



Índice de Temperatura e Umidade (ITU) ao longo do verão de 2021/2022 e estimativas dos impactos na bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul, Brasil

Temperature and Humidity Index (THI) during the 2021/2022 summer and its impact on dairy cattle in Rio Grande do Sul, Brazil

Ivonete Fatima Tazzo*¹ , Adriana Kroef Tarouco¹ , Paulo Henrique Correia Allem Junior² , Carolina Bremm¹ , Loana Silveira Cardoso¹ , Amanda Heemann Junges¹ 

¹ Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

*autor correspondente: ivonetetazzo@gmail.com

Resumo: O objetivo do estudo foi calcular o índice de temperatura e umidade (ITU), devido às temperaturas do ar extremamente elevadas durante os meses de dezembro 2021, janeiro e fevereiro 2022 no Rio Grande do Sul, para fins de caracterização e regionalização dos possíveis impactos na produção leiteira. Empregaram-se dados horários de temperatura e umidade relativa do ar de 28 estações meteorológicas da rede INMET/SIMAGRO/SEAPI, de dez regiões ecoclimáticas do Estado, calculando-se ITU e Perda Estimada de Leite (DPL), contabilizando-se número diário de horas em cada classificação do ITU, durante trimestre por município e região. Avaliou-se efeito da região e mês no ITU e DPL, pela análise de variância a 5% de significância. Detectadas diferenças entre médias, compararam-se pelo teste Tukey HSD ($P < 0,05$). Verificou-se probabilidade de cada hora diária apresentar ITU em desconforto térmico ($ITU > 70$), através da análise de variância para variáveis binomiais, por região; observado efeito de horário ($P < 0,05$), médias foram comparadas pelo teste não paramétrico Bonferroni a 5%. Para agrupamento destas, usou-se o teste Scott-Knott. O Baixo Vale do Uruguai se destacou no trimestre com maiores valores do ITU, desconforto térmico, enquanto na Serra do Nordeste, não indicaram estresse calórico. Em todas as regiões, a classificação de desconforto térmico mais frequente, diariamente, foi de atenção até alerta, destacando-se o mês de janeiro. Maiores estimativas de DPL, para grande parte dos oito níveis de produção, registraram-se em janeiro. Elevadas estimativas de perda de produtividade, ocorreram em vacas com maior potencial de produção de leite.

Palavras chaves: Conforto Térmico; Regiões Ecoclimáticas; Bovinos; Produtividade.

Abstract: This study aimed to calculate the temperature and humidity indexes (THIs) derived from extremely high air temperatures during the months of December 2021, January, and February 2022 in Rio Grande do Sul. The main goal was to characterize and regionalize potential impacts on dairy production. We used hourly measurements of temperature and relative humidity from 28 meteorological stations of the INMET/SIMAGRO/SEAPI network. These data cover ten ecoclimatic regions of the state.

Recebido: 17 de agosto, 2023. Aceito: 13 de dezembro, 2023. Publicado: 22 de março, 2024.

THI and Estimated Milk Loss (EML) were calculated, with the daily number of hours classified under each THI category during the trimester by municipality and region. The effects of region and month on THI and EML were evaluated through analysis of variance at a 5% significance level. Differences between means were compared using the Tukey HSD test ($P < 0.05$). The probability of each daily hour having a THI in thermal discomfort ($\text{THI} > 70$) was determined through analysis of variance for binomial variables by region, with the observed effect of time ($P < 0.05$), and means were compared using the non-parametric Bonferroni test at 5%. To group these data, we applied the Scott-Knott test. The Baixo Vale do Uruguai stood out in the trimester with the highest THI values, indicating thermal discomfort. Conversely, no heat stress was indicated in the Serra do Nordeste. In all regions, the most frequent daily classification of thermal discomfort ranged from attention to alert, with January being particularly significant. The highest EML estimates for most of the eight production levels were recorded in January. High estimates of productivity loss occurred in cows with higher milk production potential.

Keywords: Thermal Comfort; Ecoclimatic Regions; Cattle; Productivity.

Introdução

O Estado do Rio Grande do Sul se caracteriza por apresentar temperaturas do ar elevadas durante o verão. Climaticamente, considera-se que a temperatura máxima média mensal, em dezembro é de $28,3^{\circ}\text{C}$, variando entre $23,8^{\circ}\text{C}$ e $31,9^{\circ}\text{C}$; em janeiro é de $29,2^{\circ}\text{C}$, oscilando entre $22,7^{\circ}\text{C}$ e $32,6^{\circ}\text{C}$; já em fevereiro, é de $28,6^{\circ}\text{C}$, com intervalos de $24,8^{\circ}\text{C}$ a $31,4^{\circ}\text{C}$ ⁽¹⁾.

Desde 1990, o Brasil tem registrado elevação das temperaturas médias anuais do ar, sendo que os dois maiores desvios positivos de temperatura observados na série 1961 a 2022 ocorreram nos anos de 2015 e 2019, quando ambos registraram um valor de $0,9^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica, sendo considerados os dois anos mais quentes desde 1961. O ano de 2022 foi o vigésimo ano mais quente desde 1961. A mais intensa onda de calor ocorreu entre os dias 12 e 26 de janeiro de 2022, com temperaturas máximas do ar ultrapassando os 40°C em diversos municípios do Rio Grande do Sul. O mês de fevereiro foi marcado também por altas temperaturas, inclusive com recorde, como é o caso de Uruguaiana (RS) que registrou $42,9^{\circ}\text{C}$ no dia 27/02, correspondendo a 6°C acima da média para este dia. Esta foi a maior temperatura registrada em 110 anos e o maior valor registrado na cidade, desde o início das medições em 1912 superando os $42,2^{\circ}\text{C}$ registrados em 27/01/1986⁽²⁾.

No trimestre (dezembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2022), as temperaturas do ar foram extremamente elevadas, principalmente no mês de janeiro, ficando acima da média climatológica (normal climatológica padrão 1991-2020) em todo Estado⁽³⁾. Verificou-se que em 62,5% das estações meteorológicas avaliadas foram registrados períodos com, no mínimo, cinco dias consecutivos com temperatura máxima absoluta $\geq 5^{\circ}\text{C}$ acima da média, caracterizando, este mês, como de ocorrência de onda de calor e temperaturas máximas do ar elevadas⁽³⁾. Da mesma forma, os meses de dezembro de 2021 e de fevereiro de 2022 apresentaram vários dias com temperaturas máximas do ar acima da média, com anomalias positivas acima de $1,8^{\circ}\text{C}$ em dezembro⁽³⁾ e de $4,7^{\circ}\text{C}$ em fevereiro⁽⁵⁾.

Períodos muito quentes, e, principalmente, a ocorrência de ondas de calor, causam desconforto térmico, gerando estresse calórico que impacta negativamente na saúde, na

economia e na produtividade de animais de interesse zootécnico⁽³⁾. Um animal sofre estresse calórico quando produz mais calor do que pode dissipar. Para se ajustar, reduz o consumo de alimentos e sua produção necessariamente declina⁽⁶⁾. Embora, há relatos de que a redução no consumo explique apenas 36% da perda na produção de leite⁽⁷⁾, um estudo indica que a diminuição no consumo explicou aproximadamente 50% na redução da produção em vacas de leite⁽⁸⁾. O estresse térmico sofrido em vacas lactantes, provoca, além da diminuição no consumo, grandes adaptações metabólicas. Essas mudanças resultam em menor aporte de energia para a glândula mamária, e parece ser este, um dos mecanismos responsáveis pela queda da produção de leite e de seus componentes, afetando também sua qualidade⁽⁹⁾.

Os bovinos são animais homeotérmicos, isto é, capazes de manter a temperatura corporal independente das variações da temperatura ambiente, para isso lançam mão de mecanismos fisiológicos, metabólicos e comportamentais para a termorregulação⁽¹⁰⁾.

Existe uma faixa de temperatura ambiente (Zona de Conforto Térmico; ZCT) dentro da qual o animal apresenta metabolismo mínimo, sem demonstrar quaisquer sintomas de desconforto térmico, não ativando os mecanismos físicos e químicos de termorregulação⁽¹¹⁾. As melhores condições climáticas para os bovinos seriam de temperatura entre 10°C e 27°C, umidade relativa do ar entre 60% e 70% e ITU (Índice de Temperatura e Umidade) abaixo de 74⁽¹²⁾.

O estresse calórico acontece quando as altas temperaturas aliadas à alta produção de calor metabólico resultam em um estoque de calor corporal excedente, e o animal não consegue eliminá-lo para o ambiente⁽¹³⁾. Particularmente, bovinos com aptidão leiteira e, principalmente, os de alta produção, têm dificuldades em dissipar este calor corporal produzido em condições ambientais desfavoráveis.

As vacas em lactação são altamente susceptíveis ao estresse térmico devido à elevada carga metabólica da síntese do leite e metabolismo visceral associada a um elevado consumo⁽¹⁴⁾. Uma vaca de alta produção gasta aproximadamente 31,1% da energia ingerida diariamente na produção de calor. Mais da metade desse calor (53%) provém da síntese de leite e quase um quarto (23,5%) tem origem na fermentação, digestão e excreção. Somados, esses percentuais perfazem o que conhecemos por incremento calórico. O restante (23,5%) corresponde ao calor produzido pelos processos metabólicos necessários à manutenção de suas funções vitais⁽¹⁵⁾.

A dissipação do excesso de calor corporal depende principalmente da oscilação da temperatura durante o dia e a noite. Se a temperatura à noite não for menor que 21°C por um tempo de três a seis horas, o animal não tem capacidade suficiente de perder todo o calor que foi adquirido durante o dia anterior⁽¹⁶⁾.

Temperaturas diárias médias e máximas têm efeitos variáveis sobre a ingestão de alimentos e, subsequentemente, sobre a produção de leite, dependendo da umidade relativa do ar e do tempo em que as vacas ficam em temperaturas capazes de provocar estresse⁽¹³⁾. Têm-se relatado que a queda de ingestão de vacas leiteiras inicia quando a temperatura ambiente atinge 25°C, e reduz drasticamente quando excede os 40°C (20% a 40%)^(17,18).

É reconhecida a diferença entre os animais em sua capacidade de enfrentar as variações climáticas do meio em que vivem. Assim, foram desenvolvidos índices visando estabelecer critérios de classificação dos diversos ambientes e combinações dos elementos que influenciam no conforto térmico dos animais, destacando-se o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)⁽¹⁹⁾. Leva em consideração os efeitos associados da temperatura e umidade relativa do ar, sendo utilizado amplamente para avaliação do conforto térmico, já que é facilmente obtido⁽²⁰⁾, utilizando-se um banco de dados meteorológicos.

O estresse térmico, portanto, afeta negativamente o desempenho das vacas em lactação, resultando em perdas econômicas importantes para os produtores e para a indústria de laticínios. Um estudo detalhado do Índice de Temperatura e Umidade e sua regionalização constituem importante instrumento indicativo de conforto e/ou desconforto a que os animais são submetidos, principalmente em situações da ocorrência de temperaturas do ar extremamente elevadas e ondas de calor, como nos verões, auxiliando na escolha do local e dos meios mais adequados de acondicionamento térmico, tornando-se assim um importante recurso zootécnico para aumentar a eficiência da produção de leite, pela distribuição de animais adequados a determinadas regiões⁽²¹⁾ e estabelecer estratégias de manejo que mitiguem os efeitos ambientais. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar os possíveis impactos na produção leiteira em diferentes regiões do Rio Grande do Sul através do cálculo do índice de conforto térmico (ITU) no verão de 2121/2022 que apresentou temperaturas do ar atípicas.

Material e métodos

Foram utilizados dados horários (00:00 às 23:00h) de temperatura e umidade relativa do ar nos meses de dezembro de 2021 (dez.), janeiro (jan.) e fevereiro (fev.) de 2022 de 28 estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO/RS) da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI/RS). O período analisado foi verão (trimestre dezembro, janeiro e fevereiro), sendo essa delimitação climatológica adotada por demais autores^(22, 23). Para a representação de dez Regiões Ecoclimáticas do Estado⁽²⁴⁾, foram usados os dados meteorológicos de três municípios/região, com exceção da Encosta Inferior da Serra e Grandes Lagos onde foram considerados dois municípios, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Altitude e coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos municípios considerados neste estudo, em dez Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	Município	Altitude (m)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
Planalto Médio	Passo Fundo	680	28°15'40"	52°24'30"
	Ibirubá	400	28°37'48"	53°05'25"
	Getúlio Vargas	644	27°52'34"	52°13'16"
Serra do Sudeste	Caçapava do Sul	430	30°30'59"	53°29'12"
	Encruzilhada do Sul	348	30°31'37"	52°31'06"
	Pinheiro Machado	419	31°34'37"	53°23'06"
Serra do Nordeste	Veranópolis	693	28°54'03"	51°33'10"
	Vacaria	960	28°30'39"	50°55'47"
	Bento Gonçalves	671	29°10'26"	51°31'07"

Alto e Médio Vale do Uruguai	Frederico Westphalen	535	27°21'27"	53°23'40"
	Santa Rosa	268	27°52'16"	54°28'55"
	Porto Vera Cruz	168	27°44'17"	54°54'08"
Baixo Vale do Uruguai	Itaqui	64	29°09'09"	56°33'03"
	São Borja	74	28°40'58"	55°58'39"
	Maçambará	88	29°08'25"	56°04'26"
Depressão Central	Campo Bom	22	29°40'49"	51°03'13"
	Santa Maria	139	29°41'29"	53°48'03"
	Porto Alegre	22	30°01'40"	51°13'43"
Campanha	Alegrete	76	29°47'05"	55°46'33"
	Uruguiana	56	29°44'58"	57°05'18"
	Bagé	214	31°19'43"	54°06'26"
Missioneira	São Luiz Gonzaga	260	28°24'31"	54°57'41"
	Santiago	354	29°10'23"	54°51'21"
	Bossoroca	221	28°42'37"	54°53'42"
Grandes Lagos	Capão do Leão	15	31°46'03"	52°26'55"
	Jaguarão	23	32°33'37"	53°22'52"
Encosta Inferior da Serra	Teutônia	47	29°26'56"	51°48'48"
	Sobradinho	363	29°25'22"	53°01'57"

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi calculado pela seguinte fórmula ⁽¹⁹⁾:

$ITU = T_m + (0,36T_{po} + 41,5)$; em que: T_m =temperatura média diária do ar e T_{po} =Temperatura do Ponto de Orvalho

$$T_{po} = ((UR/100)^{(1/8)}) * (112 + (0,9 * T_m)) + (0,1 * T_m) - 112$$

Foram consideradas quatro classes de valores do ITU, adaptadas de Rosenberg, Biad e Verns (1983)⁽²⁵⁾, para identificar as faixas de conforto/desconforto térmico, a saber:

ITU1 = ≤ 70 , condição não estressante, faixa dentro do conforto térmico;

ITU2 = 71-78, condição de estresse térmico (71-75 atenção e 75-78, situação de alerta);

ITU3 = 79-83, condição de estresse térmico severo (situação de perigo);

ITU4 = ≥ 84 , condição de estresse térmico crítico (situação de emergência).

Empregaram-se os dados horários de temperatura do ar e umidade relativa média do ar para calcular o ITU horário para cada município e com esses valores foram feitas as médias diárias e mensais; posteriormente, calcularam-se as médias mensais de cada região ecolimática. Contabilizou-se o número diário de horas dentro de cada classificação do ITU ao longo do trimestre, e efetuaram-se as médias para cada município e região.

Para estimar os efeitos das variáveis meteorológicas, através dos valores do ITU, na estimativa de efeito na produção de leite nas regiões ecolimáticas avaliadas, utilizou-se a seguinte equação para vacas holandesas em lactação⁽²⁶⁾, adaptada por Hahn (1993)⁽²⁷⁾:

$DPL = -1,075 - 1,736 \times PN + 0,02474 \times PN \times ITU$; em que DPL é o declínio na produção de leite (kg dia^{-1}) e PN é o Nível Normal de Produção (kg dia^{-1}).

Utilizaram-se oito níveis de produção de leite: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 kg dia^{-1} como referenciais, partindo-se do princípio de que os animais se encontravam em uma situação de termoneutralidade, ou seja, sua produção normal, sem estresse. Para a análise e a caracterização da ocorrência de períodos críticos, foram consideradas as quatro classes do ITU.

Para avaliar o efeito da região ecoclimática e mês nos valores do ITU e nas perdas estimadas de leite (DPL), os dados foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância ($P < 0,05$), por meio da função lmer do pacote lme4 do programa estatístico R (v.4.1.1). No modelo estatístico foram incluídos os efeitos fixos de região, mês e sua interação. Município foi considerado efeito aleatório. Quando detectadas diferenças entre as médias, estas foram comparadas pelo teste de Tukey HSD ($P < 0,05$).

Para verificar a probabilidade de cada hora do dia apresentar ITU na faixa de desconforto térmico ($ITU > 70$), primeiramente, os dados foram submetidos à análise de variância para variáveis binomiais, por região, utilizando-se a função glm do programa estatístico R (v.4.1.1). Sendo observado efeito significativo de horário ($P < 0,05$), passou-se para uma análise de comparação de médias pelo teste não paramétrico Bonferroni, em mesmo nível de significância. Também, realizou-se uma análise de Scott-Knott para agrupamento das médias.

Resultados e Discussão

Os resultados da análise de variância indicaram que houve efeito significativo ($p < 0,05$) da região ecoclimática, do mês e da interação destas variáveis nos valores do ITU e no número diário de horas dentro das quatro classificações de conforto térmico ao longo do verão 2021/2022.

Os dados médios e desvio padrão, mínimos e máximos do ITU, no trimestre dez., jan. e fev. nas dez regiões ecoclimáticas do RS avaliadas são apresentados na Tabela 2. A região do Baixo Vale do Uruguai se destacou nos três meses consecutivos com os maiores valores médios do ITU e a Serra do Nordeste, com os menores; em dezembro variou de $67,1 \pm 0,7$ a $73,4 \pm 0,7$, em janeiro de $70,0 \pm 0,7$ a $77,2 \pm 0,7$, e em fevereiro de $68,6 \pm 0,7$ a $74,0 \pm 0,7$.

Tabela 2 Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio e desvio padrão, mínimo e máximo, durante os meses de verão (dezembro de 2021; janeiro e fevereiro de 2022), em dez Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	ITU Médio e desvio padrão			ITU Mínimo			ITU Máximo		
	Dez	Jan	Fev	Dez	Jan	Fev	Dez	Jan	Fev
Baixo Vale do Uruguai	$73,4 \pm 0,7a/B$	$77,2 \pm 0,7a/A$	$74 \pm 0,7a/B$	71,9	75,7	72,5	74,9	78,7	75,5
Vale do Uruguai	$73,1 \pm 0,7ab/B$	$75,9 \pm 0,7a/A$	$73,4 \pm 0,7a/B$	71,6	74,4	71,9	74,5	77,4	75
Missioneira	$72,4 \pm 0,7abc/B$	$75,1 \pm 0,7ab/A$	$72,6 \pm 0,7ab/B$	70,9	73,6	71,1	73,9	76,6	74,1

Depressão Central	71,0±0,9abcde/C	74,5±0,9ab/A	72,7±0,9ab/B	69,2	72,7	70,8	72,8	76,3	74,5
Campanha	70,9±0,7abcd/B	74,5±0,7ab/A	71,7±0,7abc/B	69,4	73,1	70,2	72,4	76	73,2
Encosta Inferior da Serra	70,5±0,9abcde/B	73,9±0,9abc/A	71,6±0,9abc/B	68,7	72	69,7	72,3	75,7	73,4
Planalto Médio	69,9±0,7bcde/B	71,6±0,7bc/A	69,8±0,7bc/B	68,1	70,1	68,3	71,1	73,1	71,3
Grandes Lagos	69,0±0,9cde/C	73,3±0,9abc/A	70,8±0,9abc/B	67,2	71,4	69	70,9	75,1	72,6
Serra do Sudeste	68,2±0,7de/C	72,2bc/A	69,8±0,7bc/B	66,7	70,7	68,3	69,7	73,1	71,3
Serra do Nordeste	67,1±0,7e/C	70,0 ±0,7c/A	68,6±0,7c/B	65,6	68,5	67,1	68,6	71,4	70,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula em linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, HSD com 5% de probabilidade.

O ITU médio calculado, considerando toda a estação, ficou entre 67,1±0,7 na Serra do Nordeste (dezembro de 2021) e 77,2±0,7 (janeiro de 2022) no Baixo Vale do Uruguai (Tabela 2). Em todas as regiões ecoclimáticas, o mês de janeiro foi o que apresentou os maiores valores médios de ITU ($P < 2,2 \times 10^{-16}$). As temperaturas do ar apresentaram valores elevados em todas as regiões, com a ocorrência de uma onda de calor intensa na qual as temperaturas máximas foram extremamente altas, mesmo para os padrões considerados normais nos meses de verão (dez-jan-fev) no Rio Grande do Sul⁽²⁸⁾. Na Tabela 3, encontram-se os valores médios da Normal Climatológica Padrão (1991-2020) referente à temperatura média e temperatura máxima do ar nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em regiões do RS. No verão 21/22, registraram-se vários dias com temperaturas máximas acima de 35°C em todas as regiões ecoclimáticas avaliadas, assim como acima de 40°C em cerca de 60% das regiões (Depressão Central, Encosta Inferior da Serra do Nordeste, Alto e Médio Vale do Uruguai, Missioneira, Baixo Vale do Uruguai e Campanha)⁽³⁾.

Tabela 3 Normal Climatológica Padrão (1991-2020) da Temperatura média do ar e Temperatura Máxima do ar nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em municípios do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	Município	Temperatura Média (°C)			Temperatura Máxima (°C)		
		Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Campanha	Bagé	22,7	23,8	23,1	28,8	29,7	28,9
	Uruguiana	24,6	25,8	24,7	30,9	32,1	30,8
Serra do Nordeste	Bom Jesus	18,6	19,4	19,2	25,2	25,6	25,4
Planalto Médio	Cruz Alta	23,3	23,7	23,0	29,7	30,0	29,2
	Passo Fundo	22,0	22,3	21,8	28,4	28,4	27,8
Serra do Sudeste	Encruzilhada do Sul	21,7	22,8	22,3	28,4	29,2	28,5
Depressão Central	Porto Alegre	24,0	25,0	24,7	30,0	31,0	30,5
	Santa Maria	24,2	25,0	24,2	30,4	31,0	30,2
Missioneira	São Luiz Gonzaga	25,4	26,0	25,2	32,1	32,7	31,9
Região dos Grandes Lagos	Pelotas	22,2	23,5	23,2	27,4	28,6	28,4

Fonte: INMET (2023)

As temperaturas médias máximas no mês de janeiro na região do Baixo Vale do Uruguai, com o mais elevado valor médio do ITU ocorrido, ficaram acima dos 35°C, com registros de 36°C em Itaqui, 35,7°C em Quaraí e 35,7°C em Maçambará⁽²⁸⁾. Em termos de conforto térmico aos animais, estas temperaturas são extremamente elevadas, uma vez que a faixa de termo-neutralidade para os bovinos é de 10°C a 27°C⁽¹²⁾.

A Serra do Nordeste, por sua vez, foi a única região em que, na maior parte do trimestre, não foi registrada situação de estresse térmico imposta aos animais, com valores médios do ITU ≤ 70 . As temperaturas médias máximas registradas em janeiro na região variaram de 29°C em Vacaria a 31,4°C em Bento Gonçalves⁽²⁸⁾. Acompanhando o comportamento das temperaturas médias e máximas do ar, somente no mês de janeiro, o ITU médio máximo, em todas as regiões, foi superior a 71,4 (Serra do Nordeste), condição de estresse que indica atenção dos produtores rurais quanto ao conforto térmico, principalmente, das vacas em lactação.

Embora se tenha registrado temperaturas extremamente elevadas na estação, em nenhuma das regiões avaliadas, o valor médio do ITU máximo sugeriu condição de estresse térmico severo (ITU3=79-83) ou crítico (ITU4 = ≥ 84), colocando os animais em situação de perigo a emergencial. O valor médio máximo do ITU (78,7) ocorreu no Baixo Vale do Uruguai, no mês de janeiro, situação de alerta térmico, e o mínimo (65,6), condição não estressante, na Serra do Nordeste em dezembro de 2021 (Tabela 2).

As regiões do Baixo Vale do Uruguai, Alto e Médio Uruguai e Missioneira foram as únicas que apresentaram valores médios mínimos do ITU dentro da faixa de desconforto térmico ao longo do trimestre avaliado.

Os mais elevados valores médios do ITU ocorridos em dezembro, foram nas regiões Baixo Vale do Uruguai e Alto e Médio Vale do Uruguai, porém não diferiram das demais, com exceção do Planalto Médio, Grandes Lagos, Serra do Sudeste e Serra do Nordeste, onde não ultrapassaram a faixa de 69,9. As temperaturas médias máximas registradas, nestas três regiões, ficaram abaixo de 32°C em dezembro⁽³⁾.

Já em janeiro, com exceção da Serra do Nordeste, todos valores do ITU foram elevados e dentro da faixa de desconforto térmico. Em sete regiões, os valores foram superiores ao Planalto Médio e às Serras do Sudeste e do Nordeste. Nestas três regiões, as temperaturas médias máximas oscilaram entre 29°C e o máximo de 34,1°C⁽²⁸⁾.

Em fevereiro, por sua vez, os valores médios do ITU também foram elevados, e dentro da faixa de desconforto térmico em sete regiões, o que não ocorreu, novamente, no Planalto Médio e nas Serras do Sudeste e do Nordeste. As temperaturas médias máximas do ar de fevereiro nas três regiões ficaram abaixo dos 31,3°C⁽⁵⁾.

Como são registradas grandes amplitudes térmicas entre as temperaturas mínimas e máximas do ar ocorridas no verão do Rio Grande do Sul e, considerando-se que, para o cálculo do ITU é utilizado o valor médio da temperatura e umidade relativa do ar, é importante considerar o número de horas durante o dia, no qual as vacas em lactação foram submetidas às diferentes faixas de desconforto/conforto térmico. Os dados médios e desvio padrão do

número diário de horas nas quatro classificações do ITU, durante o trimestre avaliado, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 Dados médios e desvio padrão do número diário de horas nas quatro classificações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) durante os meses de dezembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2022, em dez Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	Número médio de horas por dia			
	ITU1	ITU2	ITU3	ITU4
DEZEMBRO/2021				
Serra do Nordeste	14,8±1,07a/A	6,5±0,9b/B	0,03±0,5c/B	0,0a/A
Planalto Médio	12,5±1,07ab/A	10,7±0,9ab/A	0,7±0,5bc/B	0,0a/A
Serra do Sudeste	15,5±1,08a/A	7,8±1,0ab/B	0,2±0,5c/B	0,0a/A
Encosta Inferior da Serra	10,8±1,31abc/A	11,3±1,2ab/A	1,3±0,6bc/B	0,0a/B
Grandes Lagos	12,9±1,31ab/A	8,6±1,2ab/B	0,16±0,6c/B	0,0a/A
Campanha	10,5±1,08abc/A	11,3±1,0a/A	1,4±0,5bc/B	0,07±0,3a/B
Depressão Central	10,2±1,31abc/A	11,9±1,2a/B	1,2±0,6bc/B	0,0a/B
Missioneira	7,8±1,09bc/A	11,7±1,0a/A	2,8±0,5ab/B	0,1±0,3a/B
Vale do Uruguai	6,8±1,08bc/A	11,7±1,0a/A	2,9±0,5ab/AB	0,3±0,3a/B
Baixo Vale do Uruguai	7,3±1,07c/A	12,4±0,9a/A	3,9±0,5a/B	0,5±0,3a/C
JANEIRO/2022				
Serra do Nordeste	11±1,08a/B	8,5±1,0a/A	1,7±0,5b/A	0,0c/A
Planalto Médio	9,5±1,07ab/B	9,8±1,0a/A	2,7±0,5b/A	0,2±0,3bc/A
Serra do Sudeste	8,5±1,07abc/C	10,9±1,0a/A	2,5±0,5b/A	0,4±0,3bc/A
Encosta Inferior da Serra	5,7±1,31abcd/A	12,3±1,2a/A	3,4±0,6ab/A	1,2±0,4bc/A
Grandes Lagos	5,4±1,31abcd/B	12,7±1,2a/A	2,5±0,6b/A	0,3±0,4bc/A
Campanha	5,2±1,07bcd/B	11,8±1,0a/A	3,7±0,5ab/A	1,0±0,3bc/A
Depressão Central	4,7±1,31bcd/B	12,4±1,2a/B	3,3±0,6ab/A	1,3±0,4bc/A
Missioneira	4,5±1,07bcd/B	11,8±1,0a/A	3,8±0,5ab/A	1,6±0,3b/A
Vale do Uruguai	3,4±1,09cd/B	9,7±1,0a/B	3,0±0,5ab/A	1,5±0,3bc/A
Baixo Vale do Uruguai	2,9±1,07d/B	11,5±1,0a/A	5,2±0,5a/A	3,6±0,3a/A
FEVEREIRO/2022				
Serra do Nordeste	14,5±1,08a/A	9,0±1,0a/A	0,3±0,5c/B	0,0a/a
Planalto Médio	12,6±1,08abc/A	10,1±1,0a/A	1,2±0,5bc/B	0,0a/a
Serra do Sudeste	12,9±1,08ab/A	10±1,0a/A	0,9±0,5bc/B	0,01±0,3a/a
Encosta Inferior da Serra	9,00±1,33abcd/B	12,4±1,2a/A	2,0±0,6abc/B	0,1±0,4a/b
Grandes Lagos	8,8±1,33abcd/C	13,4±1,2a/A	0,7±0,6bc/B	0,0a/a
Campanha	8,8±1,08bcd/A	12,3±1,0a/A	2,3±0,5abc/B	0,3±0,3a/b
Depressão Central	6,9±1,33cd/B	14,3±1,2a/A	2,3±0,6abc/ab	0,2±0,4a/b
Missioneira	7,2±1,08d/A	11,6±1,0a/A	2,8±0,5ab/b	0,4±0,3a/b
Vale do Uruguai	6,7±1,12d/A	9,3±1,0a/B	1,9±0,5abc/b	0,7±0,3a/b
Baixo Vale do Uruguai	5,5±1,08d/A	12,3±1,0a/A	4,2±0,5a/b	1,2±0,3a/b

Médias seguidas de mesma letra minúscula (efeito da região) e maiúscula (efeito do mês) na coluna, não diferem pelo teste de Tukey HSD, com 5% de probabilidade. ITU1 (≤ 70), ITU2 (71-78), ITU3 (79-83), ITU4 (≥ 84).

O mês de dezembro foi caracterizado por registrar situação térmica não estressante ao longo do dia ($ITU1 \leq 70$) em um maior número de regiões. Sete delas com valores acima de dez horas e três entre seis e oito horas. Os maiores períodos diários sem estresse térmico ocorreram nas Serras do Sudeste ($15,5 \pm 1,08h$) e Nordeste ($14,8 \pm 1,07h$); o menor, por sua vez, no Alto e Médio Vale do Uruguai ($6,8 \pm 1,08h$) (Tabela 4). Este resultado corrobora com os valores de ITU registrados em dezembro nas respectivas regiões ecolimáticas (Tabela 2).

Períodos na faixa de desconforto térmico ($ITU2=71-79$), que exige desde uma atenção até um alerta ao produtor rural quanto ao acondicionamento térmico dos animais, acima de 10 horas, ocorreram em sete regiões, sendo o maior número de horas registrado no Baixo Vale do Uruguai ($12,4 \pm 0,9 h$) e o menor na Serra do Nordeste ($6,5 \pm 0,9h$).

Em todas as regiões ocorreram pequenos períodos do dia dentro da faixa de desconforto térmico severo ($ITU3=79-83$). Valores mais elevados registrados no Baixo Vale do Uruguai, Alto e Médio Uruguai e Região Missioneira diferiram das outras regiões, porém não ultrapassaram quatro horas diárias. Situações emergenciais foram registradas nas três regiões, além da Campanha, porém em um curtíssimo espaço de tempo, não chegando a uma hora de duração.

Considerando-se que é necessário um período de três a seis horas noturnas dentro da zona de conforto térmico para que a vaca em lactação consiga dissipar o calor corporal produzido durante o dia, pode-se inferir que no mês de dezembro, embora ocorresse situações de estresse térmico, ainda assim, provavelmente, os animais conseguiram ativar os mecanismos fisiológicos de termorregulação, mantendo sua temperatura corporal fisiológica ($38^{\circ}C$ a $39^{\circ}C$), podendo não ter afetado a produção de leite.

Já em janeiro, em que foram registrados os valores mais elevados do ITU, somente na Serra do Nordeste, o número médio de horas diárias sem estresse térmico foi maior que dez, não diferindo do Planalto Médio e da Serra do Sudeste, com um mínimo de oito horas. No entanto, as outras sete regiões apresentaram períodos sem estresse térmico abaixo das seis horas necessárias para restabelecer a temperatura corporal normal; chegando a um período muito curto de conforto térmico no Alto e Médio Uruguai ($3,4 \pm 1,09h$) e Baixo Vale do Uruguai ($2,9 \pm 1,07$). Este mês também foi o que ocorreu o maior número de horas em situação de estresse severo e crítico, em todas as regiões, com exceção da Serra do Nordeste.

Em fevereiro, somente em três regiões, o período diário sem estresse térmico foi acima das 12h (Serras do Nordeste e do Sudeste e Planalto Médio; Tabela 4). Com exceção do Baixo Vale do Uruguai, as outras regiões registraram períodos sem estresse acima de seis horas, possibilitando, possivelmente, a termorregulação dos animais. Condição de estresse térmico severo ocorreu em todas as regiões, porém em períodos curtos do dia, abaixo de quatro horas. Situações emergenciais também foram registradas em sete regiões, porém abaixo de uma hora diária.

Um estudo com vacas Holando-Argentinas com produção média entre 29 e 32 l dia⁻¹, relata condição estressante, quando valores de ITU foram maiores que 68 e exposição de $8,5 \pm 1,09 h$ diárias de estresse calórico, utilizando somente o mês de fevereiro para representar a estação de verão⁽²⁹⁾, concordando com os achados deste levantamento.

Compilando todos os resultados da Tabela 4, pode-se inferir que no trimestre, em todas as regiões, a faixa de classificação de desconforto térmico mais frequente diariamente foi ITU2, com valores entre 71-75, situação que exige atenção dos produtores rurais quanto ao acondicionamento térmico das vacas em lactação. O mês de janeiro foi o mais preocupante, e para evitar o estresse calórico das fêmeas, foi necessário atuar no manejo dos animais para mitigar os efeitos da condição térmica sobre a produção de leite.

Para auxiliar o produtor rural na tomada de decisão, viável e economicamente assertiva, quanto ao manejo a ser adotado, visando enfrentar situações de estresse térmico, é importante definir em que horários do dia, houve uma maior probabilidade de ocorrer valores do ITU compatíveis com estresse, ou seja, $ITU > 70$, classificação adotada neste estudo. Os resultados obtidos estão apresentados graficamente para cada região, conforme a Figura 1.

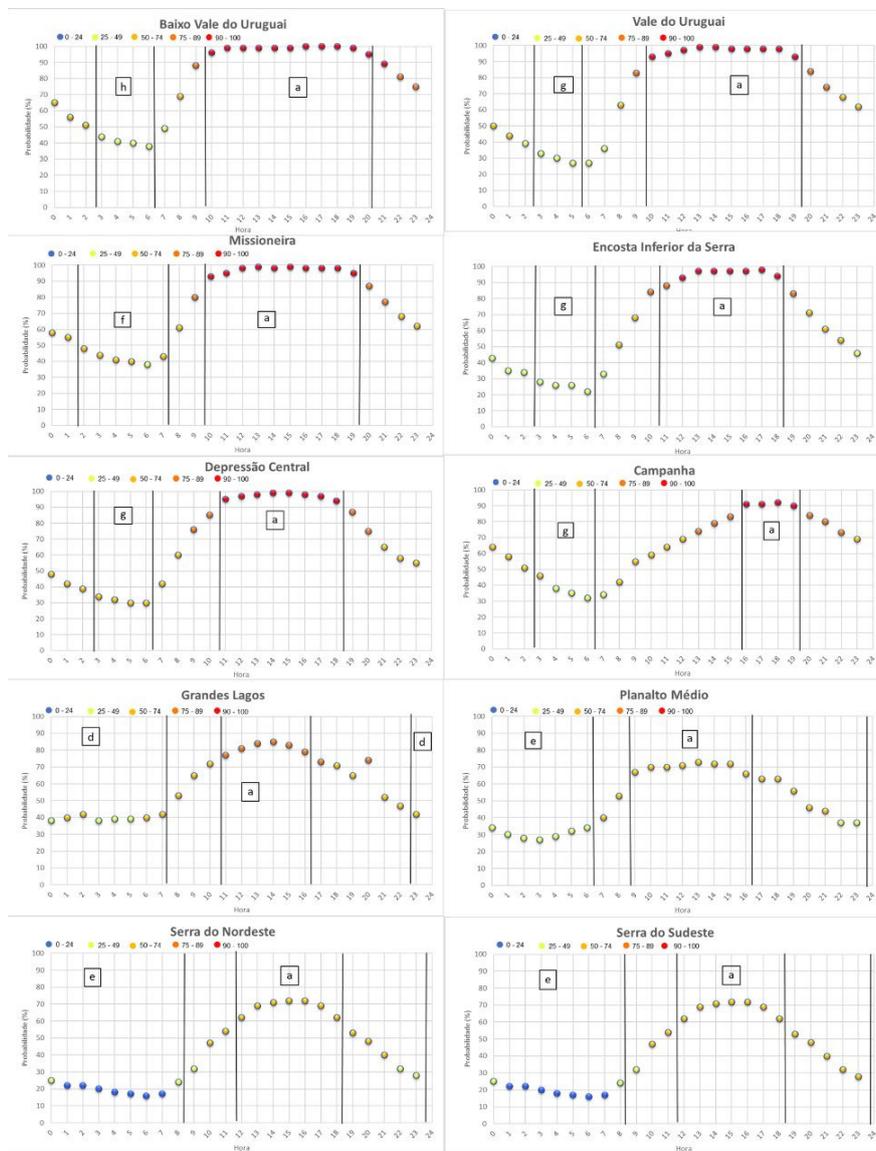


Figura 1 Probabilidades de ocorrência de estresse térmico ao longo do dia, nos meses de dezembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2023, em dez regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil. Letras diferentes na figura, indicam valores de probabilidades mais elevados e mais baixos e diferem estatisticamente pelo teste não paramétrico Bonferroni (5%).

Em todas as regiões do estado do Rio Grande do Sul, durante o verão de 2021/22, houve a probabilidade de ocorrência de estresse térmico ao longo do dia, chegando a valores extremamente elevados (100%; Baixo Vale do Uruguai) e baixos, como os 16%, registrados nas Serras do Nordeste e do Sudeste. Os períodos diários com as maiores probabilidades de ocorrer estresse, em grande parte das regiões, aconteceram entre 10:00h e 20:00h. Probabilidades de ocorrência acima dos 93% foram registradas no Baixo Vale do Uruguai, Alto e Médio Vale do Uruguai, Depressão Central, Região Missioneira e Encosta Inferior da Serra. Nestas regiões, as menores probabilidades de estresse térmico foram obtidas no intervalo entre às 02:00h e 06:00h, variando de 22% às 06:00h, na Encosta Inferior da Serra, até 48% às 02:00h, na região Missioneira.

Na região do Baixo Vale do Uruguai, no período diário entre 10:00h e 20:00h, a probabilidade de ocorrência de estresse térmico imposta aos animais foi extremamente elevada, variando de 95% a 100%. A menor probabilidade, abaixo de 44%, por sua vez, foi registrada entre às 03:00h e 6:00h. Esta região do Estado foi a que apresentou os maiores valores médio, máximo e mínimo do ITU, assim como, o maior número diário de horas em estresse térmico (Tabela 4) e, portanto, com a maior probabilidade de ocorrência, chegando a 100%, entre às 16:00 e 18:00h.

O Alto e Médio Uruguai, também apresentou probabilidades elevadas de ocorrência de estresse, com valores entre 93% e 99%, durante o período das 10:00h às 19:00h. Assim como na região anterior, a menor probabilidade de os animais estarem em zona de desconforto térmico ocorreu entre às 03:00h e 06:00h (abaixo dos 33%). Comportamento semelhante foi registrado na região Missioneira, porém as menores probabilidades de ocorrência, abaixo dos 48%, correspondeu ao período entre às 02:00h e 06:00h.

Na região da Campanha, o intervalo entre às 16:00h e 19:00h foi o que apresentou a maior probabilidade de acontecer estresse térmico, variando de 90% a 92%. Já a menor ocorreu às 06:00h (32%). Nas demais regiões, valores máximos de possível ocorrência variaram de 85% às 14:00h, nos Grandes Lagos, a 72% nas Serras do Nordeste e Sudeste às 15:00h. Estas últimas, registraram a menor probabilidade às 6:00h (16%).

Os resultados encontrados neste estudo, com as condições meteorológicas ocorridas no verão de 2021/22 no RS, revelaram que nas dez regiões ecoclimáticas do Estado houve a probabilidade de ocorrer estresse térmico, em maior ou menor percentual, ao longo do dia. Resultados semelhantes foram encontrados em estudo, em que a geoespacialização do ITU no Rio Grande do Sul, levando em consideração duas normais climatológicas (1961-1990 e 1981-2010), permitiu visualizar que 100% do território gaúcho está sob desconforto térmico pelo calor no período de verão ($ITU > 74$) e que até 27% do território está sob condições ambientais muito quentes ($ITU > 79$) no mês de janeiro; neste estudo, no entanto, não foi considerado o número de horas diário dentro das faixas de desconforto térmico⁽³⁰⁾.

Considerando que o maior consumo de matéria seca pelos bovinos ocorre após às 16:00h, em temperaturas mais amenas, observou-se que probabilidades de estresse térmico se mantiveram elevadas mesmo entre às 16:00h e 23:00h, ficando abaixo dos 50%, somente

nas Serras do Nordeste e do Sudeste, Planalto Médio, Grandes Lagos, Depressão Central e Encosta Inferior da Serra.

Os resultados deste estudo, também indicam que se deve ter uma preocupação em relação ao acondicionamento térmico das vacas em lactação, principalmente, no momento de maior consumo de matéria seca e durante a ordenha ao final da tarde, visto que as maiores probabilidades de ocorrência de estresse térmico ultrapassaram às 18:00 horas em várias regiões do Estado.

Estimativas de perda de produção de leite regionalizadas são importantes, pois servem de alerta e auxiliam técnicos e produtores rurais a adequar as estratégias de manejo de uma forma mais específica, visando mitigar os efeitos ambientais na produtividade dos animais e, conseqüentemente, evitar maiores prejuízos econômicos. De acordo com as condições climáticas ocorridas no verão de 2021/22 no RS, com registro de ondas de calor e estiagem, e, conforme as estimativas de queda de produção de leite calculadas, através do DPL, observou-se efeito ($P < 0,05$) de região, mês e da interação entre estas variáveis nos oito níveis de produção em todas as regiões avaliadas neste estudo.

Os dados médios e desvio padrão da queda estimada em oito níveis de produção de leite nas dez regiões ecoclimáticas do RS avaliadas, constam nas Tabelas 5 e 6. Para vacas com produção entre 5 kg dia⁻¹ e 20 kg dia⁻¹, as perdas médias estimadas variaram de um mínimo de 1,3 ± 0,07 kg dia⁻¹ no mês de dezembro, na região da Encosta Inferior da Serra, ao máximo de 5,1 ± 0,2 kg dia⁻¹ em janeiro, no Baixo Vale do Uruguai. As, com produção entre 25 kg dia⁻¹ e 40 kg dia⁻¹, foi estimada uma queda mínima de 2,7 ± 0,3 kg dia⁻¹ na Serra do Nordeste, novamente em dezembro, e o máximo de 9,1 ± 0,4 kg dia⁻¹, no Baixo Vale do Uruguai em janeiro.

Tabela 5 Queda média estimada (kg dia⁻¹) em quatro níveis de produção de leite durante os meses de dezembro (2021), janeiro e fevereiro de 2022 em dez Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	Nível de produção de leite (kg dia ⁻¹)			
	5	10	15	20
DEZEMBRO/2021				
Serra do Nordeste	1,4±0,06b/B	1,7±0,1b/B	2,0±0,2b/B	2,3±0,2b/B
Planalto Médio	1,5±0,06ab/B	2,0±0,1ab/B	2,5±0,2ab/B	3,0±0,2ab/B
Serra do Sudeste	1,4±0,06b/B	1,7±0,1b/B	2,0±0,2b/B	2,4±0,2b/B
Encosta Inferior da Serra	1,3±0,07b/B	2,0±0,1ab/B	2,5±0,2ab/B	3,0±0,3ab/B
Grandes Lagos	1,6±0,07bcde/B	1,6±0,1b/C	1,9±0,2b/C	2,1±0,3b/C
Campanha	1,6±0,05ab/B	2,1±0,1ab/B	2,6±0,1ab/B	3,0±0,2ab/B
Depressão Central	1,5±0,07abc/B	2,0±0,1ab/B	2,4±0,2ab/B	3,0±0,3ab/B
Missioneira	1,7±0,06a/A	2,3±0,1a/B	3,0±0,2a/B	3,7±0,2a/B
Vale do Uruguai	1,7±0,05a/A	2,4±0,1a/B	3,0±0,2a/B	3,7±0,2a/B
Baixo Vale do Uruguai	1,8±0,05a/B	2,5±0,1a/B	3,2±0,2a/B	4,0±0,2a/B
JANEIRO/2022				
Serra do Nordeste	1,5±0,06e/A	2,0±0,1e/A	3,0±0,2e/A	3,0±0,2e/A
Planalto Médio	1,6±0,05cde/A	2,2±0,1cde/A	3,0±0,2cde/A	3,4±0,2cde/A

Serra do Sudeste	1,6±0,05de/A	2,2±0,1de/A	2,7±0,2de/A	3,2±0,2de/A
Encosta Inferior da Serra	1,7±0,07bcde/A	2,4±0,1bcde/A	3,1±0,2bcde/A	4,0±0,3bcde/A
Grandes Lagos	1,6±0,07bcde/C	2,2±0,1bcde/A	2,8±0,2bcde/A	3,3±0,3 bcde/A
Campanha	1,8±0,06abcd/A	2,6±0,1abcd/A	3,3±0,2abcd/A	4,1±0,2 abcd/A
Depressão Central	1,8±0,07bcde/A	2,5±0,1bcde/A	3,2±0,2bcde/A	4,0±,3 bcde/A
Missioneira	1,9±0,05abc/A	2,7±0,1abc/A	3,5±0,2abc/A	4,3±0,2abc/A
Vale do Uruguai	1,9±0,06ab/B	2,8±0,1ab/A	3,6±0,2ab/A	4,5±0,2ab/A
Baixo Vale do Uruguai	2,1±0,05a/A	3,1±0,1a/A	4,1±0,2a/A	5,1±0,2a/A
FEVEREIRO/2022				
Serra do Nordeste	1,5±0,06c/AB	1,9±0,1c/AB	2,3±0,2c/A	2,7±0,2c/AB
Planalto Médio	1,6±0,06abc/AB	2,1±0,1abc/AB	2,6±0,2abc/AB	3,1±0,2abc/AB
Serra do Sudeste	1,5±0,06c/B	1,9±0,1c/A	2,3±0,2c/B	2,7±0,2c/B
Encosta Inferior da Serra	1,6±0,7abc/B	2,2±0,1abc/B	2,8±0,2abc/B	3,3±0,3abc/B
Grandes Lagos	1,5±0,073bc/B	1,9±0,1bc/B	1,9±0,2bc/C	2,7±0,3bc/B
Campanha	1,6±0,06abc/B	2,1±0,1abc/B	2,7±0,2abc/B	3,0±0,2abc/B
Depressão Central	1,6±0,07abc/B	2,2±0,1abc/B	2,8±0,2abc /B	3,3±0,3abc/B
Missioneira	1,7±0,05abc/B	2,3±0,1abc/B	3,0±0,1abc/B	3,6±0,2abc/B
Vale do Uruguai	1,8±0,05ab/B	2,5±0,1ab/B	3,2±0,2ab/B	4,0±0,2ab/B
Baixo Vale do Uruguai	1,8±0,05a/B	2,5±0,1a/B	3,3±0,2a/B	4,0±0,2a/B

Médias seguidas de mesma letra minúscula (efeito de região) e maiúscula (efeito de mês) na coluna, não diferem pelo teste de Tukey HSD, com 5% de probabilidade.

Tabela 6 Queda média estimada (kg dia⁻¹) em quatro níveis de produção de leite durante os meses de dezembro (2021), janeiro e fevereiro de 2022 em dez Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, Brasil.

Região Ecoclimática	Nível de produção de leite (kg dia ⁻¹)			
	25	30	35	40
DEZEMBRO/2021				
Serra do Nordeste	2,7±0,3b/B	3,0±0,3b/B	3,3±0,4c/B	3,6±0,4b/B
Planalto Médio	3,4±0,3ab/B	3,9±0,3ab/B	4,4±0,4ab/B	4,8±0,4ab/B
Serra do Sudeste	2,8±0,3b/B	3,1±0,3b/B	3,4±0,4b/B	3,8±0,4b/B
Encosta Inferior da Serra	3,4±0,3ab/B	3,1±0,4ab/B	4,4±0,5ab/B	4,9±0,5ab/B
Grandes Lagos	2,4±0,3b/C	2,7±0,4b/C	3,0±0,5b/C	3,2±0,5b/C
Campanha	3,6±0,3ab/B	4,0±0,3ab/B	4,5±0,4ab/B	5,0±0,4ab/B
Depressão Central	3,3±0,3ab/B	3,7±0,4ab/B	4,2±0,5ab/B	4,7±0,5ab/B
Missioneira	4,3±0,3a/B	4,9±0,3a/B	5,5±0,4a/B	6,2±0,4a/B
Alto e Médio Vale do Uruguai	4,3±0,3a/B	5,0±0,3a/B	5,6±0,4a/B	6,3±0,4a/B
Baixo Vale do Uruguai	4,7±0,3a/B	5,4±0,3a/B	6,1±0,4a/B	6,8±0,4a/B
JANEIRO/2022				
Serra do Nordeste	3,4±0,3e/A	3,9±0,3e/A	4,3±0,4e/A	4,8±0,4e/A
Planalto Médio	4,0±0,3cde/A	4,5±0,3cde/A	5,0±0,4cde/A	5,6±0,4cde/A
Serra do Sudeste	3,8±0,3de/A	4,3±0,3de/A	4,9±0,4de/A	5,4±0,4de/A
Encosta Inferior da Serra	4,5±0,3bcde/A	5,1±0,4bcde/A	5,8±0,5bcde/A	6,5±0,5bcde/A
Grandes Lagos	3,9±0,3bcde/A	4,5±0,4bcde/A	5,0±0,5bcde/A	5,6±0,5bcde/A
Campanha	4,8±,3abcd/A	5,6±0,3abcd/A	6,3±0,4abcd/A	7,1±0,4abcd/A

Depressão Central	4,6±0,3bcde/A	5,3±0,4bcd/A	6,0±0,5bcde/A	6,7±0,5bcde/A
Missioneira	5,1±0,3abc/A	6,0±0,3abc/A	6,8±0,4abc/A	7,5±0,4abc/A
Alto e Médio Vale do Uruguai	5,4±0,3ab/A	6,2±0,3ab/A	7,0±0,4ab/A	7,9±0,4ab/A
Baixo Vale do Uruguai	6,1±0,3a/A	7,1±0,3a/A	8,1±0,4a/A	9,1±0,4a/A
FEVEREIRO/2022				
Serra do Nordeste	3,1±0,3c/AB	3,6±0,3c/A	4,0±0,4c/A	4,4±0,4c/B
Planalto Médio	3,6±0,3abc/AB	4,1±0,3abc/AB	4,6±0,4abc/AB	5,1±0,4abc/AB
Serra do Sudeste	3,2±0,3c/B	3,6±0,3c/B	4,0±0,4c/B	4,4±0,4c/B
Encosta Inferior da Serra	4,0±0,3abc/B	4,4±0,4abc/B	4,9±0,5abc/B	5,5±0,5abc/B
Grandes Lagos	3,1±0,3bc/B	3,6±0,4bc/B	4,0±0,5bc/B	4,4±0,5bc/C
Campanha	3,8±0,3abc/B	4,3±0,3abc/B	4,8±0,4abc/B	5,4±0,4abc/B
Depressão Central	4,0±0,3abc/B	4,4±0,4abc/B	5,0±0,5abc/B	5,5±0,5abc/B
Missioneira	4,3±0,3abc/B	4,9±0,3abc/B	5,5±0,4abc/B	6,1±0,4abc/B
Alto e Médio Vale do Uruguai	4,6±0,3ab/B	5,3±0,3ab/B	6,0±0,4ab/B	6,7±0,4ab/B
Baixo Vale do Uruguai	4,7±0,3a/A	5,5±0,3a/B	6,2±0,4a/B	6,9±0,5a/B

Médias seguidas de mesma letra minúscula (efeito da região) e maiúscula (efeito de mês) na coluna, não diferem pelo teste de Tukey HSD, com 5% de probabilidade.

As maiores estimativas de queda de produção de leite, para grande parte dos oito níveis considerados neste estudo, foram registradas no mês de janeiro, com exceção do Planalto Médio e da Serra do Sudeste, onde não diferiu do mês de fevereiro (Tabelas 5 e 6), acompanhando o comportamento das elevadas temperaturas e dos valores do ITU calculados nas regiões ecolimáticas. Observou-se, também, que elevadas estimativas de perda de produtividade ocorreram em vacas com maior potencial de produção de leite.

Declínio mais acentuado em vacas de alta produção foi relatado para valores do ITU a partir de 72⁽³¹⁾. Assim como, vacas da raça holandesa demonstraram início de queda de produção de leite, com valores de ITU ≥ 72 ^(32, 33). Por outro lado, valores mais baixos do ITU (68) também propiciaram o início do declínio da produção de leite em vacas leiteiras de origem Europeia e de alta produção⁽³⁴⁾. Estes estudos corroboram com as estimativas de queda de produção de leite, considerando os valores médios do ITU calculados, nos oito níveis avaliados durante o verão de 2021/2022 no RS.

Em termos de produção de leite, vacas holandesas, criadas na região central do Arizona/EUA (clima quente e seco), com valores críticos mínimo, médio e máximo do ITU de 64; 72 e 76, respectivamente, reduziram a produção entre 11,5 a 16,0 kg diariamente, durante os meses de verão, quando comparada com períodos de temperaturas mais amenas⁽³⁵⁾. Já há relatos de que para valores de ITU de 70 ou menos, vacas leiteiras apresentam quase nenhum desconforto térmico, embora, de 75 ou mais, a produção de leite e a ingestão de alimentos sejam seriamente prejudicadas⁽³⁶⁾.

Um estudo conduzido com vacas mestiças Holandês Zebu, em salas de espera no Piauí (Brasil), identificou que a produção de leite reduziu em 2,46 kg nas vacas que ficaram no ambiente com duas horas de radiação solar com ITU de 73, quando comparado aos demais

ambientes (ITU abaixo de 69). Os parâmetros fisiológicos para esse grupo de animais indicaram estar fora da zona de termoneutralidade⁽³⁷⁾.

A redução no consumo de alimentos em gado leiteiro ocorre independentemente do seu estágio produtivo quando submetido a ambientes desafiadores, comprometendo a eficiência de utilização dos nutrientes da dieta⁽³⁸⁾. Autores indicam que a redução no consumo voluntário de alimentos tem sido a principal razão dos decréscimos na produção de leite em vacas submetidas ao estresse pelo calor^(39, 40).

Dessa maneira, se a temperatura permanecer acima de 30°C por mais de 6 horas, a produção de leite pode se reduzir em 4 kg dia⁻¹ para uma vaca que produza 27 kg dia⁻¹, representando enormes prejuízos para o produtor⁽⁴¹⁾. Ao atingir a temperatura de 25,5°C, uma vaca passa a ter dificuldades para eliminar o excesso de calor e o consumo de ração começa a diminuir^(42,43) e, como consequência, o teor de gordura do leite diminui e distúrbios digestivos aumentam⁽⁴⁴⁾. Para minimizar a produção diária de calor, quando a temperatura ambiental é de até 35°C, um aumento no consumo de água é esperado, porém temperaturas superiores a esta, deprimem o consumo de água, atividade física e tempo de ruminação, aumentam a frequência respiratória e reduzem a ingestão de alimentos em até 30%⁽⁴⁴⁾.

Redução de 49% e 55% da digestibilidade de matéria seca total e da proteína bruta, respectivamente, em animais estressados, foi relatada, comparando-se aos animais mantidos em conforto térmico, permanecendo em ambiente com temperatura média de 21°C, enquanto os em condições de estresse, permaneceram em câmara bioclimática, com temperatura média de 38°C, durante todo o período experimental⁽⁴⁵⁾.

Valores do ITU, durante a primavera e verão em três regiões da Croácia, onde, facilmente, excedem 72, demonstraram que as vacas estavam sujeitas a desenvolver estresse térmico, com diferenças na produção de leite ($p < 0,01$) entre os períodos com e sem estresse, indicando que a produção, em regiões com diferentes microclimas, pode ser significativamente afetada quando o ITU atinge níveis estressantes⁽⁴⁶⁾.

Investigação dos efeitos do estresse térmico em diferentes raças, mostrou que a produção de leite de vacas Holandesas e Jersey declinaram 0,69 kg e 0,45 kg, respectivamente, para cada aumento de uma unidade do ITU, indicando que a seleção para o aumento de produção de leite leva a um maior impacto pelo estresse térmico⁽⁴⁷⁾. Um experimento, em vacas Holandesas, avaliando o impacto da estação do ano na produção de leite, evidenciou decréscimo de 10% a 40% durante o verão, comparativamente ao inverno⁽⁴⁸⁾, destacando-se as variações sazonais substanciais na produção de leite devido ao estresse térmico.

Os resultados levantados neste estudo, durante o verão 2021/2022 no Rio Grande do Sul, indicam que, na região ecoclimática Baixo Vale do Uruguai, aqui representada pelos municípios de Itaqui, São Borja e Maçambará, condições de estresse térmico ocorridas, principalmente no mês de janeiro, foram importantes e, potencialmente, afetaram a produtividade leiteira. Embora a região se destaque na bovinocultura de corte, produtores de leite devem ficar atentos às condições ambientais impostas aos animais, principalmente os de alta produção durante a estação de verão. Estas mesmas recomendações devem ser também

consideradas para as regiões Alto e Médio Vale do Uruguai e Missioneira. No caso da primeira, representando uma região de grande produção de leite no Estado, é altamente recomendado tomar medidas de manejo visando o conforto térmico dos animais durante o verão para evitar perdas significativas de produtividade.

Em termos gerais, as regiões do Planalto Médio e Serras do Nordeste e do Sudeste ofereceram condições de conforto térmico, ou possibilidade de dissipação do excesso do calor corporal produzido pelos animais durante o dia, ao longo do verão de 2021/2022.

Nestas regiões, registraram-se os menores valores médio, máximo e mínimo do ITU, períodos diários em faixa de desconforto térmico mais curtos e mais baixos valores estimados de queda de produção de leite, assim como as maiores médias de altitude, considerando-se os municípios aqui avaliados (575m, 775m e 399m; Tabela 2); concordando com o zoneamento bioclimático realizado no estado do Rio Grande do Sul que identificou condições ambientais muito quentes a extremamente quentes, no período primavera/verão, com maior severidade nas regiões de menor altitude⁽⁴⁹⁾. Assim como, com o estudo realizado durante os verões dos anos de 2000 a 2020, em que se identificou três classes do ITU no RS, prevalecendo a região de maior altitude (parte das mesorregiões Nordeste e Noroeste) com os menores valores do ITU (entre 68 e 66) e a de menor altitude (fronteira com a Argentina e litoral) com os maiores valores do índice (ITU>72)⁽⁵⁰⁾. Para alguns autores, corroborando com os achados desta avaliação durante o verão, o ITU >70, que está presente na maior parte do território gaúcho, indica desconforto a estresse calórico e deve ser avaliado para cada categoria animal^(41, 51, 52).

Estratégias de manejo visando minimizar situações de estresse térmico são fundamentais para evitar perdas reprodutivas e de desempenho produtivo. Conforme os resultados até agora apresentados, registrou-se condição de estresse térmico ao longo do dia, indicando que medidas foram necessárias para restabelecer o conforto térmico dos animais, principalmente no mês de janeiro. Estas medidas visam o controle eficiente do ambiente por meio da utilização de mecanismos naturais ou artificiais para potencializar a dissipação do calor corporal dos animais. Entre esses, pode-se destacar o incremento da movimentação do ar, o umedecimento da superfície do animal, o resfriamento evaporativo do ar (sistemas como ventilador, aspersor e painel evaporativo) e o uso de sombras para minimizar os efeitos da radiação solar direta^(53, 54, 55), além da introdução de dietas com menor incremento calórico⁽¹³⁾.

Na escolha da prática a ser adotada na propriedade, devem-se considerar as necessidades dos animais, o impacto das tecnologias escolhidas sobre as condições ambientais, o nível de gerenciamento da propriedade, o capital disponível e a relação custo-benefício da tecnologia escolhida⁽⁵⁶⁾.

A criação de bovinos leiteiros em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é uma opção economicamente interessante e sustentável para fornecer sombreamento aos animais e aumento da produtividade, por disponibilizar um microclima mais favorável, beneficiando troca calórica e manutenção do conforto térmico⁽⁵⁷⁾. Estudos indicam incremento na produção de leite de 9,7%⁽⁵⁸⁾ a 15%^(59, 60) e na taxa de concepção de até 20%, além de redução no número de serviços por concepção de até 50% em sistemas ILPF no Brasil. Paralelamente, a busca por cruzamentos entre raças que possam manter um

elevado padrão de produção e de estado imunológico, mesmo em condições estressantes, é também uma alternativa para contornar impactos negativos do clima, com verões extremamente quentes, na produção leiteira⁽⁶¹⁾.

Conclusão

A região do Baixo Vale do Uruguai se destacou nos três meses consecutivos com os maiores valores médios do ITU, dentro da faixa de desconforto térmico, enquanto na Serra do Nordeste, os valores não indicaram estresse calórico. No trimestre, em todas as regiões, a faixa de classificação de desconforto térmico mais frequente, diariamente, variou desde uma atenção até um alerta aos produtores rurais quanto ao conforto térmico dos animais. Nos meses avaliados, verificaram-se períodos de estresse ao longo do dia, destacando-se o mês de janeiro, em que ocorreu o maior número diário de horas em situação de estresse severo e crítico, em todas as regiões, com exceção da Serra do Nordeste. Em todas as regiões do estado do Rio Grande do Sul, durante o verão de 2021/22, houve a probabilidade de ocorrência de estresse térmico ao longo do dia, chegando a valores extremamente elevados no Baixo Vale do Uruguai, e baixos nas Serras do Nordeste e do Sudeste. As maiores estimativas de queda de produção de leite, para grande parte dos oito níveis considerados neste estudo, foram registradas no mês de janeiro, com exceção do Planalto Médio e da Serra do Sudeste, acompanhando o comportamento das elevadas temperaturas e dos valores do ITU calculados nas regiões ecoclimáticas. Observou-se, também, que elevadas estimativas de perda de produtividade ocorreram em vacas com maior potencial de produção de leite.

Declaração de conflito de interesse

Os autores não possuem interesses conflitantes

Contribuições do autor

Ivonete Fatima Tazzo: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Gerenciamento do projeto, Supervisão, Validação, Visualização, Redação (esboço original), Redação (revisão e edição);

Adriana Kroef Tarouco: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Validação, Visualização, Redação (esboço original), Redação (revisão e edição);

Paulo Henrique Correia Allen Junior: Curadoria de dados, Redação (esboço original);

Carolina Bremm: Análise formal, Metodologia;

Loana Silveira Cardoso: Redação (esboço original), Redação (revisão e edição);

Amanda Heemann Junges: Redação (esboço original), Redação (revisão e edição).

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ao terceiro autor.

Referências

1. Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. Atlas climático do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. 2011. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 08 abr. 2023.

2. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Estado do Clima no Brasil em 2022. Edição Digital. Brasília 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-OFICIAL.pdf#page=1&zoom=auto,-99,842> Acesso em: 06 dez. 2023
3. Junges, AH, Tazzo, IF, Cardoso, LS, Cera, JC. Avaliação da onda de calor ocorrida em janeiro de 2022 no Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*. 2022. Nov 3;30. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v30>.
4. Junges AH, Varone F, Cardoso LS, Tazzo IF. Condições meteorológicas ocorridas em dezembro de 2021 e situação das principais culturas agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. *Comunicado Agrometeorológico*. 2021. Dez. 33, 6–26. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 08 abr. 2023.
5. Tazzo IF, Varone F, Cardoso LS, Junges AH. Condições meteorológicas ocorridas em fevereiro de 2022 e situação das principais culturas agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul. *Comunicado Agrometeorológico*. 2022. Fev. 35, 6–26. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 08 abr. 2023.
6. Bond TE, Kelly CF, Ittner NR. Radiation studies of pointed shade materials. *Agricultural Engineering*. 1954. 35(6):389–92.
7. Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, et al. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 2009. May;92(5):1986–97.
8. Wheelock JB, Rhoads RP, VanBaale MJ, Sanders SR, Baumgard LH. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2010. Feb 93(2):644–55. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
9. Lage CFA, Malacco VMR, Lombardi MCL, Reis RB, Coelho SG. Efeitos do estresse térmico materno no final do período seco e lactação: estresse calórico, saúde, desenvolvimento, produção de leite, composição do leite. *Nutritime Revista Eletrônica*. 2018. Feb, 15(1):8097–106. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-459.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.
10. Perissinoto M. Sistemas de climatização em galpões tipo “freestall” para confinamento de gado leiteiro[Dissertação]. [Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo]; 2003. p. 140. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-16042004-161110/publico/mauricio>. Acesso em: 20 fev. 2023.
11. Sousa Júnior SC de, Moraes DAEF, Vasconcelos Ângela M de, Nery KM, Moraes JHG, Guilhermino MM. Características Termorreguladoras de Caprinos, Ovinos e Bovinos em Diferentes Épocas do Ano em Região Semi-Árida. *Rev. Cient. Prod. Anim.* [Internet]. 7º de setembro de 2010 [citado 24º de janeiro de 2024];10(2). Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/rcpa/article/view/42731>Acesso em: 20 fev. 2023.
12. Baêta FC, Souza CF. *Ambiência em Edificações Rurais: conforto térmico animal*. Viçosa: Editora UFV; 1997.
13. Azevêdo DMMR, Alves AA. *Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos*. Teresina: Embrapa Meio-Norte; 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/664507/bioclimatologia-aplicada-a-producao-de-bovinos-leiteiros-nos-tropicos>. Acesso em: 20 fev 2023.
14. Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*. 2002. Oct, 77(1):59–91. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X).
15. Coppock CE, West JW. Nutritional adjustments to reduce heat stress in lactating dairy cows. In: *Proc Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry*. Atlanta; 1986.
16. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 2000. Dec, 67(1-2):1–18. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7).
17. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 1999. Feb, 77(suppl_2):10–20. DOI: https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x.
18. Zang CJ. Effect of dietary cation-anion balance on production performance and blood biochemistry indicators of dairy cows in the condition of heat stress. *Xinjiang: Xinjiang Agricultural University*; 2008.
19. Thom EC. *The discomfort index*. *Journal of Animal Science*. Washington: Eatherwise; 1958.

20. Buffington DE, Collazo-Arocho A, Canton GH, Pitt D. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*. 1981. 24(3):711–4.
21. Melo A, Moreira JM, Ataídes DS, Guimarães RAM, Loiola JL, Sardinha HC. Efeitos do estresse térmico na produção de vacas leiteiras: Revisão. *Pubvet [Internet]*. 28° de setembro de 2016 [citado 24° de janeiro de 2024];10(10). Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1414>.
22. Junges AH. Caracterização climática da temperatura do ar em Veranópolis, Rio Grande do Sul. *Agrometeoros*. 2020. Mar, 3 ,26(2):299–306. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i2.26411>.
23. Berlato MA, Cordeiro APA. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*. 2017. 25(2):273–302. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/25884/14084>. Acesso em: 15 jan. 2023.
24. Tazzo IF, Tarouco AK, Cardoso LS, Junges AH, Allem Junior PHC, Pinto GM, da Silva Y. Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite no inverno de 2022. *Comunicado Agrometeorológico* 44. 2022. Jan, 6-37. Available from: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 08 abr. 2023.
25. Rosenberg LJ, Biad BL, Verns SB. Human and animal biometeorology. In: *Microclimate: the biological environment*. New York: Wiley- Interscience Publication; 1983. p. 423–67.
26. Berry IL, Shanklin MD, Johnson HD. Dairy Shelter Design Based on Milk Production Decline as Affected by Temperature and Humidity. *Transactions of the ASAE*. 1964. 7(3):0329–31.
27. Hahn GL. *Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicações*. Jaboticabal: FUNEP; 1993.
28. Cardoso LS, Varone F, Junges AH, Tazzo IF. Condições meteorológicas ocorridas em janeiro de 2022 e situação das principais culturas agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. *Comunicado Agrometeorológico* 34, 2022. Jan. 6–29. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 08 abr. 2023.
29. Lendez PA, Cuesta LM, Farias ME, Vater AM, Ghezzi MD, Mota-Rojas D, et al. Alterations in TNF- α and its receptors expression in cows undergoing heat stress. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2021. Maio, 1, 235(235):110232–2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110232>.
30. Boff de Oliveira Z, Bottega EL, Boff de Oliveira M, Moares da Silva C, Link TT. Análise do conforto térmico no Estado do Rio Grande do Sul utilizando técnicas Geoestatísticas e dados das normais climatológicas. *Engenharia na Agricultura*. 2019. Jun. 19, 27(3):195–203. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i3.935>.
31. Johnson H. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *Internacional Journal of Biometeorology*. 1980. 24(1):65–78.
32. Bertocelli P, Martin T, Ziech MF, Paris W, Cella P. Conforto térmico alterando a produção leiteira. *Enciclopédia Biosfera*. 2013. Dez. 1 ,9(17):762–77. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3061>. Acesso em: 15 mar. 2023.
33. Martello LS. *Interação animal: ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em freestall [tese]*. [Pirassununga (SP) Universidade de São Paulo] 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-05102006-091637/pt-br.php>. Acesso em: 15 mar. 2023.
34. Dalcin VC. *Parâmetros fisiológicos em bovinos leiteiros submetidos ao estresse térmico [Dissertação]*. [Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.]; 2013. 1–49. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/89729>. Acesso em: 22 mar. 2023.
35. Igono MO, Bjrtvedt G, Sanford-Crane HT. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holsteins cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*. 1992. 36:77–87.
36. Oliveira E, Delgado R, Rosa S, Souza PJ, Neves L. Efeitos do estresse térmico sobre a produção de bovinos de leite no município de MARILÂNDIA- ES . *Enciclopédia Biosfera*. 2023. Mar, 9 9(16). Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3417>. Acesso em: 15 mar. 2023.
37. Dias e Dias TP, Oliveira RG, Sousa Junior SC, Santos KR. Efeito da exposição à radiação solar sobre parâmetros fisiológicos e estimativa do declínio na produção de leite de vacas mestiças (Holandês X Gir) no sul do estado do

Piauí. *Comunicata Scientiae*. 2012. 3(4):299–305.

38. BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2001. 142p.

39. Chen KH, Huber JT, Theurer CB, Armstrong DV, Wanderley RC, Simas JM, et al. Effect of protein quality and evaporative cooling on lactational performance of Holstein cows in hot weather. *Journal of Dairy Science*. 1993;76(3):819–25.

40. McDowell RE, Hooven NW, Camoens JK. Effect of Climate on Performance of Holsteins in First Lactation. *Journal of Dairy Science*. 1976. Maio. 59(5):965–71. DOI: <https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302%2876%2984305-6>.

41. de Souza BB, Silva IJ de O, Mellace EM, Santos RFS, Zotti CA, Garcia PR. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*. 2010. Out. 13 ,6(2). DOI: <https://doi.org/10.30969/acsa.v6i2.69>.

42. da Cruz LV, Angrimani DSR, Rui BR, da Silva MA. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira: revisão de literatura. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. 2011. 9(16). Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/3Kbw8tpmlajpspv_2013-6-26-10-55-41.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023.

43. Dash S, Chakravarty AK, Singh A, Upadhyay A, Singh M, Yousuf S. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary World*. 2016. Mar, 9(3):235–44. DOI: <https://doi.org/10.14202%2Fvetworld.2016.235-244>.

44. Silva JCPM, et al. Bem-estar do gado leiteiro. 1st ed. Viçosa: Aprenda Fácil; 2012.

45. Passini R, Ferreira FA, Borgatti LMO, et al. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. *Acta Scientiarum Animal Sciences*. 2009;31(3):303–9.

46. Gantner V, Mij P, Kuterovac K, Solić D, Gantner R. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo*. 2011;61(1):56–63.

47. West JW. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science*. 1999. 77(suppl_2):21–35. DOI: https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_221x.

48. Du Preez JH, Hattingh PJ, Giesecke WH, Eisenberg BE. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. III. Monthly temperature-humidity index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. *Onderstepoort J Vet Res*. 1990 Dez;57(4):243–8.

49. de Oliveira ZB, Bottega EL, Silva CM, Rodrigues LR, Knies AE. Zoneamento bioclimático do Estado do Rio Grande do Sul para o conforto térmico de animais e do trabalhador rural. *Ambiência*. 2017. 13(2):423–38. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/4688>. Acesso em: 18 jan. 2023.

50. Boff de Oliveira Z, Bottega EL, Boff de Oliveira M, Moares da Silva C, Link TT. Análise do conforto térmico no Estado do Rio Grande do Sul utilizando técnicas geoestatísticas e dados das normais climatológicas. *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*. 2019. Jun, 19, 27(3):195–203. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i3.935>.

51. Mendes AM de P, de Azevedo M, Lopes PMO, Moura GB de A. Zoneamento bioclimático para a raça ovina Dorper no Estado de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2014. Dez. 1 ,49(12):986–93. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200009>.

52. Silva Júnior JLC. Zoneamento da região sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade, para o gado leiteiro [Tese]. [Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós – Graduação Meteorologia Agrícola]; 2001. p. 73. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8134>. Acesso em: 12 fev. 2023.

53. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, de Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2011. Dez. 8 6(05):707–28. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731111002448?via%3Dihub. Acesso em: 22 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>.

54. West JW. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003. Jun. 86(6):2131–44. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

55. Pennington JA, Vandevender K. Heat Stress in Dairy Cattle – DAIReXNET. 2004. Disponível em: <https://dairy->

cattle.extension.org/heat-stress-in-dairy-cattle. Acesso em: 12 fev. 2023.

56. Pires M de FA, Campos AT. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite. Comunicado Técnico 42. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; 2004. Dez. p. 6. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65410/1/COT-42-Modificacoes-ambientais.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2023.
57. Giro A, Pezzopane JRM, Barioni Junior W, Pedroso A de F, Lemes AP, Botta D, et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of The Total Environment*. 2019. Set. 20, 684(684):587–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>.
58. Paciullo DSC, Pires MFA, Aroeira LJM, Morenz MJF, Maurício RM, Gomide CAM, et al. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass–legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*. 2014. 8(8): 1264–71. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>.
59. Pires MFA, Paciullo DSC, Pires JAA. Conforto animal no sistema integração lavoura-pecuária-floresta. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, Minas Gerais: Epamig; 2010. p. 91–8. Disponível em: http://alerta.cpac.embrapa.br/publicacoes/2011/alerta20022011/informe_agropecuario_31_257_2010.pdf. Acesso em: 16 mai. 2023.
60. Ricci GD, Orsi AM, Domingues PF. ESTRESSE CALÓRICO E SUAS INTERFERÊNCIAS NO CICLO DE PRODUÇÃO DE VACAS DE LEITE- REVISÃO. *RVZ [Internet]*. 2º de agosto de 2022 [citado 24º de janeiro de 2024];20(3):381-90. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/1028> Acesso em: 12 fev. 2023.
61. Buckley F, Lopez-Villalobos N, Heins BJ. Crossbreeding: implications for dairy cow fertility and survival. *Animal*. 2014. 8(Supll 1):122–33. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114000901>.