



El clima y sus implicaciones para la producción de leche en el cerrado brasileño

Thiago Vasconcelos Melo^{1*} ; Diego Azevedo Mota¹ ; Felipe Nogueira Domingues¹ ;
Jeanne Broch Siqueira¹ ; Adolpho Marlon Antoniol de Moura² ; Marcos Eli Buzanskas³ .

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Institute of Agrarian Science, Minas Gerais, Brazil;

²Fundação Oswaldo Cruz-FIOCRUZ, Institute of Technology in Immunobiologicals, Manguinhos-RJ, Brazil.

³Center of Agrarian Sciences, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, Brazil.

*Correspondence: thiago.melo@ufvjm.edu.br

Recibido: Junio 2022; Aceptado: Diciembre 2022; Publicado: Enero 2023.

RESUMEN

Objetivo. Analizar el clima en los últimos treinta años en el Noroeste de Minas y sus impactos en la producción lechera. **Materiales y Métodos.** Se utilizó la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología durante el período de 1985 a 2017 en las ciudades de Unaí, Paracatu, Arinos y Formoso/ MG. Para cada mes y año, se calculó la temperatura mínima promedio (Tmin), la temperatura máxima (Tmax), la humedad relativa (HR), el Índice de Temperatura y Humedad (THI), el Índice de Temperatura de Globo Y Bulbo Húmedo (WBGT), la estimación de la disminución de la producción de leche (DMP) y la DMP en días críticos (DMPC). **Resultados.** Los resultados se evaluaron utilizando la función Im de R, y la prueba t para comprobar la hipótesis nula de que el coeficiente de regresión era igual a cero con un nivel de significación del 5%. Se observó un aumento de los valores Tmax y Tmin de 0.6-0.9°C respectivamente. Los valores de THI y WBGT en los municipios muestran estados de peligro y emergencia. Las DMP obtenidas fueron de 2.8 kg vaca-1 día-1 (Paracatu y Formoso), 3.2 kg vaca-1 día-1 en Unaí y entre 3.7 y 4.6 kg vaca-1 día-1 en Arinos. **Conclusiones.** Se verifica que la condición térmica en las ciudades estudiadas está fuera de la considerada zona termoneutral, siendo necesarias modificaciones ambientales primarias y secundarias para garantizar el bienestar de los animales e índices ganaderos satisfactorios.

Palabras clave: Ganado; productos lácteos; estrés térmico; calentamiento global (*Fuente: MeSH*).

ABSTRACT

Objective. To analyze the climate in the last thirty years in the Northwest of Minas and its impacts on dairy production. **Materials and Methods.** The database of the National Institute of Meteorology was used during the period from 1985 to 2017 in the cities of Unaí, Paracatu, Arinos and Formoso/ MG. For each month and year, the average minimum temperature (Tmin), maximum temperature (Tmax), relative humidity (RH), Temperature and Humidity Index (THI), Wet-bulbe Globe Temperature Index (WBGT), estimate of the decrease in milk production (DMP) and DMP on critical days (DMPC) were calculated. **Results.** The results were evaluated using the Im function of R, and the t test to

Como citar (Vancouver).

Vasconcelos-Melo T, Azevedo-Mota D, Nogueira-Domingues F, Broch-Siqueira J, Antoniol-de-Moura AM, Eli-Buzanskas M. El clima y sus implicaciones para la producción de leche en el cerrado brasileño. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(1):e2838. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2838>



©El (los) autor (es) 2023. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

test the null hypothesis that the regression coefficient was equal to zero with a significance level of 5%. An increase in Tmax and Tmim values by 0.6-0.9°C respectively was observed. The THI and WBGT values in the municipalities show states of danger and emergency. The DMP obtained were 2.8 kg cow-1 day-1 (Paracatu and Formoso), 3.2 kg cow-1 day-1 in Unaí and between 3.7 and 4.6 kg cow-1 day-1 in Arinos. **Conclusions.** It is verified that the thermal condition in the studied cities is outside the considered thermoneutral zone, being necessary primary and secondary environmental modifications to guarantee the welfare of the animals and satisfactory livestock indexes.

Keywords: Cattle; dairy products; heat stress; global warming; (Source: MeSH)

INTRODUCCIÓN

La principal cuenca lechera de Brasil se encuentra en el estado de Minas Gerais, esta región es responsable del 26.7% de la producción nacional. En el ámbito del estado de Minas Gerais, la región noroeste de Minas es considerada una importante cuenca lechera, y esta región que abarca el bioma del cerrado en Minas Gerais - Brasil fue el lugar de mayor desarrollo lechero en los últimos años (1).

Según Gomes (2), en el estado de Minas Gerais predominan las vacas Gyrolando, y en la cuenca lechera del Noroeste de Minas, predominan las vacas Gyrolando de alta producción, además de las vacas Holstein criadas en sistemas de "estabulación libre" y "barra de compost".

Sin embargo, esta región tiene una característica climática con altas temperaturas prácticamente todo el año, convirtiéndose en un gran desafío para la actividad lechera, ya que uno de los principales cuellos de botella en el ganado lechero son los problemas causados por el estrés térmico. Si tenemos en cuenta el informe (3), se estima que el planeta experimentará un aumento de la temperatura media para el año 2100 entre 2.6 y 4.8°C en el escenario más pesimista.

El ganado de razas lecheras de origen taurino y sus cruces son sensibles a las altas temperaturas, y al entrar en estrés térmico puede producirse una reducción del rendimiento ganadero, relacionada con un menor consumo de alimento y con los cambios fisiológicos derivados de la respuesta al estrés térmico (4). Especialmente en la actividad lechera, esto puede afectar a la reproducción, la gestación y la lactancia (5). Además, Osei-Amponsah et al (6) y Mendoza et al (7) informaron de que el aumento de las temperaturas, la radiación solar, la humedad y las olas de calor resultantes, la escasez de lluvias y la sequía comprometen la disponibilidad

de forraje y agua para los rumiantes, además de aumentar la incidencia de enfermedades, y amenazan la biodiversidad.

El cambio climático será un reto importante para la producción animal en el futuro y, según Sirohi y Michaelowa (8), puede intensificar los problemas derivados del estrés térmico. Por ello, los países de clima tropical deben anticiparse a los posibles problemas e invertir en tecnologías que eviten los problemas derivados de los efectos del estrés térmico.

Las técnicas para evaluar el confort térmico de los animales existen desde hace muchos años, a través de índices que utilizan variables climáticas, especialmente el índice de temperatura y humedad -THI y el índice de temperatura y humedad del globo negro -WBGT. Actualmente, con el acceso a los datos climáticos del Instituto Nacional de Meteorología INMET y aplicaciones como Conforcalc, es posible que el productor calcule el índice de confort térmico, evalúe las condiciones en que se encuentra su creación y busque soluciones si es necesario.

En vista de esto, el objetivo fue analizar el escenario histórico del clima entre 1985 - 2017 en la cuenca lechera del Noroeste de Minas Gerais y sus impactos en la producción de leche utilizando índices bioclimatológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó utilizando la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología - INMET, durante el período de 1985 a 2017 (última Normal Climatológica disponible) de las ciudades de Unaí, Paracatu, Arinos y Formoso, municipios que representan la cuenca lechera del Noroeste de Minas Gerais. La descripción y ubicación de los municipios estudiados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas y altitud de los municipios utilizados en el estudio.

Ciudad	Coordenadas geográficas	Altitud
Arinos	Latitude: - 15.9054, Longitud: - 46.1088 15° 54' 19" Sur, 46° 6' 32" Oeste	507 metros
Formoso	Latitude: - 14.9505, Longitud: - 46.2348 14° 57' 2" Sur, 46° 14' 5" Oeste	861 metros
Paracatu	Latitude: - 17.2225, Longitud: - 46.8752 17° 13' 21" Sur, 46° 52' 31" Oeste	696 metros
Unai	Latitude: - 16.3518, Longitud: - 46.912 16° 21' 6" Sur, 46° 54' 43" Oeste	565 metros

Los datos tomados del INMET incluían los promedios de temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa, calculados para cada mes y año de la encuesta. Los índices de temperatura y humedad se utilizaron para calcular el THI (índice de temperatura y humedad) y el WBGT (índice de temperatura del bulbo húmedo del globo negro) según las fórmulas siguientes:

$$\text{THI} = 0.72 \times (\text{td} + \text{tw}) + 40.6$$

td = temperatura de bulbo seco

tw = temperatura de bulbo húmedo

$$\text{WBGT} = \text{tg} + 0.36 \times \text{td} + 41.5$$

tg = temperatura del globo negro

td = temperatura del punto de rocío

La temperatura del bulbo húmedo, la temperatura del globo negro y el punto de rocío se estimaron utilizando el programa informático para calcular las propiedades psicrométricas del aire de Grapsi.

La estimación de la disminución de la producción de leche (DMP) se calculó mediante la siguiente ecuación, (3,9):

$$\text{DMP} = -1.075 - 1.736 (\text{NL}) + 0.02474 (\text{NL}) \times (\text{THI})$$

Dónde:

DMP = disminución absoluta de la producción de leche, kg de vaca-1 día-1 ;

NL = nivel normal de producción de leche en condiciones de confort térmico, en el que: 15 kg de vaca-1 día-1 se utilizó;

THI = el índice de temperatura y humedad.

Se utilizó el valor de 15 kg de producción de leche, valor medio aproximado de la producción de leche en la cuenca lechera de la región noroeste de Minas Gerais, foco del presente estudio, según el último censo agrícola (10), para demostrar las pérdidas diarias de producción. Además de la PMD, se calculó la PMDc en los días más calurosos de cada año, considerados días críticos.

Tras calcular el THI, el WBGT, el descenso de la producción de leche y el descenso de la producción de leche en los días críticos, se generaron gráficos de regresiones lineales por años (de 1985 a 2017). Para la información sobre los promedios de temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa, se generaron gráficos de regresiones lineales por años (de 1985 a 2017) y meses dentro de los períodos (de 1985 a 1995, de 1996 a 2006 y de 2007 a 2017), respectivamente. Se evaluaron utilizando la función lm de R. Se utilizó el estadístico t para probar la hipótesis nula de que el coeficiente de regresión era igual a cero con un nivel de significación del 5%.

RESULTADOS

Tras el análisis de los datos, se generaron las figuras 1, 2 y 3 de la regresión lineal de la humedad relativa (HR), la temperatura máxima (T_{máx}) y la mínima (T_{mim}) entre años y períodos. Se observa un descenso de la HR en el periodo analizado, pasando de valores medios de 68 a 63%. La HR en los tres diferentes periodos analizados (1985 a 1995, 1996 a 2006 y 2007 a 2017) es similar, con aumentos en los valores de HR en las estaciones lluviosas (noviembre a marzo) y disminución en las estaciones secas (abril a octubre).

Se observa que los valores de T_{máx} y T_{mim} aumentaron entre 0.6 - 0.9°C respectivamente en el período analizado, pasando en promedio de 30.8°C a 31.3°C y de 18.1°C a 18.6°C en los valores de T_{máx} y T_{mim}, respectivamente.

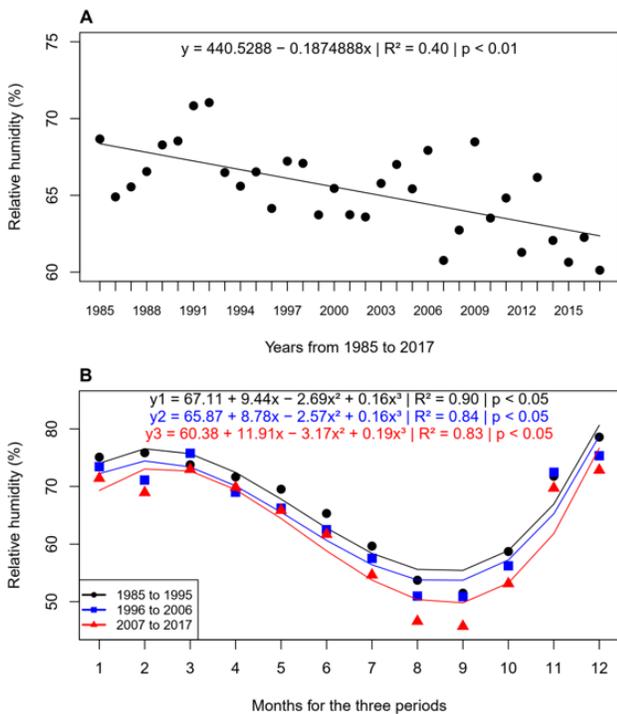


Figura 1. Regresión lineal de la humedad relativa entre años (a) y períodos (b).

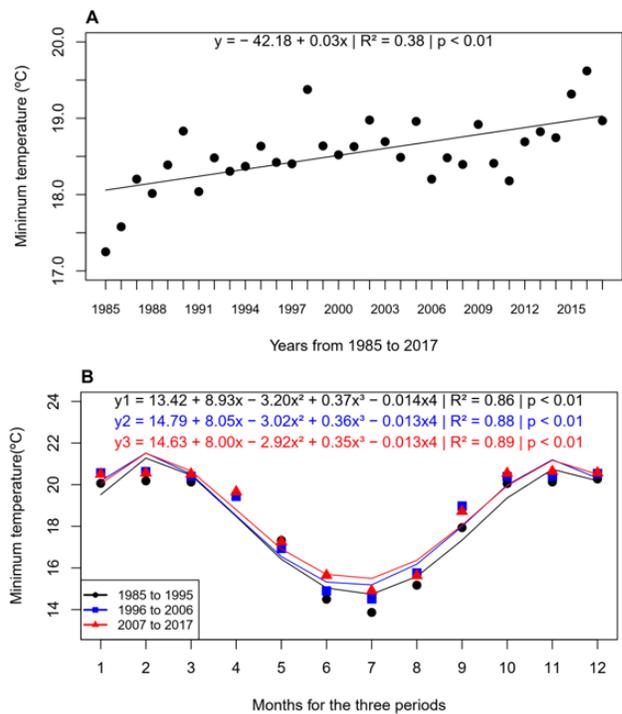


Figura 3. Regresión lineal de la temperatura mínima entre años (A) y períodos (B).

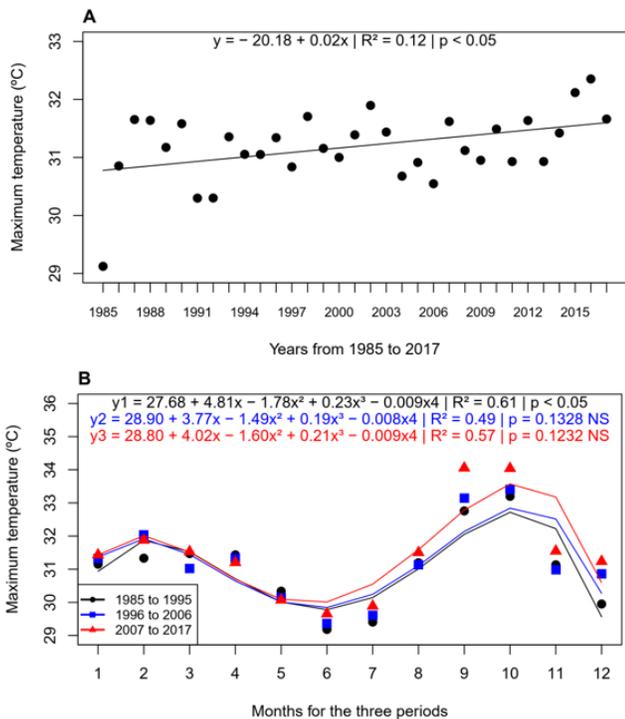


Figura 2. Regresión lineal de la temperatura máxima entre años (A) y períodos (B).

Como muestran las Figuras 4 y 5 referidas a la regresión lineal del THI, WBGT, DMP y DMP en el día crítico entre los períodos analizados. Los municipios de Paracatu y Formoso presentaron resultados similares de THI y WBGT, con valores de THI entre 80 y 81 y de 81.3, respectivamente. Justo por encima, aparece el municipio de Unaí con valores medios entre 81.2 y 81.8 y 82.3 y 83 de THI y WBGT, respectivamente.

Arinos fue el municipio con las mediciones más altas, donde se observan valores cercanos a 83 de THI en los intervalos de 1985 a 1995 y de 1996 a 2006, sin embargo en el periodo de 2007 a 2017 hubo un aumento considerable de los valores de THI, que llegaron a 86. Los valores de WBGT para este municipio presentaron datos medios similares (84) en todos los períodos analizados.

La DMP en el día crítico presentó en los períodos de 1985 a 1995; 1996 a 2006 y 2007 a 2017, valores de 3.8; 4.7 y 4.7 kg vaca-1 día-1 para el municipio de Paracatu, 4.0; 3.8 y 4.0 kg vaca-1 día-1 en el municipio de Formoso, 5.2; 4.8 y 5.0 kg vaca-1 día-1 en Arinos y 4.1; 2.8 y 3.3 kg vaca-1 día-1 en el municipio de Unaí.

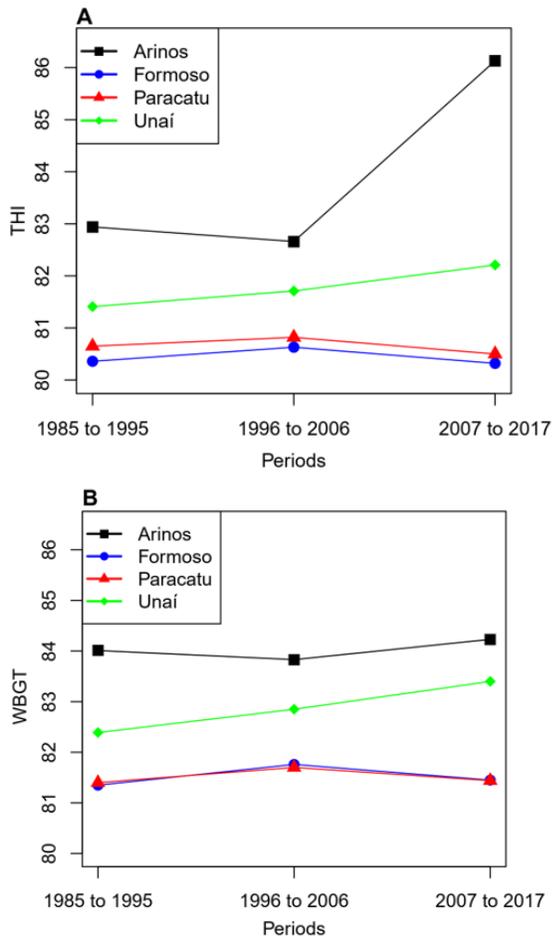


Figura 4. Promedios del índice de temperatura y humedad (THI - A) y del índice de temperatura global del bulbo húmedo (WBGT - B) entre periodos

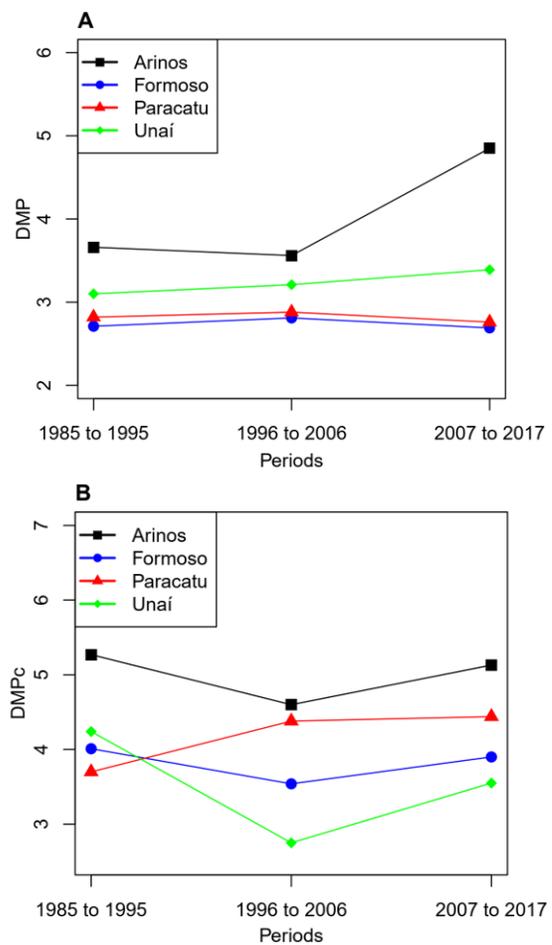


Figura 5. Promedios de disminución de la producción de leche (DMP - A) y DMP en días críticos (DMPc - B) entre periodos.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de regresión para DMP y DMPc. El efecto del THI fue significativo ($p < 0.001$) para DMP y DMPc, mientras que el WBGT fue significativo ($p < 0.05$) para DMP.

Tabla 2. Efectos de regresión lineal para la disminución de la producción de leche (DMP) y DMP en días críticos (DMPc).

AR	Efectos	RC	EE	valor t	Sig
DMP	THI	3.728 e-01	9.314 e-04	400.213	<0.001
	WBGT	-3.535 e-03	1.380 e-03	-2.561	0.03
DMPc	THI	3.722 e-01	5.457 e-04	681.980	<0.001
	WBGT	-4.261 e-04	6.401 e-04	-0.666	0.52

AR: Animales Rendimiento; RC: Regresión coeficiente; EE: Error estándar; SIG: Significancia; THI: Índice de temperatura y humedad, WBGT: Índice de temperatura del globo húmedo

DISCUSIÓN

Santos et al (11), estudiando el cambio climático y su relación con el uso del suelo en el municipio de Alta Floresta - MT, también observaron una disminución de la HR en un 10.7%; entre 2003 y 2015. La disminución de los valores de HR puede estar asociada a la combinación de una reducción de la evapotranspiración proporcionada por la deforestación del bioma del cerrado en la región noroeste, asociada a un aumento de la temperatura.

La HR del aire para todos los municipios a lo largo del periodo de tiempo observado y durante todo el año, estuvieron dentro del rango ideal sugerido por Almeida et al (12), que es de 55% a 75% para facilitar los mecanismos evaporativos del animal para la pérdida de calor. Valores de humedad relativa superiores a los recomendados, asociados a temperaturas

elevadas (superiores a 30°C), como es el caso del Noroeste de Minas Gerais, dificultan los flujos de calor latente entre el animal y el ambiente, lo que provocará estrés térmico (4). Daltro et al (4) informaron que el estrés térmico reduce el consumo de alimento, lo que termina reduciendo el peso corporal, la ganancia media diaria y la puntuación de la condición corporal del ganado. Además, la reducción del consumo de alimento asociada al estrés térmico también afecta a la producción de leche, siendo el ganado de alto rendimiento más vulnerable al estrés térmico que los animales de bajo rendimiento.

En este sentido, los valores de T_{máx} y T_{mim} aumentaron alrededor de 0.5°C en el período analizado. Estos resultados corroboran los encontrados por Santos et al (11) en los que estudiaron el cambio climático y su relación con el uso de la tierra en el municipio de Alta Floresta - MT y observaron aumentos significativos en los últimos 30 años para la temperatura media con un incremento de 2.7°C; para 1986 a 2002. Las T_{máx} y T_{mim} en los diferentes períodos analizados presentaron resultados típicos de las regiones de sabana ubicadas en el centro de Brasil, con un intervalo cálido y húmedo que coincide con el período más húmedo y otro más seco y frío que se asocia con el período de sequía.

Melo et al (13) estudiando los principios del confort térmico en la producción animal, estimaron que las altas temperaturas perjudican el rendimiento del ganado, hecho que deja claro que las T_{máx} de todos los municipios analizados en este estudio están por encima de este valor, en todo el rango de tiempo analizado (1985 a 2017) y en cualquier momento del año. Aunque no es posible utilizar sólo la T_{máx} como parámetro, ya que depende de varios factores como el tiempo que la temperatura estuvo durante el día en ese pico, la humedad relativa del día y la velocidad del viento, entre otros. Esta condición reduce el gradiente de temperatura entre la piel del animal y el ambiente, dificultando la pérdida de calor (14). Las vacas que se exponen a altas temperaturas durante períodos prolongados, es posible que la productividad también se reduzca debido al desvío de energía de las funciones productivas para mantener la temperatura corporal (15). Según Johnson (16), las vacas lactantes tienen temperaturas como zonas termoneutrales entre -0,5 y 20°C y Berman et al (17) indicaron que la temperatura crítica superior del aire para las vacas lecheras es de 25 a 26°C mientras que las vacas cruzadas por

encima de 29°C (18). Los valores de T_{mim} de las zonas evaluadas en este estudio (que van de 15 a 22°C) están dentro del rango considerado ideal para las vacas lecheras.

Cabe mencionar que tanto los valores de T_{máx} como de T_{mim} son puntuales a lo largo del día, de esta manera, al buscar el bienestar y el confort de los animales de producción, se debe estar atento a los puntos extremos, y al tiempo que los animales están expuestos a estas temperaturas críticas ya que es en base a ellas que se pueden buscar medidas ambientales que mejoren los niveles de producción.

El THI es un índice bioclimático que permite mostrar la condición térmica del ambiente y medir su influencia en la productividad del ganado lechero en las diferentes regiones en estudio. Según la clasificación (19,20) se considera que los valores del THI entre las amplitudes de 75 y 78 señalan alerta a los productores (es necesario tomar disposiciones para evitar pérdidas), entre 79 y 83 significa peligro (principalmente para rebaños confinados y se deben tomar medidas de seguridad para evitar pérdidas desastrosas) y los valores iguales o superiores a 84 caracterizan una emergencia (se deben tomar medidas urgentes). Concretamente, en el caso de las vacas Gyrolando, (21) mostró valores críticos de 79 a 80.

Con base en estas afirmaciones, todos los valores de THI obtenidos en los municipios de Formoso, Paracatu y Unaí, que están entre 79 y 83, y los valores del municipio de Arinos, que están por encima de 84, muestran estados de peligro y emergencia, respectivamente (19). Estas diferencias presentadas en el municipio de Arinos se deben probablemente a que la ciudad es semiárida dentro de la clasificación climática de Köppen. En cambio, los demás municipios se presentan como tropicales. Los resultados muestran que es necesario tomar medidas, como la implementación de sombreado artificial o natural, en los sistemas de pastoreo o tecnologías como ventiladores y/o aspersores en los sistemas confinados, con el fin de mejorar el confort térmico de los animales de producción en estas regiones. Lima et al (20) analizando el relevamiento de datos meteorológicos de treinta años (1986 a 2016) observaron que los valores medios de THI, en el municipio de Barbalha, relacionados con la actividad del ganado lechero, estaban, en la mayoría de los meses, en nivel de alerta (72 a 78).

Zotti et al (22) evaluaron el impacto del uso de sistemas de climatización en la sala de espera sobre las variables fisiológicas y la producción de leche de vacas Holstein mantenidas en pastos sin disponibilidad de sombra y encontraron que la ventilación forzada asociada a la nebulización antes del ordeño mejoraba las condiciones ambientales, aumentaba el confort térmico y la producción de leche. En ambientes confinados, (23) evaluó la influencia de una sala de espera con sombra más aspersión (climatizada) y una sala de espera sin estructura de climatización (no climatizada) sobre la producción de vacas Holstein y encontró que la producción diaria de leche fue significativamente mayor en el tratamiento aclimatado en comparación con el no aclimatado (13.97 versus 11.24 kg de leche, respectivamente).

Las vacas lecheras tienden a reducir significativamente la producción de leche con el aumento de la temperatura ambiente, lo que ocurre en el presente estudio, ya que las actividades relacionadas con la producción de leche generan grandes cantidades de calor (24). En este sentido, las PMD obtenidas fueron de aproximadamente 2.8 kg vaca-1 día-1, en los municipios de Paracatu y Formoso para todos los períodos analizados. Por otro lado, Unaí presentó valores ligeramente superiores (3.2 kg vaca día-1-1) en los mismos períodos. Arinos presentó promedios de 3.7 kg vaca-1 día-1 en los dos primeros períodos analizados (1985 a 1995 y 1996 a 2006) y 4.6 kg vaca-1 día-1 en el período. Cabe destacar que los resultados de DMP y DMP en el día crítico en este ensayo están asociados a un nivel productivo de 15 kg vaca-1 día-1. Moura et al (25) estimando los impactos potenciales del clima sobre la producción de leche a lo largo del año en Pernambuco, observaron que a medida que el nivel productivo de los animales era mayor, el efecto potencial del clima sobre el DMP era más pronunciado, con pérdidas de hasta 4.31 kg animal día-1-1. Corroboran los resultados encontrados y advierten que los escenarios de cambio climático pueden afectar a las actuales regiones productoras de los estados del nordeste, por lo que la ganadería lechera se limita a los animales de bajo rendimiento productivo (26).

Los aumentos de los valores de Tmax y Tmim, los incrementos de los valores de THI y WBGT en los municipios de Unaí y Arinos y el mantenimiento de valores superiores a los recomendados en los municipios de Paracatu y Formoso, asociados a los valores de DMP y DMP en el día crítico que muestran pérdidas de producción, muestran que los cambios climáticos ocurridos en los últimos 30 años en el Noroeste de Minas Gerais han causado daños bioclimatológicos y económicos en los sistemas de producción de leche. Estos resultados corroboran el presentado en el cuadro 2, en el que el THI fue significativo en la caída de la producción de leche (DMP y DMPc). Moura et al (25), analizando 8 municipios de Brasil, utilizando datos de estaciones meteorológicas en intervalos que van de 34 a 56 años, encontraron que entre los 8 municipios estudiados, sólo 4 tenían índices bioclimatológicos favorables a la producción de leche. Kemer et al (15), analizando los índices de confort térmico para el ganado lechero en el sur de Brasil, encontró que el escenario climático ha sido positivo para la actividad, existiendo períodos críticos, que ciertamente se reflejan en pérdidas de producción.

Angel et al (27) destacaron que el estrés térmico asociado al cambio climático se identificó como el principal factor que afectaba negativamente a todos los aspectos de la producción ganadera, y entre las diferentes categorías de ganado, el ganado lechero resultó ser más sensible a los cambios de temperatura.

En conclusión, las condiciones térmicas ofrecidas a los animales en las ciudades estudiadas están fuera de la zona considerada como termoneutral para las vacas Gyrolando y Holstein de alta producción, con un indicio de empeoramiento en los índices a lo largo de los años estudiados, requiriendo cambios ambientales primarios y secundarios para garantizar el bienestar de los animales y unos índices de explotación lechera satisfactorios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses que pueda haber influido en la realización o la presentación de la investigación.

REFERENCIAS

1. Oviedo-Pastrana ME, Moura ACM, Socarrás TJO, Haddad JPA. Mapa do desenvolvimento da pecuária leiteira no estado de Minas Gerais, Brasil: nova abordagem na pecuária para integração espacial de variáveis produtivas. *Zootecnia e Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal. Arq Bras Med Vet Zootec.* 2014; 66(4):1147-1154 <http://dx.doi.org/10.1590/1678-6623>
2. Gomes, S.T. Diagnóstico da pecuária leiteira do Estado de Minas Gerais, 2005: relatório de pesquisa. Belo Horizonte, MG; Brasil: FAEMG, 2006. <http://www.sistemaafaemg.org.br/biblioteca/Acervo/Detalle/10808?returnUrl=/biblioteca/Home/Index&guid=1634169604214>
3. Oliveira ZB, Silva CM, Souza IJ, Link TT, Bottega EL. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira no sul do Brasil. *Braz J Bios Eng.* 2018; 12(2):110-121. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p110-121>
4. Daltro AM, Bettencourt AF, Ximenes CAK, Daltro D dos S, Pinho AP dos S. Efeito do estresse térmico por calor na produção de vacas leiteiras. *Pesq. Agrop. Gaúcha.* 2020; 26(1):288-311. <https://doi.org/10.36812/pag.2020261288-311>
5. Bohlouli M, Alijani S, Naderi S, Yin T, König S. Prediction accuracies and genetic parameters for test-day traits from genomic and pedigree-based random regression models with or without heat stress interactions. *J Dairy Science.* 2019; 102(1):488-502. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15329>
6. Osei-Amponsah R, Chauhan SS, Leury BJ, Cheng L, Cullen B, Clarke IJ, Dunshea FR. Genetic Selection for Thermotolerance in Ruminants. *Animals.* 2019; 9(11):948-966. <https://doi.org/10.3390/ani9110948>
7. Mendoza BS, Villalva SF, Hernández ER, Escalera AMA, Contreras EAC. Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 2020; 11(supl.2):126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
8. Sirohi S, Michaelowa A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. *Climatic Change.* 2007;(85):285-298. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9241-8>
9. Hahn GL. Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados. Jaboticabal, SP. Brasil: FUNEP; 1993.
10. IBGE. Censo Agropecuario 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Brasil; 2017. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>.
11. Santos KS, Oliveira BFA, Ignotti E, Mudanças Climáticas e Suas Relações com o Uso da Terra no Município de Alta Floresta – Amazônia Meridional Brasileira. *Biod Bras.* 2021; 11(3):1-11 <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1703>
12. Almeida JVN, Marques LR, Marques TC, Guimarães KC, Leão KM. Influence of thermal stress on the productive and reproductive aspects of cattle – Review. *Res Soc Dev.* 2020; 9(7):230973837 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3837>
13. Melo AF, Moreira JM, Ataídes DS, Guimarães RAM, Loiola JL, Sardinha HC. Efeitos do estresse térmico na produção de vacas leiteiras: Revisão. *PUBVET.* 2016; 10(10):721-730. <https://doi.org/doi.org/10.22256/pubvet.v10n10.721-730>
14. Souza BB, Silva RMN, Marinho ML, Silva GA, Silva EMN, Souza AP. Parâmetros Fisiológicos e Índice de Tolerância ao Calor de Bovinos da Raça Sindi no Semi-árido Paraibano. *Cienc e Agrotec, Lavras.* 2007; 31(3):883-888 <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300040>.
15. Kemer A, Glienke CL, Bosco LC. Índices de conforto térmico para bovinos de leite em Santa Catarina Sul do Brasil. *Braz J Develop.* 2020; 6 (5):29655-29672. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-426>

16. Johnson HD. Bioclimates and livestock. Bioclimatology and the Adaptation of Livestock. World Animal Science, Elsevier Science Publ. Co: New York; 1987.
17. Berman YA, Folman M, Kaim M, Mamen Z, Herz D, Wolfenson A, Arieli Y. Graber Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate J Dairy Sci. 1985 68:1488-1495. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80987-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5)
18. Azevedo M, Pires MFA, Saturnino HM, Lana AMQ, Sampaio IBM, Monteiro JBN, Morato LE. Estimativas de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu, em lactação. Rev Bras de Zootec 2005, v.34 (6): 2000-2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000600025>
19. Oliveira ZB, Silva CM, Souza IJ, Link TT, Bottega EL. Climate change scenarios and their impacts on dairy production in southern Brazil. Braz J Biosyst Eng. 2018; 12(2):110-121. <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p110-121>
20. Lima MTV, Feitosa JV, Oliveira CW, Costa ANL. Influência da temperatura e umidade sobre o conforto térmico bovino em Barbalha, Ceará. PUBVET 2019; 13(12):1-8. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n12a477.1-8>
21. Azevedo M, Ávila MFP, Saturnino HM, Lana AMQ, Sampaio IBM, Monteiro JBN, Morato LE. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em lactação. R Bras Zootec. 2005; 34(6):2000-2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000600025>
22. Zotti CA, Zotti, M.L.N, Petrolli TG, Basso AC. Climatização da sala de espera para vacas criadas a pasto sem sombreamento. Arch de Zootec 2017; 66(254):167-171. <https://doi.org/10.21071/az.v66i254.2318>
23. Cerutti WG, Bermudes RF, Viegas J, Martins CMMR. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. Rev Bras S Prod An 2013; 14(3):406-412 <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/NZt47PkQSMqRHhDKTbXLwHv/?lang=pt>
24. Correa CA, Avendaño RL, López BMÁ, Macías CU. (2022). Estrés por calor en ganado lechero con énfasis en la producción de leche y los hábitos de consumo de alimento y agua. Revisión. Rev Mex Cien Pecu. 2022: 13(2):488-509. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
25. Moura GAB, Silva TGF, Sousa LSB, Jardim AMRF, Alves HKMN, Pinheiro AG, Salvador KRS, Sousa LF. Indicadores bioclimáticos e simulação de potenciais perdas econômicas da produção de leite em Pernambuco. Agrometeoros. 2019; 27(2):417-427. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26452>
26. Silva TGF, Moura MSB, Sá IS, Zolnier S, Turco SHN. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. R Bras Eng Agri Ambie. 2010; 14(8):863-870. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800011>
27. Angel S.P, Amitha JP, Rashamol VP, Vandana GD. Climate Change and Cattle Production - Impact and Adaptation. J Vet Med Res. 2018; 5(4):1134-1145. <https://www.jscimedcentral.com/VeterinaryMedicine/veterinarymedicine-5-1134.pdf>