temperatura retal observada por Salvador (2026) e contrastada com os achados de Vaz (2025) suscita reflexões sobre a necessidade de protocolos padronizados e de avaliações de longo prazo. Salvador (2026) avaliou vacas secas submetidas a uma única sessão diária de aspersão, enquanto Vaz (2025) analisou um sistema contínuo de climatização por ventilação e aspersão em vacas em lactação. Essa diferença de delineamento sugere que a eficácia da aspersão depende não apenas da frequência e duração da aplicação, mas também da categoria animal e do estágio fisiológico. Bento e Limberger (2025) contribuem para essa discussão ao afirmarem que a combinação de medidas é mais eficaz do que a implementação isolada de cada uma delas, o que implica que a aspersão, quando utilizada de forma isolada e transitória, pode ser insuficiente para promover melhorias substanciais e duradouras na eficiência reprodutiva.

No que tange à influência da produção leiteira sobre a termossensibilidade, Lopes (2022) e Ferreira e Titto (2023) convergem ao demonstrarem que vacas de elevada produção são mais susceptíveis ao estresse térmico, em razão do maior calor metabólico gerado pela lactação. Lopes (2022) observou que vacas multíparas em lactação apresentaram menor taxa de concepção em comparação a nulíparas, mesmo quando submetidas a condições térmicas semelhantes, evidenciando o ônus metabólico imposto pela produção leiteira.

Ferreira e Titto (2023) complementam essa perspectiva ao destacarem que os animais criados para produção de leite possuem maior sensibilidade ao calor do que os destinados à produção de carne, corroborando a existência de uma relação inversa entre produtividade e termotolerância. Essa constatação reforça a necessidade de estratégias de mitigação específicas para rebanhos de alta produção, conforme preconizado por Bento e Limberger (2025) e Vaz (2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No que se refere à interação entre estresse térmico e sanidade uterina, Da Silva Campos *et al.* (2026) e Bento e Limberger (2025) não aprofundam essa relação, o que evidencia a necessidade de estudos que investiguem as interações entre estresse térmico, sanidade animal e reprodução. A compreensão integrada dessas dimensões é condição sine qua non para a formulação de estratégias mitigadoras verdadeiramente eficazes e sustentáveis, especialmente diante do cenário de mudanças climáticas que se delineia para as próximas décadas.

Cumpre destacar que, apesar das discordâncias e lacunas identificadas, os estudos analisados convergem para a conclusão de que o estresse térmico constitui ameaça significativa à eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, exigindo a adoção de estratégias multifacetadas que integrem intervenções ambientais, nutricionais, genéticas e de manejo reprodutivo.

A combinação de sombreamento, ventilação, aspersão, ajustes nutricionais, seleção genética para termotolerância e adequação do calendário reprodutivo às variações climáticas sazonais emerge como abordagem mais eficaz para a mitigação dos efeitos deletérios do calor. A compreensão da complexidade das interações entre temperatura ambiental, fisiologia animal e desempenho reprodutivo é indispensável para a promoção da sustentabilidade produtiva, do bem-estar animal e da viabilidade econômica da atividade leiteira em regiões tropicais e subtropicais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática que norteou o presente estudo, qual seja, compreender qual é o impacto do estresse térmico na eficiência reprodutiva de vacas leiteiras, foi respondida de forma satisfatória por meio da revisão de literatura realizada. Os achados evidenciam que o estresse térmico exerce influência deletéria abrangente e sinérgica sobre a fisiologia reprodutiva, comprometendo desde a pulsatilidade da secreção de GnRH, LH e FSH até a qualidade oocitária, a manifestação do estro, a sobrevivência embrionária e a manutenção da gestação, com consequente redução das taxas de concepção e prolongamento do intervalo entre partos. Constatou-se que a magnitude dos prejuízos varia em função do perfil produtivo dos animais, sendo as vacas de elevada produção leiteira as mais termossensíveis, em razão do maior calor metabólico gerado pela lactação, o que agrava o balanço energético negativo e perpetua um ciclo vicioso de comprometimento reprodutivo.

Os principais pontos do trabalho convergem para a constatação de que o estresse térmico atua de forma sistêmica, desencadeando alterações endócrinas, metabólicas, cardiovasculares, celulares e comportamentais que, em conjunto, comprometem a homeostase

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

e a função reprodutiva. Destacou-se que a supressão do eixo hipotálamo-hipófise-gonadal, mediada pela ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, constitui mecanismo central nesse processo, assim como a redução do consumo de matéria seca, a alcalose respiratória e os desequilíbrios no pH ruminal.

Evidenciou-se, ainda, que as estratégias de mitigação mais eficazes são aquelas que combinam intervenções ambientais, nutricionais, genéticas e de manejo reprodutivo, uma vez que a implementação isolada de medidas tem se mostrado insuficiente para promover melhorias substanciais e duradouras na eficiência reprodutiva de rebanhos expostos a condições térmicas adversas.

No que concerne às lacunas identificadas, observou-se a necessidade premente de investigações que integrem as dimensões sanitária e reprodutiva da bovinocultura leiteira, especialmente no que tange à interação entre estresse térmico, imunossupressão e infecções uterinas, relação pouco aprofundada pelos estudos analisados. Ademais, verificou-se a escassez de estudos que avaliem os efeitos epigenéticos de longo prazo do estresse térmico sobre a função ovariana, bem como a carência de protocolos padronizados para a avaliação da eficácia da aspersão isolada na redução da temperatura retal.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a condução de estudos experimentais que investiguem a eficácia de estratégias integradas de mitigação em diferentes categorias animais e sistemas de produção, o desenvolvimento de marcadores moleculares associados à termotolerância para seleção assistida, e a avaliação do impacto de tecnologias de automação e sensoriamento remoto no monitoramento contínuo do estresse térmico e na melhoria dos índices reprodutivos em rebanhos leiteiros.

Como limitações, destacam-se o número reduzido de publicações incluídas, a heterogeneidade dos delineamentos e das fontes consultadas e a ausência de uma avaliação sistemática da qualidade das evidências. Assim, os resultados devem ser interpretados considerando essas restrições, e novas revisões com estratégias de busca reproduzíveis e avaliação crítica padronizada poderão ampliar a robustez das conclusões.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Ana Clara Braga *et al.* Impactos do Estresse térmico sobre a fisiologia reprodutiva de Fêmeas Bovinas Mantidas em Clima Tropical/Effects of Thermal Stress on the Reproductive Physiology of Female Bovines in Tropical Climates. Saúde em Foco, v. 12, n. 1, p. 19-34, 2025.

BENTO, Flávio Gomes; LIMBERGER, Taisa Fernanda Conceição Santos. O impacto do estresse térmico na produção de vacas leiteiras. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 9, p. 3739-3750, 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

DA SILVA CAMPOS, Beatriz França *et al.* A influência do estresse térmico na reprodução de vacas Holandesas no Brasil: revisão de literatura. REVISTA CIENTÍFICA DE MEDICINA VETERINÁRIA DO UNICEPLAC, v. 11, n. 1, p. 45-65, 2026.

FERREIRA, Manoel Carlos Souza; TITTO, Cristiane Gonçalves. Consequências do estresse térmico em vacas leiteiras lactantes. **Zootecnia sustentável: desde os primórdios até os dias atuais**, v. 13635, p. 227, 2023.

FRANCO, Flávia Freire; CAMPOS, Carla Cristian; DOS SANTOS, Ricarda Maria. Estação do ano ao parto e o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras mestiças. **Ciência Animal**, v. 32, n. 1, p. 09-17, 2022.

LIMA, Moisés Moreira. Caracterização da região promotora e 5′ UTR do gene Hsp70 e suas associações com a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras. BVS. 2022.

LOPES, Marco Antonio Ruiz. O efeito do estresse térmico associado à produção de leite e índices reprodutivos de vacas da raça Holandesa. PhilPapers. 2022.

PEITER, Bruna Bagiston; STREGE, Leticia Camile; DE SOUZA ROSA, Fernanda. Estresse térmico calórico uma ameaça silenciosa à fertilidade de vacas leiteiras. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 3, 2024.

SALVADOR, Maria Eduarda Cesar. Estresse térmico durante o período seco: impactos no comportamento e nas características fisiológicas de vacas da raça Holandesa. BVS. 2026.

SILVA, Flávio *et al.* O impacto das alterações climáticas no bem-estar e produtividade dos bovinos leiteiros–revisão bibliográfica. Universidade de Évora, 2024.

VAZ, Patrícia José Rodrigues. **Efeito do sistema de climatização na produtividade e eficiência reprodutiva em vacas leiteiras**. 2025. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Évora, Évora, 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.