

## ANÁLISE DAS MUDANÇAS DO ÍNDICE TÉRMICO CLIMÁTICO UNIVERSAL (UTCI) NA AMÉRICA DO SUL EM DIFERENTES CENÁRIOS CLIMÁTICOS USANDO DADOS DO CMIP6

FELIPE FERREIRA RIBEIRO<sup>1</sup>; FERNANDA CASAGRANDE<sup>2</sup>  
ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [ferreira.felipe@ufpel.edu.br](mailto:ferreira.felipe@ufpel.edu.br)

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – [fernanda.casagrande@inpe.br](mailto:fernanda.casagrande@inpe.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [freitas.rose@ufpel.edu.br](mailto:freitas.rose@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

O estado de conforto térmico é definido como uma condição em que o ser humano esteja em equilíbrio com o ambiente térmico ao qual está inserido, e este estado é influenciado não somente por variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, radiação solar incidente, entre outras), mas também por outras variáveis, como vestimenta, metabolismo, faixa etária, ou seja, fatores estes que indicam um caráter de subjetividade relacionada ao estado de conforto (HÖPPE, 1999).

As condições de tempo e clima e suas respectivas variações temporais em uma determinada região exercem uma forte influência no desenvolvimento de problemas de saúde. Por exemplo, a diminuição de temperatura e o aumento da umidade relativa do ar favorecem à ocorrência de doenças respiratórias como gripe, pneumonia e asma, enquanto que a formação de ondas de calor provoca o aumento de doenças cardiovasculares, atingindo com maior intensidade grupos vulneráveis, como idosos acima dos 65 anos e crianças entre 0-5 anos de idade (NICK et. al, 2022).

A medição do conforto térmico através dos índices de conforto térmico humano (ICT), é uma importante ferramenta para analisar o efeito combinado das variáveis ambientais acima citadas, bem como o impacto da variabilidade das mesmas na saúde dos indivíduos, o que nos permite investigar relações existentes entre os indicadores de estresse térmico e incidência de doenças (PIENIZ, DE FREITAS e NEDEL, 2023).

Existem métodos essenciais para investigar o comportamento do clima no passado, presente e futuro. De acordo com CASAGRANDE et al. (2022), os modelos climáticos são importantes ferramentas pois possibilitam maior compreensão acerca dos fenômenos climáticos. Em conjunto com a modelagem, a descrição dos cenários futuros é obtida a partir dos Cenários Socioeconômicos Compartilhados (Shared Socioeconomic Pathways - SSPs). Para O'NEILL et al. (2017), a distinção entre os cenários está relacionada aos desafios socioeconômicos, que podem variar desde o cenário que apoia-se na construção de um mundo mais sustentável, fortalecendo a adaptação às mudanças climáticas, até um cenário mais pessimista que está voltado majoritariamente ao crescimento econômico, mantendo o alto nível de GEE por um intervalo de tempo maior.

Diante da crescente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas em diversos setores da sociedade, este estudo busca contribuir para a compreensão das interações entre o clima e os sistemas vulneráveis, particularmente na América do Sul. Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a variação temporal e espacial do Índice Térmico Climático Universal (UTCI), um dos principais indicadores de estresse térmico, associada às mudanças na forçante radiativa de CO<sub>2</sub> atmosférico, analisando

dados históricos, presentes e projeções futuras a partir do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6).

## 2. METODOLOGIA

Este estudo realizou a análise do Índice Térmico Climático Universal (UTCI) abrangendo toda a região da América do Sul, sendo este caracterizado por sua vasta diversidade climática e geográfica. Essa variabilidade climática é verificada desde regiões equatoriais quentes e úmidas até áreas temperadas e frias nos extremos sul e zonas montanhosas, relacionada à fatores como latitude, altitude, correntes oceânicas e massas de ar, que moldam os diferentes tipos de clima em cada país.

O índice UTCI foi analisado através da climatologia sazonal para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), considerados verão, e para os meses de junho, julho e agosto (JJA) considerados como inverno. O experimento histórico compreende o período de 1980 a 2014 e os cenários futuros (SSP2-4.5 e SSP5-8.5) de 2015 a 2100.

O Índice Térmico Climático Universal (UTCI) é calculado a partir da combinação de variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, integradas à um modelo termofisiológico que considera as respostas regulatórias do corpo humano e o metabolismo. Esse modelo permite avaliar as trocas de calor entre o corpo e o ambiente, indicando em quais condições poderá haver estresse térmico ou mudanças nas condições de conforto térmico. Essa classificação indica as condições nas quais o corpo humano pode estar sujeito a diferentes níveis de desconforto térmico, desde situações de conforto térmico até níveis extremos de estresse devido ao calor ou ao frio.

UTCI (°C)	Superior a +46	38 a 46	32 a 38	26 a 32	9 a 26	0 a 9	0 a -13	-13 a -27	-27 a -40	Inferior a -40
Classificação por stress	Stress por calor extremo	Stress por calor muito elevado	Stress por calor elevado	Stress por calor moderado	Sem stress térmico	Stress por frio ligeiro	Stress por frio moderado	Stress por frio elevado	Stress por frio muito elevado	Stress por frio extremo

Quadro 1 - Temperatura equivalente do UTCI classificada em termos de estresse térmico (adaptada de Blazejczyk et al., 2013).

Neste estudo, os dados para quantificar os índices foram obtidos a partir do Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6). O CMIP6 é um projeto de pesquisas em mudanças climáticas que abrange os estudos de diversas instituições e centros de pesquisas, ao qual fornece uma grande quantidade de dados que são publicamente disponíveis em formato netcdf (EYRING et al., 2016). Neste estudo, os dados foram obtidos a partir do modelo GFDL-ESM4 (DUNNE et al., 2020), com o acesso realizado pela plataforma Copernicus, disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu>. A interpretação e estudo dos dados ocorreram mediante a utilização do software Python, tendo em vista o volume de dados que foram analisados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 são apresentadas as projeções do valor médio do índice UTCI no continente sul-americano para diferentes cenários climáticos na estação inverno, para

os meses de junho, julho e agosto. Essa figura ilustra a variação espacial do estresse térmico ao longo desta região, evidenciando as áreas com maiores índices de UTCI.

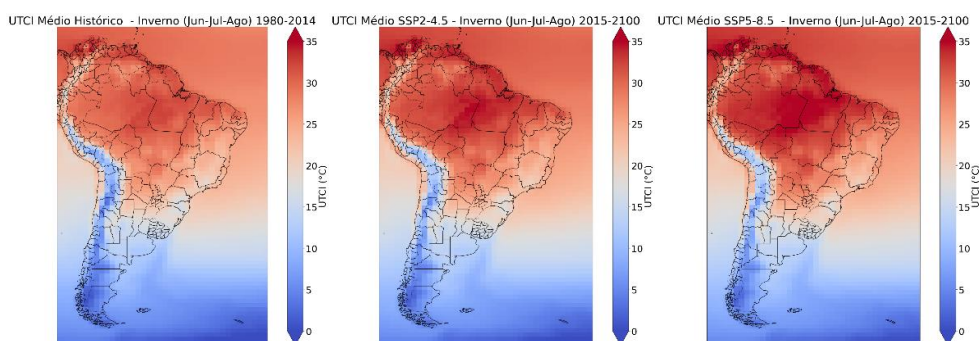


Figura 2 – Representação do índice UTCI na América do Sul em diferentes cenários para o inverno.

Na figura 3 são mostradas as projeções do índice UTCI, em diferentes cenários climáticos, durante o verão para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. É possível verificar o contraste em relação à estação inverno, indicando um aumento significativo no estresse térmico em várias regiões, o que permite discorrer sobre os fatores que levam a estes resultados.

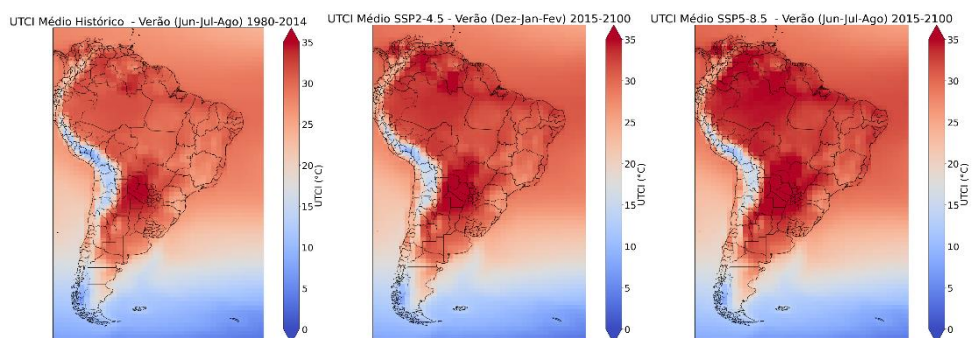


Figura 3 – Representação do índice UTCI na América do Sul em diferentes cenários para o verão.

Conforme apresentado nas figuras o cenário mais crítico (SSP5-8.5) mostra que uma parte do Brasil (regiões centro e norte) e dos países vizinhos podem experimentar condições de estresse térmico por calor, variando de moderado a muito elevado em ambas as estações, havendo maior intensidade no verão provavelmente devido à maior incidência solar nas áreas tropicais, combinada com temperaturas atmosféricas mais elevadas podendo gerar aumento significativo do estresse térmico.

Analisando a região da Cordilheira dos Andes, é possível identificar em parte de sua extensão (sul da Argentina e Chile) valores mais baixos para o índice UTCI, ocasionando uma classificação de estresse térmico por frio ligeiro a moderado naquela região para estação inverno nos diferentes cenários considerados. Essa observação é justificada pela elevada altitude, implicando em temperaturas mais baixas.

A variabilidade regional do índice utilizado demonstra a complexidade dos impactos das mudanças climáticas. Fatores como altitude, latitude e vegetação são determinantes nas diferentes respostas de cada região, influenciando na forma como cada área reage às mudanças no clima e na sua respectiva capacidade de resiliência, reforçando a importância da geração de políticas adaptativas às mudanças climáticas específicas às necessidades de cada região.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível identificar o comportamento do índice UTCI no período de 1980 a 2014, bem como as mudanças significativas deste índice em diferentes cenários de emissões de CO<sub>2</sub>, destacando as regiões da América do Sul mais suscetíveis ao estresse térmico. Nos próximos passos, serão realizadas análises na mesma área de estudo envolvendo outros indicadores de estresse térmico, como o Índice de Calor, Índice Humidex e Índice de Bulbo Úmido e verificando mais cuidadosamente as possíveis causas desses extremos. Essas análises permitirão verificar as diferenças nas projeções de cada índice, proporcionando uma compreensão mais abrangente das condições de estresse térmico na região e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação mais eficazes. Ao comparar os resultados, será possível identificar quais índices são mais sensíveis às variações climáticas e as estações do ano, auxiliando na formulação de políticas públicas voltadas para a saúde.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAZEJCZYK, K., EPSTEIN, Y., JENDRITZKY, G., STAIGER, H., & TINZ, B. Development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, London, v. 56, n.3, p.429–441, 2013.

CASAGRANDE, F.; STACHELSKI, L.; DE SOUZA, R. B. Assessment of Antarctic sea ice area and concentration in Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 and Phase 6 models. **International Journal of Climatology**, New Jersey, v.43, n.3, p.1314-1332, 2022.

DUNNE, J.P.; HOROWITZ, L.W.; ADCROFT, A.; GINOUX, P. The GFDL Earth System Model version 4.1 (GFDL-ESM 4.1): Overall coupled model description and simulation characteristics. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, London, 2020.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, London, v.43, p.71–75, 1999.

NICK, L. M.; NEDEL, A. S.; ALONSO, M. F.; MARQUES, J. Q.; FREITAS, R. A. P. Relationship between meteorological variables and pneumonia in children in the Metropolitan Region of Porto Alegre, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, London, v. 66, n.11, p.2301-2308, 2022.

O'NEILL, B. C.; KRIEGLER, E.; EBI, K.; BENEDICT, E.; RIAHI, K.; ROTHMAN, D.; RUIJVEN, B. J. V.; VUUREN, D. P. V.; BIRKMANN, J.; KOK, K.; LEVY, M.; SOLECKI, W. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. **Global Environmental Change**, Amsterdam, v.42, p.169–180. 2017.

PIENIZ, C. G.; DE FREITAS, R. A. P.; NEDEL, A. S. Relação entre Interações por Doenças Respiratórias e Conforto Térmico Humano na Região das Missões do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 4, p.1671-1684, 2023.