III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

INFLUÊNCIA DO ÍNDICE HUMIDEX NO CONFORTO E DESCONFORTO TÉRMICO NO NORDESTE DO BRASIL

Wanda Tathyana de Castro Silva[1], Inajá Francisco de Sousa [2], Elaine Christian Barbosa dos Santos[3], Ronabson Cardoso Fernandes[4], Josefa Morgana Viturino de Almeida[5], Wagner de Aragão Bezerra[6], Daniella Vivas Gonçalves[7] Nayara Sabrine Santos Barboza[8]

[1]Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos (PRORH) da Universidade Federal de Sergipe - SE, Brasil, São Cristóvão-SE, wandatathyana.meteorologista@gmail.com

[2]Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos (PRORH) da Universidade Federal de Sergipe - SE, São Cristóvão-SE, inajafrancisco@academico.ufs.br

[3]Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe - SE, São Cristóvão-SE, m.ambiente33@yahoo.com.br

[4]FURG, ICB, Rio Grande, Rio Grande do Sul – RS, Brasil. ronabson@hotmail.com

[5]Instituto Nacional do Semiárido – INSA (MCTI), Brasil, morgana.almeida@insa.gov.br

[6]Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (MAPA), Brasil, wagner.bezerra@inmet.gov.br

[7]Assessora Jurídica da Secretaria Municipal da Saúde de Aracaju-SE, danyellagoncalves@hotmail.com

[8] Engenheira Florestal, Universidade Federal de Sergipe - SE, São Cristóvão-SE, engflorestalnay@gmail.com

RESUMO

O conforto térmico, Humidex, é uma variável muito importante para avaliar o grau de estresse térmico em seres vivos. Por depender de variáveis climáticas, o Humidex tem uma variação espaço-tempo-intensidade condicionada a vários atenuadores do tempo e do clima. Assim, o objetivo deste trabalho é verificar possíveis tendências e análises espaço-temporais do índice Humidex no Nordeste do Brasil (NEB). Foram utilizados os dados do ERA5 distribuídos pelo ECMWF para o período de 1996 a 2025. Constatou-se que a região do MATOPIBA foi a que mais se destacou com tendências positivas de desconforto sobre o NEB, assim como a região com os maiores índices Humidex. Enquanto na costa do NEB havia vales baixos de Humidex que podem estar associados à influência oceânica. Observou-se que o período noturno tem tendência positiva no NEB, principalmente no MATOPIBA. Além da escala horária, constatou-se também que na escala mensal, sazonal e anual, esta região do MATOPIBA tem destaque. Isso se deve ao fato da substituição da floresta natural pela produção agrícola, na qual, afeta diretamente o balanço energético desta região. Verificou-se que no período La Niña foi considerado relativamente mais confortável termicamente, enquanto no período El Niño foi revertido. A redução e o aumento da precipitação no NEB devido ao El Niño e La Niña levaram à atenuação do índice Humidex. Portanto, o índice Humidex foi estudado e a atenuação deste índice em relação à escala espaço-tempo foi alterada devido aos sistemas meteorológicos, alteração devido à modificação do uso do solo e atenuação devido aos fenômenos El Niño e La Niña.

Palavras-chave: clima, atmosfera, conforto térmico.

1. INTRODUÇÃO

O clima da região do Nordeste do Brasil (NEB) apresenta grande variedade temporal e espacial devido a variação com a altitude, interação terra-oceano-atmosfera e, com os diversos sistemas meteorológicos atuantes nessa região (Hastenrath and Heller, 1977; Kousky and Gan, 1981; Giannini et al, 2001, Molion e Bernardo, 2002; Fedorova et al., 2009; Rodrigues et al., 2010; Kulikova et al., 2014; Lyra et al., 2014; Rodrigues e Mc Phaden , 2014; Stephanie et al., 2016; Cunha et al., 2018; Silva et al., 2018; Fedorova et al., 2020; Gomes e Lima, 2021).

Outros fatores para mudanças espaço-temporal do clima sobre o NEB devem-se pela mudança do uso do solo e, consequentemente, mudança no balanço de energia, elevando a temperatura do ar e da evapotranspiração para algumas partes do NEB (Silva et al., 2018; Marengo et al, 2020; Rocha et al., 2020; Santos et al., 2020, Silva et al., 2020). E com as mudanças climáticas tem-se o aumento das temperaturas

sobre NEB, mudanças hídricas, precipitação e vegetação (Montenegro e Ragab, 2010; Krol, et al., 2011; Raulino et al., 2021; Silva et al., 2021; Sulca e Rocha, 2021). E esses fatores afetam diretamente a temperatura do ar quanto no conforto térmico da população.

As mudanças climáticas trarão modificações sensíveis no conforto térmico, em que, o aumento da temperatura trará consequências irreversíveis e adaptação ao clima pode ser uma das soluções para as condições térmicas futuras. Tipo de roupas, máquinas de refrigeração e de aquecimento, ventiladores mecânicos, plantio de regiões verdes entre outras tecnologias pode-se atenuar consideravelmente o conforto ambiental mais adequado aos seres humanos. Essas modificações térmicas além de prejudicial para o meio ambiente como um todo, mostra-se potencialmente danoso à saúde tanto dos homens quanto para outros seres vivos.

O índice Humidex é muito utilizado no globo inteiro, auxiliando na construção de novos conhecimentos, assim como, tomada de decisões políticas (Aghamolaei et al., 2020; Sirangelo et al., 2020; Rutty et al., 2020; Back at al., 2021; Mirzabeigi et al., 2021).

Estudos mostram que temperaturas extremamente frias e extremamente quentes aumentam o risco relativo de doenças cardiovasculares e na saúde humana (Xie et al., 2020; Riden e Pinkerton, 2021; Vanoset al., 2021). Além do aumento da frequência das pessoas no pronto-socorro, principalmente pelos grupos populacionais mais vulneráveis, como crianças e idosos (Infusino et al., 2021). Segundo algumas projeções para a China mostram que pessoas com doenças cardiorrespiratórias, mulheres, idosos e pessoas com baixo nível de escolaridade pode ser mais afetados com desconforto térmico (Yang et al., 2021).

Em casos extremos, em caso de desconforto térmico, os gestores públicos, pesquisadores e cientistas podem por meio de estudos paralelos simular situações que possam minimizar os efeitos danos de extremo climático no conforto ambiental. Portanto, essa pesquisa visa analisar espacialmente e temporalmente o conforto ambiental com índice existente, Humidex, para a região do Nordeste Brasileiro.

2. OBJETIVO

Analisar o comportamento do índice Humidex no estado de Sergipe, avaliando sua variabilidade espaço-temporal e sua relação com as condições climáticas locais e atuação do ENOS, a fim de compreender os níveis de conforto térmico e os potenciais impactos sobre a população.

3. MÉTODO

3.1. Localização

A região do NEB (53.081.950 hab.) Consiste em nove estados: Alagoas (3.120.494 hab.), Bahia (3.120.494 hab.), Ceará (8.452.381 hab.), Paraíba (3.766.528 hab.), Pernambuco (8.796.448 hab.), Piauí (3.118.360 hab.), Rio Grande do Norte (3.168.027 hab.), Maranhão (6.574.789) e Sergipe (2.068.017 hab.) (IBGE, 2020). Ocupa uma área de 1.554.000 km², cerca de 18,27% do território brasileiro (**Figura 1**).

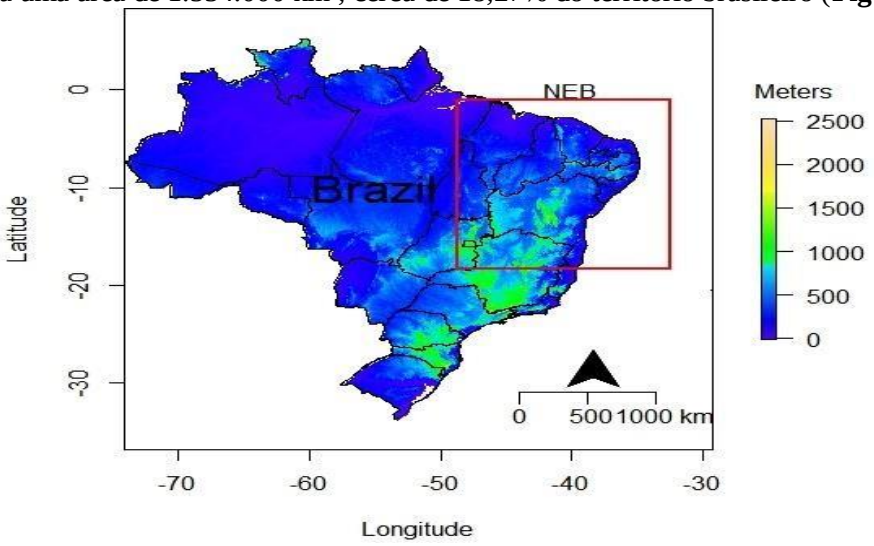


Figura 1- Brasil e área de estudo em vermelho. A altimetria é representada pela barra de cores.

3.2. Conjunto de dados

Para este estudo, foi utilizado o banco de dados ECMWF Global Reanalysis, ERA5, com espaçamento de grade de 0,25ºx0,25º (Latitude-Longitude) (Hersbach, 2017; Hersbach et al., 2019; Hersbach et al., 2020). O índice Humidex foi utilizado para calcular a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, medida a cada hora (2 metros de altura), durante o período de 1990-2019 (30 anos). Este banco de dados tem sido usado em várias áreas e pesquisas (Cucchi et al., 2020; Di Napoli et al., 2020; Li, 2020; Martens et al., 2020; Mistry, 2020; Tarek et al. 2020; Vitolo et al., 2020).

3.3. Índice Humidex

O cálculo do índice Humidex foi baseado na metodologia adotada por Thom's (1959) e d' Ambrósio Alfano et al (2011), e são expressos nas equações abaixo:

$$Humidex = T + \frac{5}{9}(p_{as} - 10) \quad (1)$$

Onde,

$$p_{as} = 6.112.\left(10^{7.5\left(\frac{T}{237.7+T}\right)}\right)\frac{UR}{100} \quad (2)$$

Para o cálculo da umidade relativa (UR), foram utilizadas as temperaturas de bulbo seco (T) e úmido (Td) de acordo com a equação (3) da ERA5. UR corresponde à razão da pressão de vapor real (ea(T)) e saturação (es(Td)) na mesma temperatura, em porcentagem:

$$UR = 100\frac{e_a(\mathrm{T})}{e_s(T_d)} \quad (3)$$

A pressão de vapor real (ea(T)) e a pressão de saturação (es(Td)) foram calculadas a partir das equações (4) e (5):

$$e_a(T) = e_s(T_0)\exp\left(\frac{\mathrm{L}}{R_w}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{\mathrm{T}}\right)\right) \quad (4)$$

$$e_s(T_d) = e_s(T_0)\exp\left(\frac{\mathrm{L}}{R_w}\left(\frac{1}{T_0}\frac{1}{T_d}\right)\right) \quad (5)$$

Onde, e_a (T) e e_s (Td) correspondem à pressão de vapor real na temperatura T e pressão de saturação de vapor na temperatura Td, respectivamente. e_s (T0) é a pressão de saturação de vapor em uma temperatura de referência T0, L = 2,5 × 〖10〗 ^6 J / kg corresponde ao calor latente de evaporação da água e $R_w = \frac{1000R}{M_w} = 461.52J/kgK.R = 8.3144621J(molK)$ é a constante molar do gás e Mw=18,01528g /mol é o peso molecular do vapor de água. A temperatura de referência e a pressão de saturação de vapor utilizadas foram $T0$ = 273,15K e e_s ($T0$) = 6,11 mb. Os limites de Humidex e o índice de conforto térmico são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores limites e faixas do índice Humidex correspondentes ao aumento das condições de desconforto térmico (Masterton JM, Richardson FA, 1979); d'Ambrósio Alfano et al., 2011).

AlcanceHumidex	NíveldeDesconforto Térmico
29 ≤ Hum ≤ 20	Conforto
39 ≤ Hum ≤ 30	Algum desconforto
45 ≤ Hum ≤ 40	Grande desconforto
54 ≤ Hum ≤ 46	Perigoso
< 54	Estado de emergência médica

3.4. Teste Mann-Kendall

Para calcular a tendência do Humidex nas escalas horária, mensal, sazonal e anual, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975). A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, onde o sinal (*xi – xj)* é determinado por (6):

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} sgn(x_i - x_j) \quad (6)$$

O teste MK analisa os dados coletados ao longo do tempo para tendências crescentes ou decrescentes de forma consistente. O teste oferece uma de duas opções: hipótese nula (sem tendência monotônica na série) ou hipótese alternativa (há uma tendência e pode ser positiva, negativa ou nula). A variância obtida da estatística MK é usada para definir o valor para um nível de significância específico.

O pacote de *Humidity* (Cai, 2019) foi utilizado para calcular a umidade relativa do ar. O índice Humidex foi calculado a partir do pacote *Thermindex* (Castelhano, 2017). Para as cores, foi utilizado o pacote *Rcolor Brewer* (Neuwirth, 2014). Para a interpretação dos arquivos nectdf ERA5, foram utilizados os pacotes *raster* (Hijmans, R. J., 2020) e *raster Vis* (Lamigueiro e Hijmans, 2020). Para cálculos de tendência, foram usados os pacotes *trend* (Pohlert, 2020), *spatial Eco* (Evans, 2020) e *green brown* (Forkel et al., 2013; Forkel et al., 2015). Para interpretar esses algoritmos, foi utilizado o programa R (R, 2020).

4. RESULTADOS

Através da figura 2 podemos analisar a climatologia mensal do índice Humidex para o período de 1996 a 2025 evidenciando uma marcada variabilidade sazonal e espacial sobre o Nordeste do Brasil, refletindo a influência conjunta da temperatura do ar e da umidade relativa ao longo do ano.

Nos meses de verão austral (janeiro a abril), observa-se predominância de valores elevados de Humidex em grande parte da região, com destaque para o norte e o litoral, onde os índices frequentemente superam 35. Esses valores indicam condições de forte desconforto térmico, associadas às altas temperaturas e maior disponibilidade de umidade atmosférica típicas desse período. Áreas do interior semiárido apresentam valores ligeiramente menores, embora ainda elevados.

A partir de maio, há uma transição gradual, com redução dos valores principalmente nas porções sul e sudoeste da região. Durante o inverno (junho a agosto), os menores valores de Humidex são registrados, sobretudo no interior e no sul do Nordeste, com índices variando entre aproximadamente 20 e 28. Essa diminuição está associada à redução das temperaturas e, em algumas áreas, à menor umidade relativa do ar, resultando em condições de menor desconforto térmico.

No período de primavera (setembro a novembro), verifica-se um aumento progressivo do Humidex, com retomada de valores mais elevados inicialmente no norte e litoral, expandindo-se gradualmente para o interior. Em dezembro, os padrões observados se assemelham novamente aos do verão, com ampla predominância de valores elevados em toda a região.

Espacialmente, destaca-se um gradiente consistente ao longo do ano, com maiores valores concentrados nas áreas mais ao norte e litorâneas, enquanto as menores intensidades ocorrem nas regiões mais ao sul e interioranas. Esse comportamento reflete a influência de fatores climáticos regionais, como a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistemas convectivos e a variabilidade sazonal das chuvas.

De forma geral, a climatologia mensal do Humidex evidencia que o desconforto térmico no Nordeste brasileiro é mais intenso no verão e início do outono, diminuindo no inverno e voltando a se intensificar na primavera, com importantes variações espaciais que reforçam a heterogeneidade climática da região.

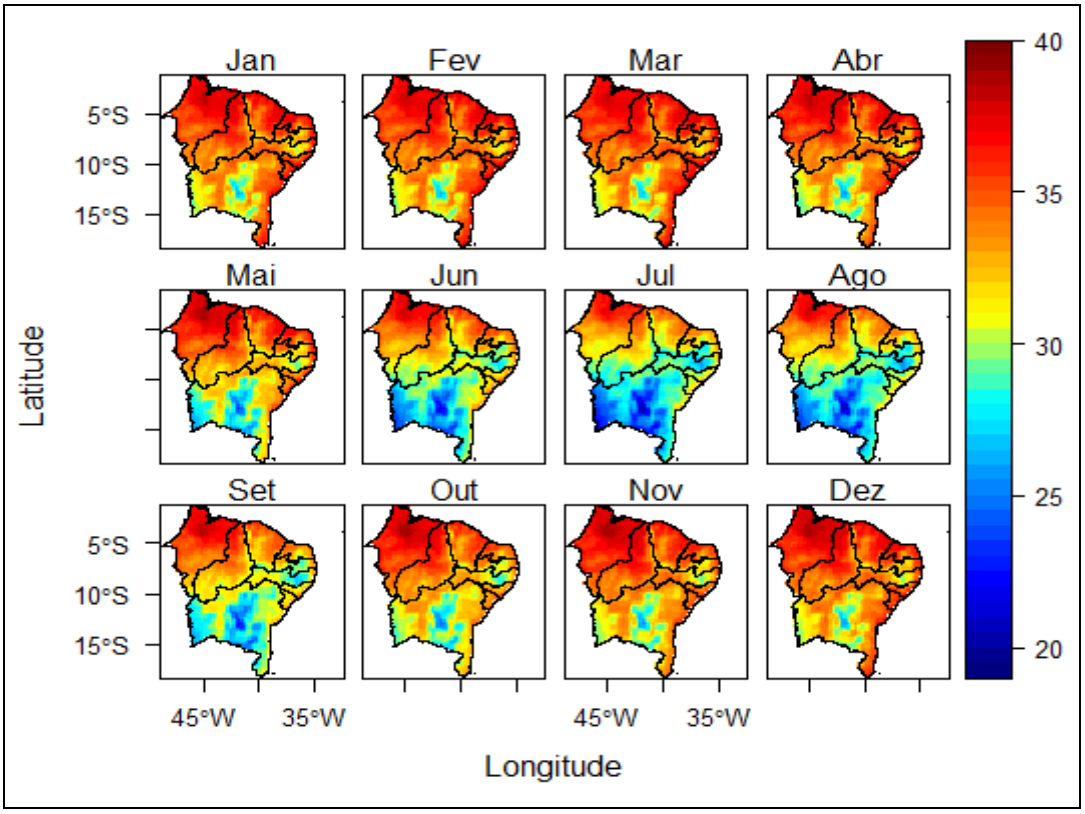


Figura 2 – Climatologia mensal do Humidexde 1996 a 2025.

Através da figura 3 pode-se observar que os maiores valores de Humidex, superiores a 36, concentram-se predominantemente na porção norte da região, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e norte da Bahia. Esses valores indicam condições de elevado desconforto térmico, associadas a temperaturas elevadas combinadas com alta umidade relativa do ar, características típicas de áreas mais próximas da faixa equatorial.

Em contrapartida, os menores valores, variando entre aproximadamente 24 e 30, são registrados nas áreas mais ao sul e interioranas, com destaque para o oeste e sul da Bahia. Essas regiões apresentam condições relativamente mais amenas, possivelmente influenciadas por maior altitude e menor umidade relativa do ar, o que contribui para a redução do índice de desconforto térmico.

Na faixa litorânea, nota-se uma transição de valores moderados a elevados (entre 30 e 34), refletindo a influência marítima, que mantém a umidade elevada ao longo do ano, ainda que com temperaturas ligeiramente mais moderadas em comparação ao interior semiárido.

De forma geral, o padrão espacial do Humidex no Nordeste brasileiro revela um gradiente latitudinal e continental, com aumento do desconforto térmico em direção ao norte e às áreas mais úmidas, e redução em direção ao sul e às regiões mais secas e elevadas. Esses resultados são importantes para o entendimento das condições bioclimáticas regionais e seus impactos sobre a saúde humana e o bem-estar da população ao longo do período analisado.

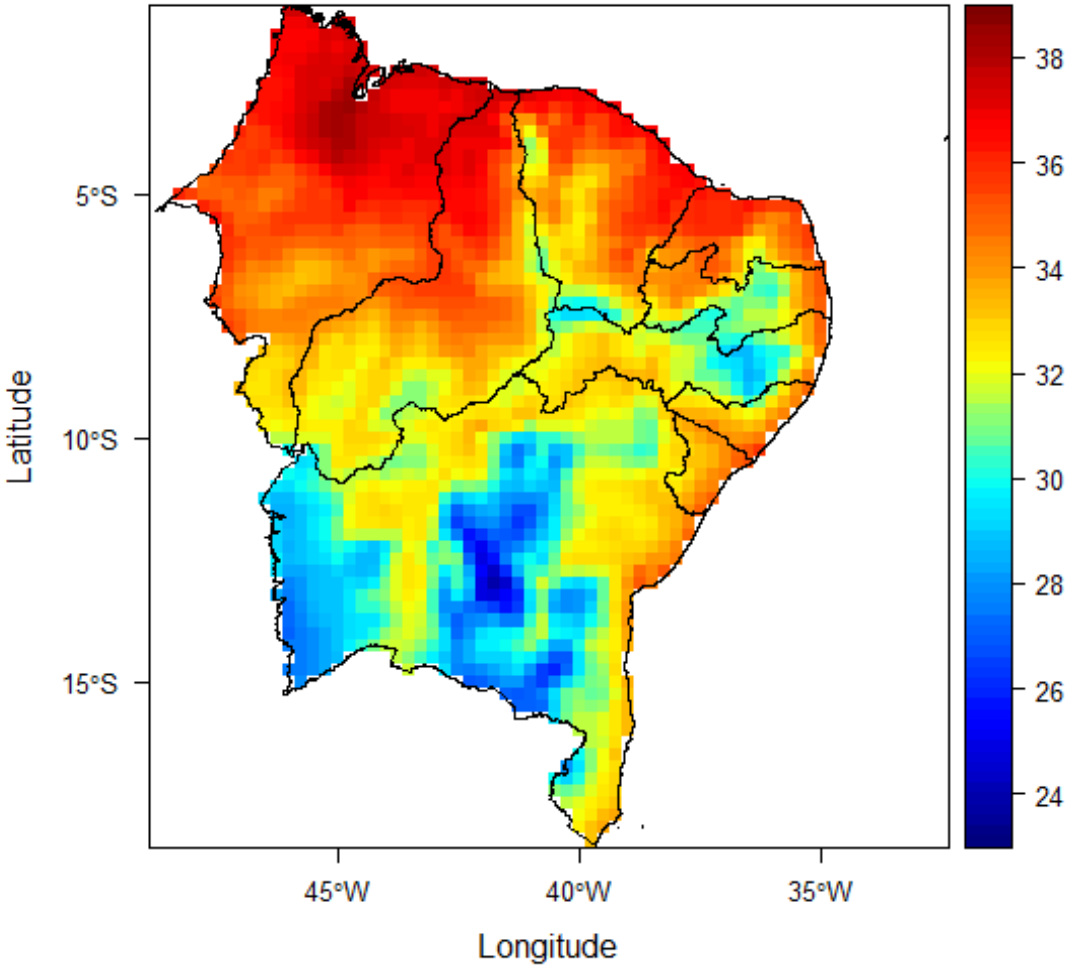


Figura 3 – Climatologia anual do índice Humidex para 1990 a 2025.

A figura 4 apresentada ilustra a variabilidade espacial e temporal do índice Humidex anual ao longo do período de 1996 a 2025. Observa-se, em cada painel, a distribuição geográfica do índice, evidenciando padrões consistentes ao longo dos anos, mas também variações interanuais relevantes.

De forma geral, os maiores valores de Humidex concentram-se nas regiões norte e centro do Nordeste do Brasil, condições de maior desconforto térmico associadas à combinação de altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar. Em contraste, o interior de alguns estados apresenta valores mais baixos, como exemplo o interior do estado da Bahia, refletindo condições relativamente mais amenas.

Ao longo da série temporal, percebe-se uma persistência desse gradiente espacial, embora com flutuações na intensidade do índice entre os anos. Alguns períodos apresentam expansão das áreas com valores elevados, indicando anos potencialmente mais quentes e úmidos, enquanto em outros há uma retração dessas áreas, sugerindo condições menos extremas.

Além disso, a análise visual sugere uma leve tendência de intensificação do Humidex em determinadas regiões ao longo das décadas mais recentes, possivelmente associada a mudanças climáticas regionais, como aumento da temperatura média e alterações nos padrões de umidade.

Em síntese, a figura evidencia que o comportamento do Humidex é fortemente influenciado por fatores climáticos regionais, apresentando uma estrutura espacial bem definida e variações temporais que podem impactar diretamente o conforto térmico e a saúde da população ao longo dos anos analisados.

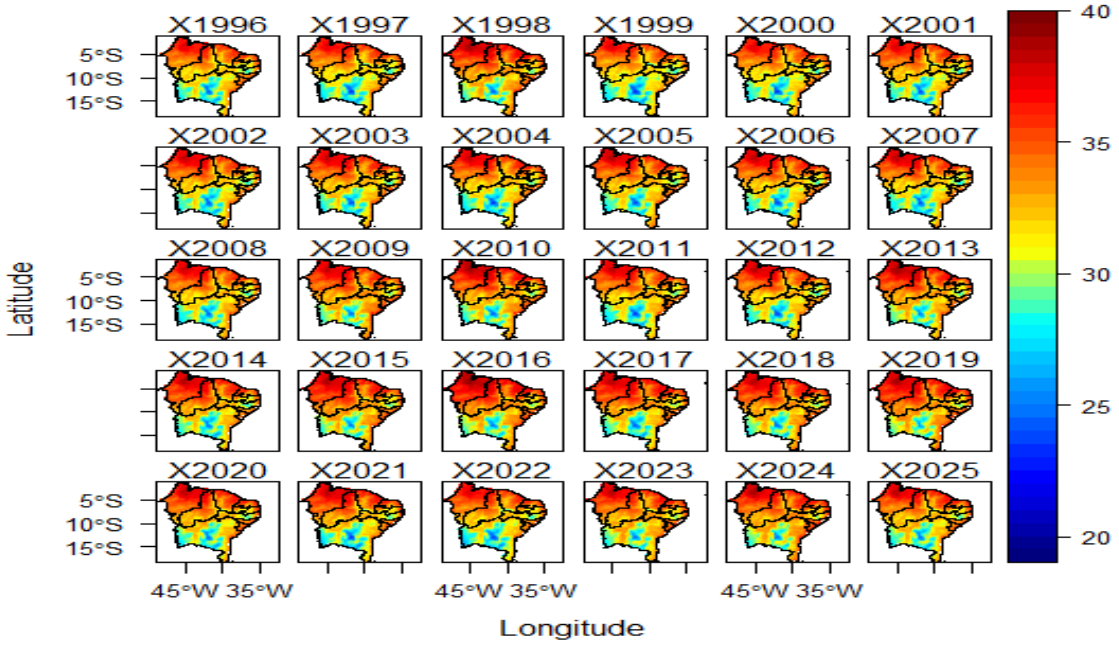


Figura 4 – Humidex anual do índice Humidex para 1996 a 2025.

Uma tendência anual crescente é observada em uma grande área cobrindo a região NEB (**Figura 5**) registraram tendências superiores a +0,04 ºC/mês, com excessão de alguns estados que a tendência foi de 0,02 ºC/ano e em pequena área do sul do estado da Bahia que apresenta tendência com valores variando de 0,00 ºC/ano a 0,02 ºC/ano. A tendência sazonal de aumento observada na bacia do rio São Francisco + 0,04ºC / ano e MATOPIBA (Figura 6) pode ser atribuída à mudança no uso do solo com intensificação da soja e outras culturas agrícolas, causando efeito direto no clima local e regional. De acordo com Cunha et al. (2015a), eles mostraram que as mudanças na cobertura daterra influenciaram os processos climáticos em grande escala devido às mudanças na energia superficial e no balanço de carbono. Além disso, Angeliniet al. (2017) mostraram que o fluxo de calor latente no Cerrado pode atingir níveis 60% maiores do que nas lavouras agronômicas, enquanto o fluxo de calor sensível pode aumentar até 50% maior nas áreas agrícolas em comparação às áreas do Cerrado. No geral, esses resultados desempenham um papel na causa-efeito da substituição da vegetação e no aumento do desconforto térmico observado na região de estudo. A tendência anual de umidade foi marginal apenas na região costeira do sul do estado da Bahia, com poucas áreas com valores máximos de 0,00 ºC / ano a 0,02 ºC / ano.

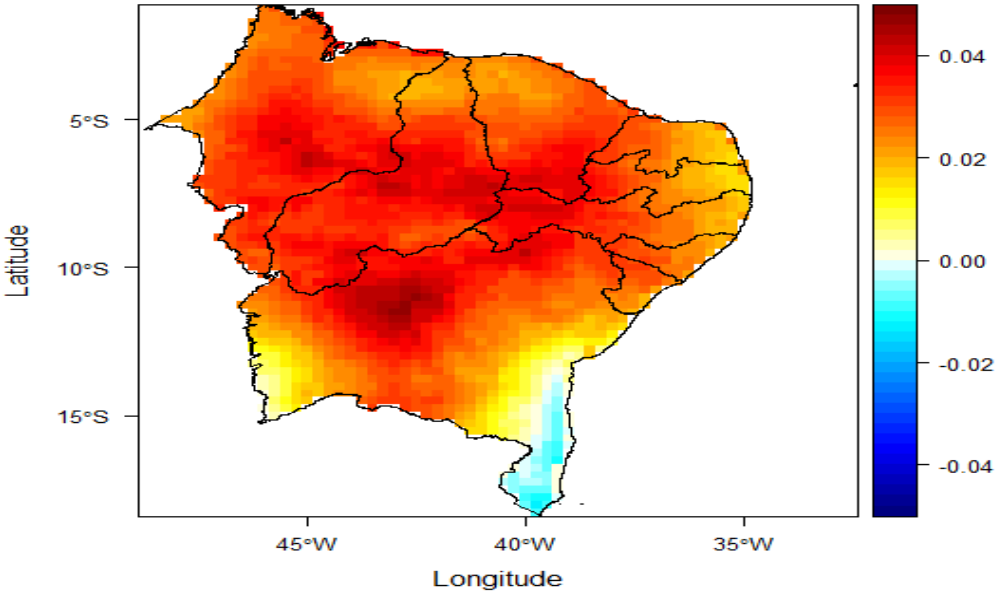


Figura 5 –Tendência anual do índice Humidex para 1990 a 2025.

Através da figura 6 observa-se que, no final da década de 1990 (1996–1999), predominam desvios negativos em grande parte da área, com exceção de 1998, que apresenta anomalias positivas mais intensas. No início dos anos 2000 (2000–2007), há maior variabilidade interanual, com alternância entre anos mais amenos e ligeiramente mais quentes, porém ainda com predominância de desvios próximos da normalidade.

A partir de 2008, nota-se um aumento na frequência de desvios positivos, com destaque para os anos de 2009, 2010, 2013 e principalmente entre 2015 e 2019, quando predominam valores positivos mais intensos e espacialmente abrangentes, indicando maior sensação de calor e desconforto térmico na região. Esse período sugere uma tendência de aquecimento relativo do Humidex.

Nos anos mais recentes (2020–2025), observa-se novamente uma variabilidade significativa, com alternância entre anos com desvios negativos (como 2022) e positivos (como 2023 e 2024), indicando que, embora haja tendência de aumento em determinados períodos, a variabilidade interanual ainda é um fator importante.

De forma geral, a figura evidencia tanto a variabilidade temporal quanto a heterogeneidade espacial do Humidex ao longo das últimas três décadas, destacando períodos com maior intensidade de calor percebido e possíveis mudanças no padrão climático regional.

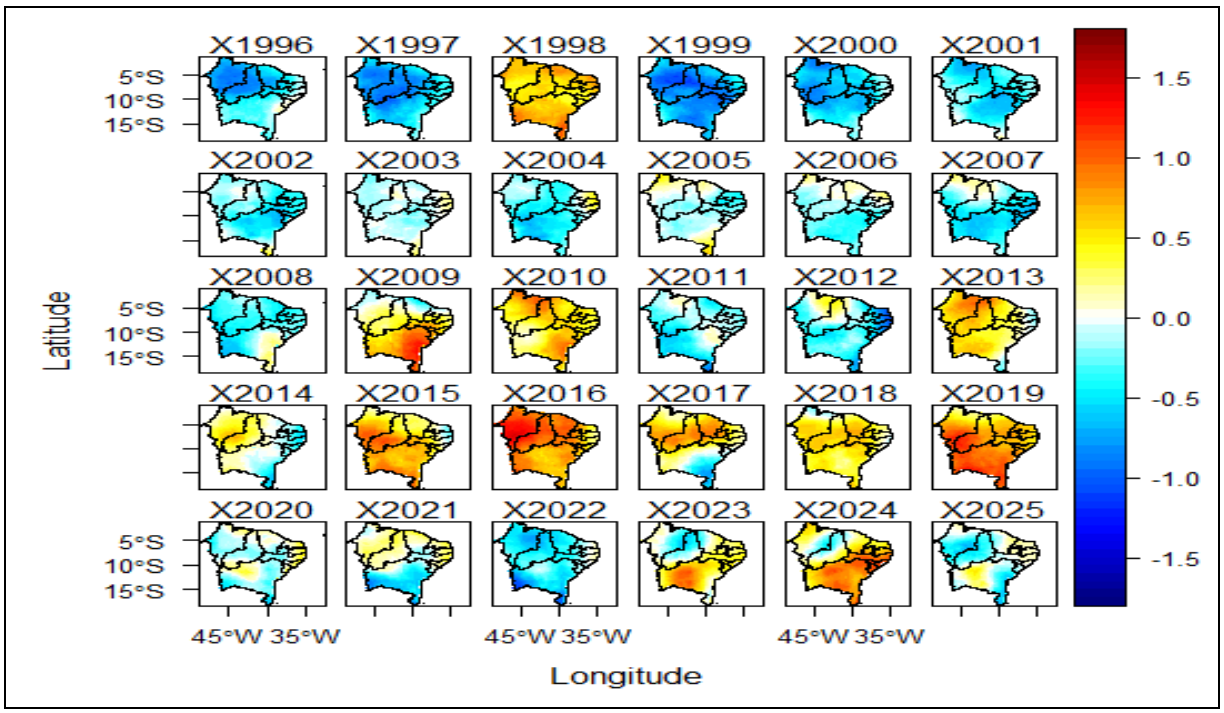


Figura 6 – Desvio anual do Humidex de 1996 a 2025.

A figura 7 do Índice Oceânico Niño (ONI) evidencia claramente a variabilidade temporal do ENOS (El Niño–Oscilação Sul) ao longo de várias décadas, destacando a alternância entre fases quentes (El Niño) e frias (La Niña), com diferentes intensidades (fraca, moderada, forte e muito forte). Observa-se que essas oscilações não ocorrem de forma regular, mas sim interanual, com episódios marcantes de El Niño forte em períodos como 1982–83, 1997–98, 2015–16 e 2023–24, enquanto eventos intensos de La Niña são registrados, por exemplo, em 1973–74, 1988–89, 1999–2000 e 2010–11. Essa variabilidade reflete mudanças significativas na temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial, que modulam a circulação atmosférica global.

No contexto do Nordeste do Brasil, e especificamente do estado de Sergipe, essas oscilações exercem forte influência sobre o regime climático, principalmente na precipitação e na temperatura. Durante episódios de El Niño, há um enfraquecimento da circulação de Walker e um deslocamento das áreas de convecção para o Pacífico central, o que tende a inibir a formação de nuvens e reduzir as chuvas sobre o Nordeste. Em Sergipe, isso geralmente se traduz em períodos mais secos, aumento das temperaturas e maior frequência de estiagens, impactando diretamente os recursos hídricos, a agricultura e o abastecimento urbano.

Por outro lado, em anos de La Niña, ocorre o fortalecimento da circulação atmosférica e o deslocamento das áreas de convecção para a porção oeste do Pacífico, favorecendo a intensificação das chuvas sobre o Norte e Nordeste do Brasil. Em Sergipe, esses períodos costumam estar associados a chuvas

mais regulares ou acima da média, podendo contribuir para a recarga de reservatórios, mas também aumentando o risco de eventos extremos, como enchentes e alagamentos, dependendo da intensidade do fenômeno e de outros sistemas meteorológicos atuantes.

Além disso, o gráfico evidencia que eventos extremos de ENOS estão frequentemente associados a impactos climáticos mais pronunciados. Episódios fortes de El Niño, como os de 1997–98 e 2015–16, foram historicamente relacionados a secas severas no Nordeste, enquanto eventos intensos de La Niña favoreceram períodos mais chuvosos. Dessa forma, o acompanhamento do ONI é fundamental para a previsão sazonal do clima em Sergipe, auxiliando no planejamento de atividades agrícolas, gestão de recursos hídricos e mitigação de desastres naturais.

Em síntese, as oscilações do ENOS ao longo do tempo, conforme ilustrado na figura 9, constituem um dos principais moduladores do clima no Nordeste brasileiro. Em Sergipe, seus efeitos são particularmente sensíveis, influenciando diretamente a variabilidade interanual das chuvas e das temperaturas, e, consequentemente, diversos setores socioeconômicos da região.

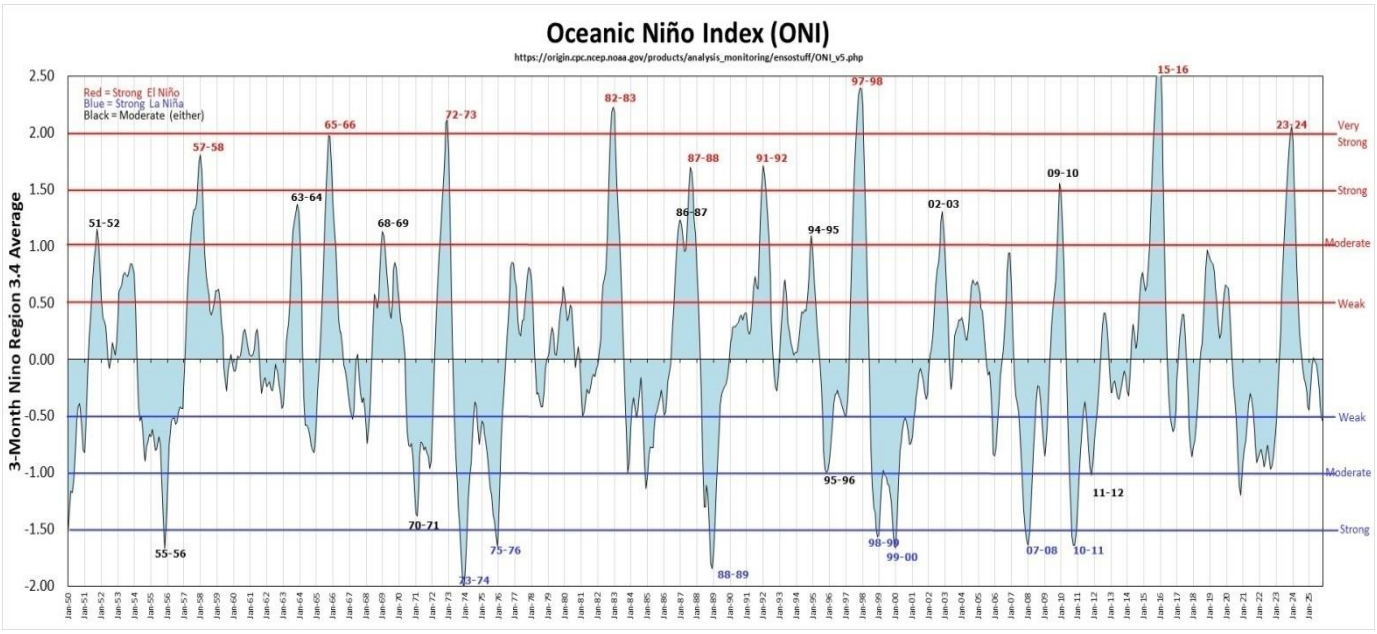


Figura 7 – Oscilação do Índice Oceânico Niño.

5. CONCLUSÕES

A análise do índice Humidex no Nordeste do Brasil evidencia a forte influência das condições termo-higrométricas sobre o conforto térmico da população ao longo do ano. De modo geral, os resultados indicam que grande parte da região apresenta valores elevados de Humidex, sobretudo nas áreas litorâneas e durante os meses mais quentes e úmidos, caracterizando frequentes situações de desconforto térmico significativo.

Observou-se também uma variabilidade espacial e temporal associada a fatores como a proximidade do oceano, a atuação de sistemas atmosféricos regionais e fenômenos de grande escala, como o ENOS, que modulam temperatura e umidade relativa do ar. Em áreas do interior, embora as temperaturas sejam elevadas, a menor umidade relativa tende a reduzir parcialmente os valores do índice em comparação com o litoral.

Além disso, tendências recentes sugerem um possível aumento nas condições de desconforto térmico, o que pode estar relacionado às mudanças climáticas e ao aquecimento regional. Esse cenário reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de estudos mais detalhados, visando compreender melhor os impactos sobre a saúde humana, produtividade e qualidade de vida.

Dessa forma, o uso do Humidex se mostra uma ferramenta importante para avaliação bioclimática, podendo subsidiar políticas públicas voltadas ao planejamento urbano, à saúde e à adaptação às mudanças climáticas no Nordeste brasileiro. Recomenda-se, portanto, a ampliação de estudos futuros que integrem dados meteorológicos, aspectos socioeconômicos e projeções climáticas, a fim de promover estratégias mais eficazes de mitigação e adaptação na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, Á.J; CADORIN, S.B. Heavy rain equations for Brazil. **International Journal of Development Research**, v.11, n.1, p.43332-43337, 2021. DOI: https://doi.org/10.37118/ijdr.20850.01.2021

Cai, J., 2019. humidity: Calculate Water Vapor Measures from Temperature and Dew Point. R packa geversion 0.1.5.

Castelhano F. J. **ThermIndex: Calculate Thermal Indexes.** R package version 0.2.0. 2017. Laboclima - Universidade Federal do Paraná. https://CRAN.R-project.org/package=ThermIndex

Cunha, A.P.M.A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G.G., Brown, M., Garcia, S.R., Brito, S.B., Carvalho, M.A. **Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast.** 2018. Atmos. Sci. Lett., 19,855–862.

Di Napoli, C.; Barnard, C.; Prudhomme, C.; Cloke, H.L.; Pappenberger, F. ERA5-HEAT: **A global gridded historical dataset of human thermal comfort indices from climate reanalysis.** Geosci. Data J., 1–9, 2020.

Evans, J.S. _spatialEco_. R package version 1.3-1, 2020. <URL: https://github.com/jeffreyevans/spatialEco>.

Fedorova, N., Levit, V., Silveira, M.H.S., Pontes Da Silva, B.F., Amiranashvili, A.G. Mesoscale Convective Complexes on the Northeastern Coast of Brazil. **Journal of the Georgian Geophysical Society**, Issue B: Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, 13B, 36-49, 2019.

Fedorova, N., Levit, V., Cavalcante, L. C. V. **Impacts of Tropical Cyclones in the Northern Atlantic on Adverse Phenomena Formation in Northeastern Brazil, Current Topics in Tropical Cyclone Research** [Working Title], 10.5772/intechopen. 82936, 2020.

Forkel, M., Carvalhais, N., Verbesselt, J., Mahecha, M. D., Neigh, C., Reichstein, M. Trend Change Detection in NDVI Time Series: **Effects of Inter-Annual Variability and Methodology**. Remote Sensing, 5(5), 2113-2144, 2013.

Forkel, M., Migliavacca, M., Thonicke, K., Reichstein, M., Schaphoff, S., Weber, U., Carvalhais, N. Co-dominant water control on global inter-annual variability and trends in land surface phenology and greenness. **Global Change Biology**, 21(9), 3414-3435, 2015.

Giannini, A., Chiang, J. C. H., Cane, M. A., Kushnir, Y., Seager, R. "The ENSO teleconnection to the tropical Atlantic ocean: Contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the tropical Americas," **J. Clim**. 14(24), 4530–4544, 2001. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<4530:TETTTT>2.0.CO;2

Hastenrath, S. and Heller, L. Dynamic of Climatic Hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 110, 411-425, 1977. http://dx.doi.org/10.1002/qj.49711046407

Hersbach, H. ERA5: **the new reanalysis of weather and climate data**. 2017. ECMWF Science blog.

Hersbach, H. et al. Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5. ECMWF Newsletter 17–24 (2019).

Hersbach, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Q J R Meteorol Soc** 1– 51, 2020. https://doi.org/10.1002/qj.3803.

Hijmans, R.J. raster: **Geographic Data Analysis and Modeling**. R packa geversion 3.3-13, 2020. https://CRAN.R-project.org/package=raster

IBGE, 2020. https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=4&uf=00

Kousky, V.E. and Gan, M.A. **Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic.Tellus**, 33, 538-551, 1981. http://dx.doi.org/10.1111/j.2153-3490.1981.tb01780.x

Kulikova, I.,Fedorova, N., Levit, V., Cordeiro, E. S. **Sea Surface Temperature Anomaly and Precipitation Distribution in the Alagoas State of the Brazilian Northeast, Natural Science**, 10.4236/ns.2014.614104, 06, 14, (1159-1178), 2014.

Lamigueiro, O.P., Hijmans, R. raster Vis. R package version 0.48, 2020.

Neuwirth, E. R Color Brewer: Color Brewer Palettes. R packa geversion 1.1-2, 2014. https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer

Li, Xian-Xiang. Heat wave trends in Southeast Asia during 1979–2018: **The impact of humidity, Science of The Total Environment**, 10.1016/j.scitotenv.2020.137664, 721, (137664), 2020.

LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

Marengo, J.A., Cunha, A.P.M.A., Nobre, C.A. et al. **Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C**. Nat Hazards 103, 2589–2611 2020. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3

Masterton, J.M., Richardson, F.A. HUMIDEX: **a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity**. CLI 1-79. 1–45, 1979, Environment Canada, Downside Ontario.

Mistry, M.N. A High Spatiotemporal Resolution Global Gridded Dataset of Historical Human Discomfort Indices. **Atmosphere**, 11, 835, 2020.

Molion, L.C.B., Bernardo, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17, 1-10, 2002.

Pohlert, T. trend: **Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection**. R package version 1.1.2, 2020. https://CRAN.R-project.org/package=trend

Rodrigues, L.R.L., Fedorova, N. andLevit, V. Adverse Meteorological Phenomena Associated with Low Level Baric Troughs in the Alagoas State, Brazil, in 2003. **Atmospheric Science Letters**, 11, 204-209, 2010. http://dx.doi.org/10.1002/asl.273

Rodrigues, R. R., McPhaden, M. J. "Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?," **Geophys. Res**. Lett. 41(3), 1012–1018, 2014. https://doi.org/10.1002/2013GL058703

Silva, J.S.S., Silva, R.M., Santos, C.A.G. **Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands:** A case study of Paço do Lumiar, Brazil. Volume 136, Pages 279-292, 2018. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.041

Silva, G.J. F., de Oliveira, N.M., Santos, C.A.G. et al. **Spatiotemporal variability of vegetation due to drought dynamics (2012–2017):** a case study of the Upper Paraíba River basin, Brazil. Nat Hazards 102, 939–964, 2020. https://doi.org/10.1007/s11069-020-03940-x

Silva, M.V.M.; Silveira, C.d.S.; Costa, J.M.F.d.; Martins, E.S.P.R.; Vasconcelos Júnior, F.d.C. **Projection of Climate Change and Consumptive Demands Projections Impacts on Hydropower Generation in the São Francisco River Basin, Brazil.** Water, 13, 332, 2021. https://doi.org/10.3390/w13030332

Sulca, J. C., Rocha, R. P. D. **Influence of the Coupling South Atlantic Convergence Zone El Niño- Southern Oscillation (SACSZ-ENSO) on the Projected Precipitation Changes over the Central Andes Climate**, 9(5), 77, 2021.

Tarek, M., Brissette, F. P., Arsenault, R. **Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America, Hydrol.** Earth Syst. Sci., 24, 2527–2544, 2020. https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020.

XIE, X.; ZHANG, T.; WANG, C.; YANG, Y.; BOGUSH, A.; KHAYRULINA, E.; HUANG, Z.; WEI, J.; YU, Q. **Mixture proportion design of pervious concrete based on the relationships between fundamental properties and skeleton structures.** Cement and Concrete Composites, v. 113, p. 103693, 2020.

AGRADECIMENTOS

À SEMAC