

## VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE NO RIO GRANDE DO SUL - BRASIL PARA AS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO

ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, SIDINEI ZWICK RADONS<sup>2</sup>, EDUARDO LEONEL BOTTEGA<sup>1</sup>, ALBERTO EDUARDO KNIES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul, Rodovia Taufik Germano, 3013, Passo D'Areia, CEP 96503-205, Cachoeira do Sul/RS, Brasil, zanandra.oliveira@ufsm.br, bottega.elb@gmail.com.

<sup>2</sup>Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Cerro Largo, Av. Jacó Reinaldo Haupenthal, 1580, Bloco de Professores, Sala 209, CEP 97900-000, Cerro Largo/RS, Brasil, sidineiradons@gmail.com.

<sup>3</sup>Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Rio grande do Sul, Unidade de Cachoeira o Sul, Rua Sete de Setembro, 1040, Centro, CEP 96508-010, Cachoeira do Sul/RS, Brasil, albertoek@gmail.com.

**RESUMO:** O presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espacial do índice de temperatura e umidade (ITU) no Rio Grande do Sul (RS), para as quatro estações do ano. O estudo foi realizado para quarenta e dois municípios do estado, para os quais foi calculado o ITU médio a partir de dados de temperatura e umidade relativa horária registrados em estações meteorológicas automáticas do INMET de temperatura e umidade relativa horária, referentes ao período de 2000 a 2020. Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial da variável por meio de krigagem ordinária para as quatro estações do ano. No verão, a maior parte do território gaúcho possuiu ITU > 70, indicativo de desconforto calórico, que deve ser avaliado para cada categoria de produção animal. Já na fronteira oeste e região metropolitana, o ITU maior do que 72 demonstra que há estresse calórico, implicando na necessidade de práticas de condicionamento ambiental para redução do calor. No outono e inverno, a maior parte do território apresentou ITU entre 56 e 60, indicativo de desconforto por frio e, no extremo sul gaúcho, o valor de ITU menor que 54 representa estresse por frio no inverno, implicando na necessidade de práticas de condicionamento ambiental para a mitigação do frio. Enquanto, na primavera, o ITU entre 62 e 68, demonstra que há conforto térmico para a maioria dos animais de produção zootécnica e para seres humanos. Desse modo, a observação da variabilidade espacial e temporal do ITU no RS é importante para a adoção e o manejo de práticas de condicionamento térmico ambiental assertivas.

**Palavras-chaves:** ambiência de precisão, geoestatística, conforto térmico.

## SPATIAL VARIABILITY OF THE TEMPERATURE AND HUMIDITY INDEX IN RIO GRANDE DO SUL - BRAZIL FOR DIFFERENT SEASONS OF THE YEAR

**ABSTRACT:** This study aims to analyze the spatial variability of the temperature and humidity index (THI) in Rio Grande do Sul (RS) for the four seasons of the year. The study was conducted for forty-two municipalities in the state, for which the average THI was calculated from hourly temperature and relative humidity data registered by automatic weather stations of the INMET in the period from 2000 to 2020. Once the spatial dependence was detected, the thematic map of the spatial distribution of the variable was produced by means of ordinary kriging for the four seasons of the year. In the summer, most of the state's territory had THI > 70, indicative of caloric discomfort, which must be evaluated for each category of animal production. On the other hand, in the western border and metropolitan region, the THI greater than 72 shows that there is heat stress, implying the need for environmental conditioning practices to reduce heat. In autumn and winter, most of the territory presented THI between 56 and 60, it is indicative of cold discomfort and, in the extreme south of Rio Grande do Sul, the THI lower than 54 represents cold stress in winter, implying the need for environmental conditioning practices for the mitigation of the cold. While, in the spring, the THI between 62 and 68 shows that there is thermal comfort for most animals of zootechnical production and for humans. Thus, the observation of the spatial and temporal variability of the THI in RS is

important for the adoption and management of assertive environmental thermal conditioning practices.

**Keywords:** precision ambiente, geostatistics, thermal comfort.

## 1 INTRODUÇÃO

O clima é caracterizado pela variação de um conjunto de elementos meteorológicos (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015) que, sob determinado intervalo de tempo, influenciam significativamente na caracterização de fatores físicos e biológicos, tais como solo e vegetação de uma dada região (VALÉRIO *et al.*, 2018). Na produção animal, o conhecimento do clima da região é importante para projetos de instalações e para o manejo dos animais (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Nos humanos, o clima interfere principalmente na alimentação, na vestimenta e no tipo e intensidade das atividades (BURIOL *et al.*, 2015).

A zona de conforto térmico é aquela faixa de temperatura ambiente dentro da qual o animal homeotermo praticamente não utiliza seu sistema termorregulador, sendo mínimo o gasto de energia para manutenção, ocorrendo a maior eficiência produtiva (BAÊTA; SOUZA, 2012; SILVA, 2000). O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA; ESCHIFFER, 2001). Quando há dificuldade de termorregulação podem ocorrer uma série de distúrbios, como exaustão térmica, câimbras por calor, insolação ou síncope por calor (CAMARGO; FURLAN, 2011). Para animais de produção, quando a temperatura do ar e a umidade relativa do ar estão fora do ideal, levam o animal a ficar fora da sua zona de conforto térmico, provocando impactos negativos na produção, no comportamento, na sanidade e no bem-estar (CASA; RAVELO, 2003; GAUGHAN *et al.*, 2008; BAÊTA; SOUZA, 2012).

Vários índices têm sido desenvolvidos para classificar o nível de conforto térmico ambiental, podendo-se destacar o índice de desconforto humano (IDH) (ONO; KAWAMURA, 1991), o índice de temperatura

efetiva (TE) (THOM, 1959), o índice de temperatura e umidade do globo (ITGU) (BUFFINGTON *et al.*, 1981) e o índice de temperatura e umidade (ITU) (THOM, 1959). O ITU é um dos índices mais utilizados, pois combina em um único valor, os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar, que são os principais condicionantes para o conforto térmico (HONJO, 2009; VAREJÃO-SILVA, 2005; BAÊTA, SOUZA, 2012). Além disso, são variáveis facilmente obtidas na rede de observação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sem a necessidade de instrumentação específica para a aquisição de dados.

De acordo com Oliveira *et al.* (2006), mapas temáticos elaborados a partir de banco de dados meteorológicos e informações geográficas (SIG), são importantes para a tomada de decisão com relação à ambiência animal e humana. Oliveira *et al.* (2019) identificaram por meio da geoespacialização do ITU máximo, que 100% do território gaúcho está sob desconforto térmico por calor no período de verão ( $ITU > 74$ ), demandado estratégias ambientais para melhoria do conforto térmico de animais de produção.

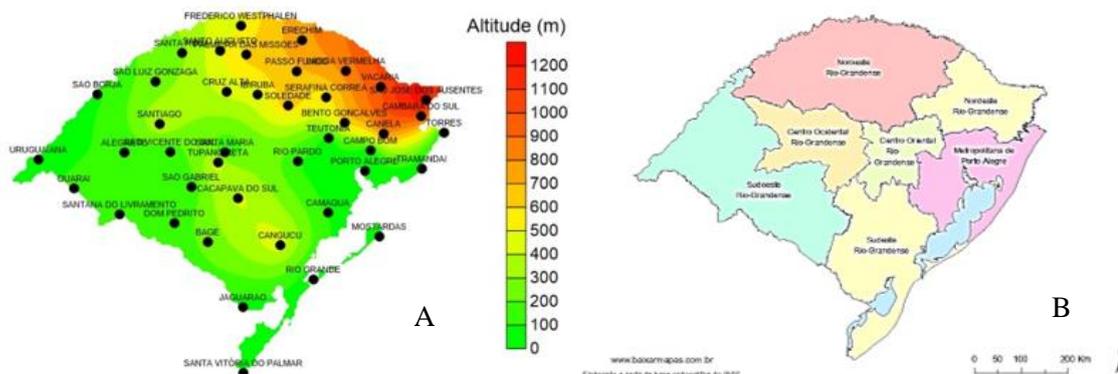
Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos ambientais como o caso do ITU e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar na definição de técnicas construtivas e estratégias para acondicionamento térmico ambiental de forma regionalizada, contribuindo para uma melhor eficiência produtiva. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espacial do ITU no Rio Grande do Sul para as quatro estações do ano.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para os municípios do estado do Rio Grande do Sul que constam no banco de dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

(<https://portal.inmet.gov.br/>), perfazendo quarenta e dois municípios, cuja a localização geográfica pode ser observada na Figura 1.

**Figura 1.** Mapa com a localização geográfica dos municípios estudados (A) e as mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul (B).



**Fonte:** Autor (A) e Baixar Mapas (2021) (B).

Os dados meteorológicos horários de temperatura e umidade relativa do ar utilizados para o cálculo do ITU, foram referentes ao período de 2000 a 2020.

O ITU horário foi calculado pela Equação 1, proposta por Buffington *et al.* (1982).

$$ITU = 0,8 Tar + UR \frac{Tar - 14,2}{100} + 46,3 \quad (1)$$

Em que,  
ITU é o índice de temperatura e umidade, adimensional;  
Tar é a temperatura do ar, °C; e  
UR é a umidade relativa do ar, (%).

Com base nos valores horários de ITU, foram calculadas médias diárias, mensais e estacionais, nessa ordem. Para a realização dos mapas de variabilidade espacial os dados mensais foram agrupados em estações do ano, considerando verão (jan-mar), outono (abr-jun), inverno (jul-set) e primavera (out-dez).

A dependência espacial do ITU foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 2, conforme Vieira *et al.* (2010).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

Em que,

$\hat{\gamma}(h)$  é a semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;  
H é a distância de separação entre pares de pontos, m; e  
N (h) é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_{i+h})$  separados por uma distância h.

Foram testados os seguintes modelos: linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A). Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático de variabilidade espacial do ITU. A interpolação dos mapas foi realizada utilizando o método da krigagem ordinária. A escala dos mapas foi ajustada para 2 unidades de ITU (variável para cada estação do ano, buscando identificar a variabilidade entre locais). A análise geoestatística e os mapas foram confeccionados com o software GS+.

A análise bioclimática do ITU para a escala de calor foi realizada conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Intervalos do índice de temperatura e umidade (ITU) e seus indicativos de conforto e desconforto térmico para trabalhadores rurais e animais de produção.

<b>Intervalo do ITU</b>	<b>Efeito no conforto térmico</b>
ITU < 70	Sem desconforto por calor para a maioria das categorias de animais de produção.
70 a 72	Ambiente quente, no qual se inicia o desconforto calórico para a maioria das categorias de animais de produção.
72 a 76	Ambiente quente, em que o desconforto térmico pode trazer perdas de produtividades para algumas categorias de animais de produção.
76 a 80	Condições ambientais muito quentes, com perdas de produtividade e podendo trazer consequências à saúde do trabalhador rural.
ITU ≥ 80	Estresse calórico elevado, com perdas de produtividade acentuada e consequências graves à saúde do trabalhador rural.

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2010), Baêta e Souza (2012), Abreu e Abreu (2011), Higashiyama *et al.* (2013).

A análise bioclimática do ITU para a escala de frio (Tabela 2) foi realizada conforme sugere Oliveira e Knies (2019), utilizando-se a escala do índice de desconforto humano (IDH) proposta por Ono e Kawamura (1991), visto que não há na literatura escala para a análise

bioclimática do ITU nas condições de outono e inverno, sendo os valores de ITU e IDH semelhantes, uma vez que as variáveis de entrada e os coeficientes das equações são similares (OLIVEIRA; KNIES, 2019).

**Tabela 2.** Intervalos do índice de desconforto humano (IDH) e seus indicativos de conforto e desconforto térmico para trabalhadores rurais.

<b>Intervalo de IDH</b>	<b>Efeito no conforto térmico</b>
55 a 60	Desconfortável devido ao frio
IDH < 55	Estresse devido ao frio

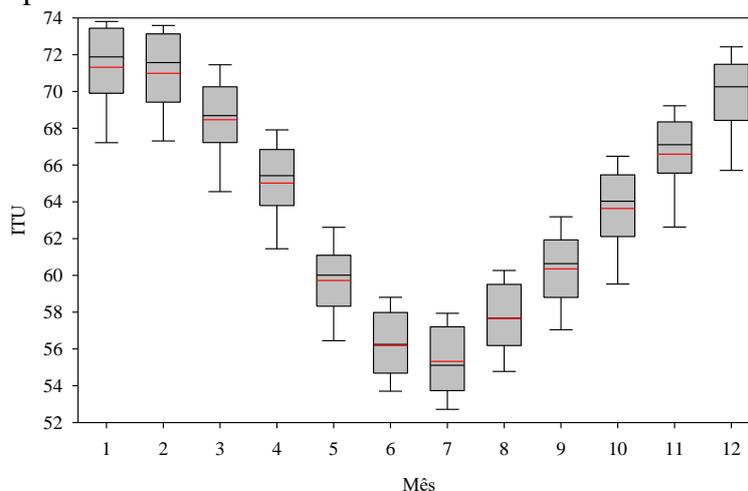
Fonte: Adaptado de Ono; Kawamura (1991):

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ITU é máximo no mês de janeiro e mínimo no mês de julho, apresentando menor variabilidade nos meses mais frios do ano (Figura 2), seguindo a mesma tendência da temperatura do ar. Segundo Buriol et al. (1973),

no Rio Grande do Sul os valores mais baixos de temperaturas médias mensais do ar ocorrem em julho, entre 9 e 10°C no extremo leste da Região do Planalto, e os mais elevados em janeiro, entre 25 e 26°C, nas regiões do Alto e Baixo Vale do Rio Uruguai.

**Figura 2.** Análise de box plot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95) e médias (vermelho) do índice de temperatura e umidade (ITU) observado para os diferentes meses do ano em quarenta e dois municípios do Rio Grande do Sul.



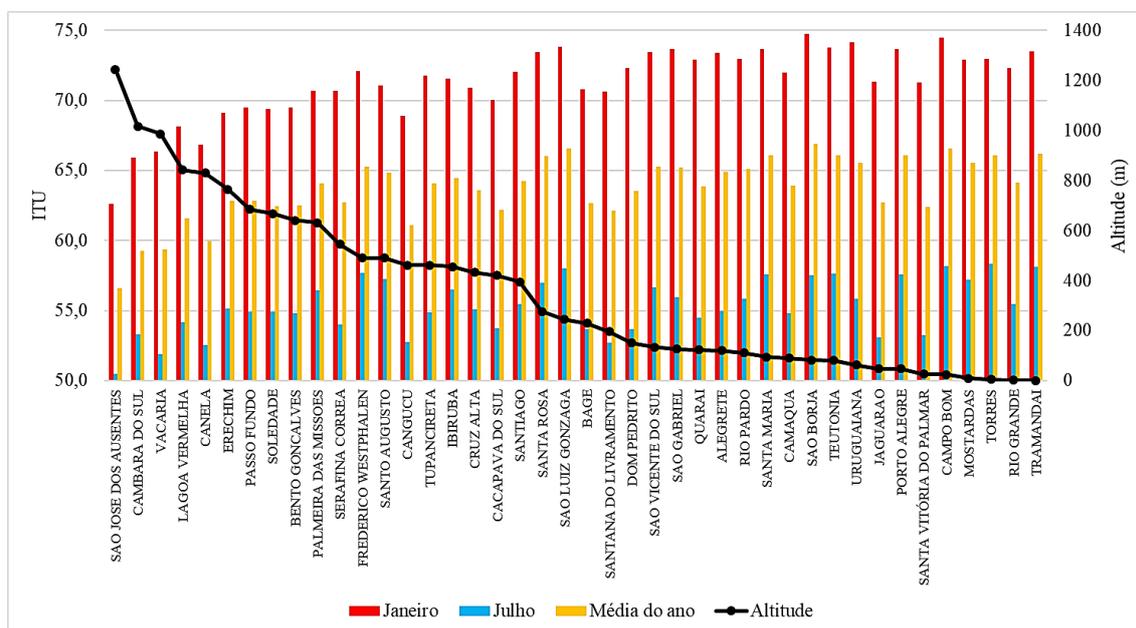
**Fonte:** Autor

Os valores de ITU apresentados nesse estudo são valores médios diários. É importante salientar que os valores máximos, que ocorrem geralmente no período da tarde, em que a temperatura do ar é máxima, são mais elevados que estes. Ainda assim, os valores máximos do ITU médio para os meses de dezembro a fevereiro são indicativos de estresse calórico e podem trazer prejuízos à produção animal, por exemplo, criação de vacas leiteiras, frangos de corte e suínos. De acordo com Silva (1999), para locais com ITU superior a 70, somente é possível a criação de suínos com a utilização de modificações do ambiente térmico. Nessas condições ambientais ( $ITU > 72$ ), não é possível a criação de frangos de corte a partir da terceira semana de vida sem a adoção de práticas de acondicionamento térmico (ABREU; ABREU, 2011). Higashiyama et al. (2013), em seu estudo por meio do cortisol urinário observaram que vacas Holandesas submetidas a

ITU superior a 72 apresentaram estresse calórico.

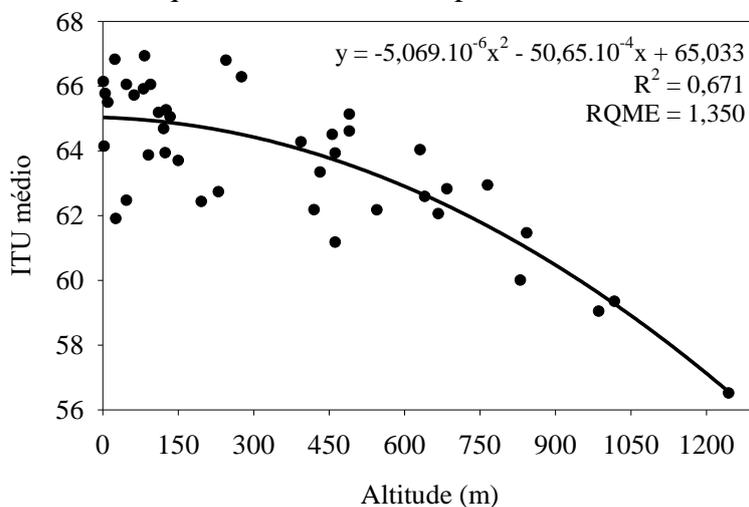
Locais de menor altitude e regiões litorâneas possuem valores mais elevados de ITU (Figura 3). Cargnelutti Filho et al. (2006) concluíram que, para o estado do Rio Grande do Sul, a altitude exerce maior influência que a latitude na temperatura média decenal do ar. Nota-se essa mesma influência da altitude no ITU, que apresentou uma relação quadrática inversa com a altitude (Figura 4). Além disso, a umidade relativa do ar, que possui relação linear com o ITU, é mais elevada em regiões litorâneas, resultando em maiores valores do índice (Figura 3). A capacidade de animais endotérmicos suportarem o calor é inversamente proporcional a umidade relativa, pois em condições de umidade relativa elevada, a troca de calor do animal com o ambiente por meios evaporativos é dificultada (BAËTA; SOUZA, 2012).

**Figura 3.** Resultado do índice de temperatura e umidade (ITU) para os meses de janeiro e julho e valores médios anuais para os quarenta e dois municípios avaliados no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor

**Figura 4.** Relação entre a altitude e o índice de temperatura e umidade (ITU) médio observado de um banco de dados de quarenta e dois municípios do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados, respectivamente, os parâmetros referentes aos ajustes dos semivariogramas e análise de validação cruzada. O ITU apresentou dependência espacial, fato evidenciado pelo ajuste dos modelos teóricos de semivariância apresentados na Tabela 3. O modelo exponencial foi o que melhor ajustou a semivariância experimental (Tabela 3). O menor valor de alcance observado foi de 377,80

km e o maior 786,72 km (Tabela 3). O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas, porque indica a distância máxima até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a homogeneidade entre as amostras (VIEIRA et al., 2010). O erro padrão de predição, ou seja, a incerteza associada à estimativa de valores em locais não amostrados,

variou de 0,01 a 1,54 (Tabela 4), valores aceitáveis de ajuste dos modelos, sendo possível produzir o mapa de variabilidade

espacial do ITU no RS para as diferentes estações do ano com intervalo de classe de ITU de 2 (Figura 5).

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas teóricos referente à modelagem da dependência espacial para os valores do ITU no estado do Rio Grande do Sul, nas diferentes estações do ano.

Período de análise	Parâmetros geoestatísticos					
	Modelo	Ao <sup>(1)</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>(2)</sup>	C <sub>0</sub> <sup>(3)</sup>	SQR <sup>(4)</sup>	R <sup>2</sup> <sup>(5)</sup>
outono	Exponencial	385,58	2,38	0,01	0,64	0,91
inverno	Exponencial	786,72	6,26	1,63	2,90	0,61
primavera	Exponencial	603,38	4,10	2,05	1,19	0,88
verão	Linear	377,80	3,14	0,56	0,69	0,73

Em que: <sup>1</sup>Alcance (km); <sup>2</sup>Patamar; <sup>3</sup>Efeito pepita; <sup>4</sup>Soma de quadrados do resíduo; <sup>5</sup>Coefficiente de determinação

Fonte: Autor

**Tabela 4.** Parâmetros da análise de validação cruzada referente aos modelos teóricos de semivariância ajustados para os valores do ITU no estado do Rio Grande do Sul, nas diferentes estações do ano.

Período de análise	Parâmetros da análise de validação cruzada			
	CR <sup>(1)</sup>	Y <sup>(2)</sup>	EPP <sup>(3)</sup>	R <sup>2</sup>
outono	1,00	-0,03	0,01	0,68
inverno	1,03	-1,97	1,54	0,42
primavera	1,08	-5,88	1,22	0,64
verão	1,17	-12,34	1,07	0,61

Em que: <sup>1</sup>Coefficiente de regressão; <sup>2</sup>Intercepto; <sup>3</sup>Erro padrão de predição.

Fonte: Autor

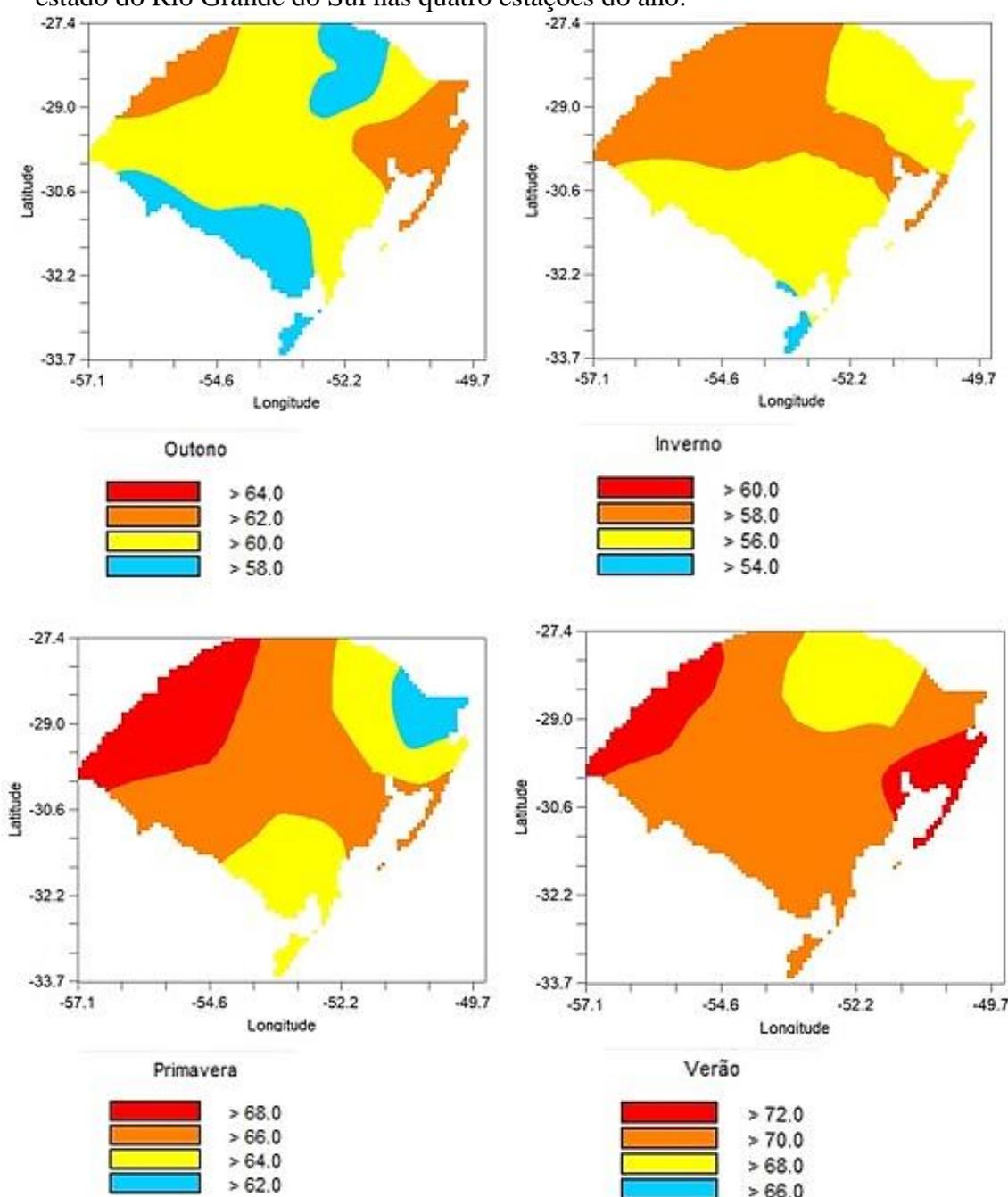
No outono, a variabilidade espacial do ITU no território gaúcho demonstra que a região da campanha, caracterizada pelos municípios de Quaraí, Santana do Livramento, Dom Pedrito e Bagé (Figura 1), o sudeste (Jaguarão e Santa Vitória do Palmar) e a região de abrangência dos municípios de Passo Fundo e Erechim, apresentam os menores valores do índice (ITU entre 58 e 60). Enquanto, parte das mesorregiões metropolitana e noroeste apresentam os valores mais elevados (ITU>62). O restante do território enquadra-se em uma mesma classe (ITU entre 60 e 62).

No inverno, o território gaúcho, também, ficou dividido em três classes de ITU, sendo a região extremo sul a mais fria (ITU>54). Uma classe intermediária (ITU entre 56 e 58) abrange toda a metade sul, com

exceção do extremo Sul que se enquadra na faixa anterior, parte da mesorregião metropolitana e a mesorregião nordeste. O restante do território (mesorregião central, parte da metropolitana e noroeste) caracteriza-se por apresentar valores mais elevados (ITU entre 58 e 60).

Os valores de ITU observados para o outono e inverno no estado do RS, são indicativos de desconforto devido ao frio (Tabelas 1 e 2), impactando no desenvolvimento de atividades e na criação de animais. Contudo, Buriol et al. (2015) destaca que, para seres humanos em ambiente aberto, o desconforto por frio é mais fácil de ser contornado com o uso de vestimentas apropriadas do que no desconforto por calor.

**Figura 5.** Mapa da variabilidade espacial do índice de temperatura e umidade (ITU) médio para o estado do Rio Grande do Sul nas quatro estações do ano.



Fonte: Autor

Para a criação animal no período de outono e inverno, deve ser dada atenção especial a animais na fase inicial de vida, que são mais sensíveis ao estresse térmico por frio (BAÊTA; SOUZA, 2012). Segundo esses mesmos autores, até certo limite de adversidade, o animal endotérmico consegue sobreviver em condições de baixa temperatura através das compensações fisiológicas, aumentando a produção calórica, reduzindo perdas para o ambiente, podendo manter a

temperatura interna controlada, contudo há prejuízos na performance que podem ser irreversíveis. Assim, a prática de fechamento de cortinas em galpões semiabertos, a utilização de aquecedores e/ou pisos aquecidos e a adoção de estratégias nutricionais diferenciadas (SOBRINHO; FONSECA, 2007; ABREU; ABREU, 2011), minimizam o estresse por frio para animais em sistema de confinamento. No caso de bezerros em sistema de produção a pasto, a utilização de abrigos, também

denominados bezerreiros, melhoram a situação de conforto térmico tanto no inverno quanto no verão (BAÊTA; SOUZA, 2012; OLIVEIRA; KNIES, 2021).

Na primavera, o estado ficou dividido em quatro classes de ITU. A mesorregião nordeste (maior altitude) seguida da mesorregião sudeste possuem valores mais baixos de ITU. Parte das mesorregiões sudoeste e noroeste (divisa do RS com a Argentina), destacam-se com os valores mais elevados do índice ( $ITU > 68$ ). O restante do território enquadra-se em uma classe intermediária (ITU entre 66 e 68). No período de primavera as condições de ITU médio são indicativas de conforto térmico para a maioria dos animais de produção zootécnica (SOUZA et al., 2010). Estando em conforto térmico, o animal endotérmico praticamente não utiliza seu sistema termorregulador, sendo mínimo o gasto de energia para manutenção, ocorrendo maior eficiência produtiva (BAÊTA; SOUZA, 2012; SILVA, 2000).

Para o verão, identificou-se três classes de ITU no estado, prevalecendo a região de maior altitude (parte das mesorregiões Nordeste e Noroeste) com os menores valor do índice (ITU entre 68 e 66) e regiões de menor altitude (fronteira com a Argentina e litoral) com os maiores valores do índice ( $ITU > 72$ ). No 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 (SOUZA et al. 2010; SILVA JUNIOR, 2001; MENDES, 2014).

Algumas práticas de acondicionamento térmico ambiental são recomendadas para o estado, conforme Baêta e Souza (2012): no caso de criação (aves, suínos, vacas leiteiras, entre outras) em instalações semiabertas, atenção especial deve ser dada a orientação da edificação (Leste-Oeste) para evitar a incidência de raios solares no interior da edificação no horário mais quente do dia; na relação pé-direito e largura para uma melhor renovação do ar no interior da edificação; preconizar por materiais de cobertura mais refletivos e com maior espessura (subcoberturas) para reduzir a transferência de calor da cobertura para o interior do galpão; no manejo diário de cortinas (abertura e

fechamento), pois a amplitude térmica diária é muito varável; adicionalmente, práticas secundárias: como ventilação artificial e resfriamento adiabático (nebulização ou aspersão). Nas instalações fechadas, o pé-direito deve ser reduzido para diminuir o volume do ar a ser renovado por exaustão que deve ser associada a práticas evaporativas, como painéis evaporativos para a redução da temperatura no interior da edificação

Já, para a criação de animais no sistema a pasto, a utilização de sombreamento natural ou artificial, bem como, o fornecimento de água de qualidade para a dessedentação e, se possível para a imersão desses animais, contribuem para a termorregulação e melhoram as condições de conforto térmico. Pastal et al. (2015) afirmam que o fornecimento de sombra é considerado um método bastante eficiente para garantir o conforto térmico de vacas leiteiras criadas a pasto. Kendall et al. (2006) verificaram, na nova Zelândia, que a disponibilidade de sombra artificial (material com 93% de proteção solar), no período quente do ano, proporcionou um aumento na produção leiteira de vacas holandesas de 2,82% em relação aos animais que não tiveram acesso à sombra. As medidas supracitadas, se adotadas nas regiões que constam em vermelho e laranja no mapa (Figura 5), contribuirão para a melhoria do conforto térmico animal e maior eficiência produtiva nos meses de verão.

A partir desse estudo, é possível identificar locais de mesma classe de ITU nas diferentes estações do ano, nesses locais as técnicas construtivas e as práticas de acondicionamento térmico ambiental podem ser as mesmas. Assim, recomenda-se essa observação ambiental antes da realização e execução do projeto da edificação e para o caso de melhorias na edificação existente.

#### 4 CONCLUSÕES

A maior parte do território gaúcho possuiu  $ITU > 70$  no verão, que é um valor indicativo de desconforto calórico, e deve ser avaliado para cada categoria de animal de produção. Na fronteira oeste e região metropolitana, o ITU maior do que 72 demonstra que há estresse calórico, implicando

na necessidade de práticas de acondicionamento ambiental para redução do calor nos meses de verão.

No outono e no inverno, o ITU entre 56 e 60 presente na maior parte do território do RS, é indicativo de desconforto por frio. No extremo sul gaúcho, o ITU menor que 54 representa estresse por frio, implicando na necessidade de práticas de acondicionamento ambiental para a melhoria do conforto térmico no inverno.

O ITU entre 62 e 68 demonstra que há conforto térmico para a maioria dos animais de

produção zootécnica e para seres humanos na primavera do RS.

A variabilidade espacial do índice de temperatura e umidade possibilitou dividir o estado do Rio Grande do Sul em até quatro classes em que a definição de práticas construtivas e o manejo de práticas de acondicionamento térmico ambiental podem ser os mesmos, contribuindo para um ambiente de produção que minimize o estresse térmico, que ocorre tanto por frio (outono e inverno) quanto por calor (verão).

## 5 REFERÊNCIAS

- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, suplemento especial, p. 1-14, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/901939/1/osdesafiosdaambienciasobreossistemas.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais**: Conforto animal. 2. ed. Viçosa, MG: EDUFV, 2012. 269 p.
- BAIXAR MAPAS. **Mapa do Rio Grande do Sul** – Mesorregiões. [S. l.]: Baixar Mapas, 2021. Disponível em: <https://www.baixarmapas.com.br/mapa-do-rio-grande-do-sul-mesorregioes/>. Acesso em: 09 fev. 2021.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M.; PINTO, H. S. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 131-150, 1973.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; RIGHI, E. Z.; BRESSAN, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 223-230, fev. 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015000200223&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015000200223&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 09 fev. 2021.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, Á. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.
- CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Revista Saúde e Pesquisa**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011. Disponível em:

<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/1723>. Acesso em: 18 fev. 2021.

CASA, A. C.; RAVELO, A. C. Assessing temperature and humidity dairy cattle in Córdoba, Argentina. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 48, n. 1, p. 6-9, 2003. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12783291>. Acesso em: 18 fev. 2021.

FROTA, A. B.; SCHIFLER, A. R. **Manual do conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Estúdio Nobel, 2001. 244 p.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 86, n. 1, p. 226-234, 2008.

HIGASHIYAMA, H.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 155, n. 1, p. 86-91, 2013.

HONJO, T. Thermal Comfort in Outdoor Environment. **Global Environmental Research**, Tokyo, v. 13, n. 1, p. 43-47, 2009.

KENDALL, P. E.; NIELSEN, P. P.; WEBSTER, J. R.; VERKERK, G. A.; LITTLEJOHN, R. P.; MATTHEWS, L. R. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 103, n. 1-2, p. 148-157, 2006.

MENDES, A. M. P. **Índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático para ovinos da raça Dorper no Estado de Pernambuco**. 2014. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; OLIVEIRA, M. B.; MOARES, C. S.; LINK, T. D. Análise do conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul utilizando técnicas geostatísticas e dados das normais climatológicas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 195-203, 2019.

OLIVEIRA, L. M. F.; YANAGI JUNIOR; FERREIRA, E.; CARVALHO, L. G.; SILVA, M. P. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 823-831, set./dez. 2006.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E. Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambiente externo na região central do RS. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 34, n. 3, p. 377-388, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3>. Acesso em: 09 mar. 2021.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E. Conforto térmico em protótipos de bezerreiros na região Central do RS. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n.1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23614>. Acesso em: 9 mar. 2021.

OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; SILVA, C. M.; RODRIGUES, L. R.; KNIES, A. E. Zoneamento bioclimático do estado do Rio Grande do Sul para o conforto térmico de animais e do trabalhador rural. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, n. 2, p. 423-438, 2017. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/4688/0>. Acesso em: 10 mar. 2021.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA T. Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 35, n. 20, p. 39-47, 1991.

PASTAL, D.; CRISTO, A. B.; FUJISAWA, F. M.; MAIER, G. S.; GUIRRO, E. C. B. P. Papel do sombreamento no conforto térmico de vacas leiteiras criadas a pasto – revisão de literatura. **Veterinária em Foco**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 92-100, 2015.

SILVA, I. J. O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 4., 1999, São Paulo. **Anais** [...]. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. p. 108-325.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA JÚNIOR, J. L. C. **Zoneamento da região sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade, para o gado leiteiro**. 2001. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: Paranaense, 2015. 215 p.

SOBRINHO, J. K.; FONSECA, R. A. Análise econômica da produção de ovos de galinhas poedeiras no município de Toledo – PR. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-20, jul. 2007.

SOUZA, A.; PAVÃO, G. H.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; CAVAZZANA, G. H.; PARANHOS FILHO, C. Modelo de Thom para o zoneamento bioclimático de Mato Grosso do Sul. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago, v. 46, p. 137-147, 2010. Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34022010000200008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000200008). Acesso em: 15 mar. 2021.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1959.

VALÉRIO, D. A.; TRES, A.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T. Classificação do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de zonas de vida holdrige. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1776-1788, out./dez. 2018. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-50982018000401776](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982018000401776). Acesso em: 10 mar. 2021.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão digital, 2005. 522p.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 4, n. 5, p. 1503-1514, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500003>. Acesso em: 10 mar. 2021.