



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Wanda Tathiana de Castro Silva

Variabilidade espaço-temporal do Índice Humidex sobre a Região Nordeste do Brasil

Maceió – AL

2021

WANDA TATHYANA DE CASTRO SILVA

Variabilidade espaço-temporal do Índice Humidex sobre a Região Nordeste do Brasil

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Georgetes Hilário Cavalcante Segundo

Maceió – AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de AlagoasBiblioteca
Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Livia Silva dos Santos – CRB-4 – 1670

S586v Silva, Wanda Tathiana de Castro.

Variabilidade espaço-temporal do índice humidex sobre a região Nordeste do Brasil /Wanda Tathiana de Castro Silva. – 2021.

38 f.:il.

Orientador: Georgenes Hilário Cavalcante Segundo.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 38-31

1. Índice Humidex – Nordeste – Brasil. 2. Conforto térmico. 3. Variáveis climáticas.
4. Clima. I. Título.

CDU: 551.5

Maceió – AL

2021

Dedico esta dissertação ao meu pai, Orleam (in memorian).

Ao meu pai. Mas do que isso, o grande apoio na minha vida. As vozes que me tranquilizavam o coração, os sorrisos que me alegravam a vida, o apoio que me ajudava a percorrer os meus objetivos. Sem ele nunca teria sido possível sonhar. O meu sorriso, as minhas vitórias devo a ele.

Maceió – AL

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por sua eterna compreensão e tolerância, por seu infinito amor, pela sua voz “invisível” que não me permitiu desistir e principalmente por ter me dado uma família tão especial, enfim, obrigado por tudo.

Aos meus pais, Vera Lúcia e Orleam (in memorian), pelo apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida. Por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês, nada seria possível. Amo vocês com amor eterno! Gratidão!

A minha irmã/filha Thaynara e Taysa por sempre torcerem por mim, ficarem felizes por minhas vitórias e me incentivar a ir além para que assim eu me sinta totalmente realizada ao alcançar os meus objetivos na vida! Sei que me amam e querem o meu bem! Gratidão!

A minha sobrinha Maria Luísa, que considero uma filha e sou agradecida a ela pelo imenso amor e extraordinária capacidade de me tornar mais dedicada e esperançosa devido ao forte laço que nos une. Amo muito minha Luisinha!

As minhas tias paternas (Verônica, Walquiria, Wanderly e Valéria) e minha prima Beatriz, sinônimo de amor e união. Obrigada por acreditar no meu sonho e sempre me motivar a seguir em frente. É muito bom saber que posso contar com vocês em todos os momentos. Amo vocês!

A minha avó Nanci Xavier e aos meus avôs Orlando Manoel e Demeval Joaquim (in memorian), por tudo aquilo que me proporcionaram, pelo apoio no momento certo, conversas incentivadoras, por acreditarem sempre nas minhas capacidades e principalmente por existirem. Amo demais!

Ao meu orientador, Professor Georgenes Hilário, pela oportunidade de realizar este trabalho. Obrigada pela confiança e por me atender com paciência todas as vezes que bati em sua porta. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável, e por me guiar nos primeiros passos do Mestrado. Muito obrigada por tudo!

Aos professores do programa de pós-graduação em Meteorologia, agradecida pelos ensinamentos que transcendem os limites da Universidade e pelos conhecimentos transmitidos durante o curso e pela convivência que mesmo sendo virtual foi muito agradável. Obrigada por sempre estarem a minha disposição! Gratidão!

À Viviane Chaves, pelo companheirismo diário e na vida. Você tornou os dias de estudos e trabalhos muito mais leves e divertidos. Obrigada por me ajudar em todos os momentos que precisei. Meu eterno agradecimento por não me deixar acumular responsabilidades nestes últimos tempos e por compreender todos os meus momentos e dificuldades. Seu valioso e incansável apoio foi definitivo em todos os momentos deste trabalho. A você, minha eterna gratidão! Amo você!

Ao amigo Ronabson Cardoso, pessoa iluminada, e prova de que Deus coloca anjos em nosso caminho. Um grande exemplo de força e serenidade. Obrigada por me oferecer um ombro amigo sempre que precisei. A você, minha eterna gratidão!

A minha velha amiga, Viviane Ferreira, aquela que conheci na minha infância e levarei para o resto da vida, mesmo com a distância está sempre presente me ajudando a ter força para seguir em frente, com um gesto de carinho ou uma palavra amiga. É muito bom saber que tenho você sempre comigo. Amo você!

À Renata Leiras, amiga que fiz durante o Mestrado e embarcou comigo nesse sonho. Obrigada por todo apoio ao longo desta caminhada. Dividimos os sonhos e as dificuldades juntas. Ter você por perto foi essencial para que eu conseguisse seguir em frente.

Aos colegas do mestrado Daniel Milano e Lourdes Gabriela, por todos os ensinamentos compartilhados sem hesitar e pela convivência sempre muito agradável. Muito obrigada!

Aos amigos David Duarte, Fabiano Prestrelo e Marcos Viana meus sinceros agradecimentos e foram sensacionais todos os esclarecimentos a mim prestados durante o período do mestrado.

Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é “muito” para ser insignificante.
(Charles Chaplin)

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 1990 a 2019. 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.

ABSTRACT

Thermal comfort, Humidex, is a very important variable to assess the degree of thermal stress on living beings. Because it depends on climatic variables, Humidex has a space-time-intensity variation conditioned to various weather and climate attenuators. Thus, the objective of this work is to verify possible trends and spatio-temporal analysis of the Humidex index on the Northeast of Brazil (NEB). ERA5 data distributed by ECMWF was used for the period from 1990 to 2019. It was found that the MATOPIBA region was the one that stood out the most with positive discomfort trends over NEB, as well as the region with the largest Humidex indexes. While on the NEB coast there were low Humidex valleys which may be associated with oceanic influence. It was observed that the night time has a positive trend on NEB, especially on MATOPIBA. In addition to the hourly scale, it was also found that on the monthly, seasonal and annual scale, this region of MATOPIBA has a highlight. This is due to the fact that the replacement of the natural forest by agricultural production, in which, it directly affects the energy balance in this region. It was found that in the La Niña period it was considered relatively more comfortable thermally, whereas in the El Niño period it was reversed. The reduction and increase in precipitation on the NEB due to El Niño and La Niña led to the attenuation of the Humidex index. Therefore, the Humidex index was studied and the attenuation of this index in relation to the time-spatial scale was altered due to meteorological systems, change due to the modification of land use and attenuation due to the El Niño and La Niña phenomena.

Keywords: climate, atmosphere, thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figure 1 – Brasil e área de estudo em vermelho. A altimetria é representada pela barra de cores	19
Figure 2 – Climatologia horária do índice Humidex de 1990 a 2019.....	23
Figure 3 – Climatologia mensal do índice Humidex para 1990 a 2019.....	24
Figure 4 – Tendência horária do índice Humidex para 1990 a 2019.....	25
Figure 5 – Tendência mensal do índice Humidex para 1990 a 2019.....	25
Figure 6 – Tendência sazonal do índice Humidex para 1990 a 2019.....	26
Figure 7 – Tendência anual do índice Humidex para 1990 a 2019.....	28
Figure 8 – Humidex (°C), área de soja em Balsas e Tasso Frágoso em Hectares.....	29
Figure 9 – Densidade de Kernell do índice Humidex durante El Niño (1998 e 2016) e La Niña (2011, 2018)	30

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Valores limites e faixas do índice Humidex correspondentes ao aumento das condições de desconforto térmico (Masterton JM, Richardson FA, 1979); d'Ambrosio Alfano et al., 2011)	21
Tabela 2 - Estatísticas descritivas e tendências anuais do índice Humidex (IH) com respectivos p-valores de acordo com o teste de Mann-Kendall para as capitais dos estados do Nordeste do Brasil e cidade de Balsas representando o setor norte do Nordeste. Os valores das unidades estão em ° C	28

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	- Graus Celsius
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
e_a	- Pressão de vapor real
e_s	- Pressão de vapor saturado
ECMWF	- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA5	- Reanálise do ECMWF de quinta geração para o clima e tempo globais
H	- Horário local
IH	- Índice Humidex
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K	- Kelvin
MATOPIBA	- Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MK	- Mann-Kendall
M_w	- Constante molar do gás
NEB	- Nordeste do Brasil
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
R_w	- Calor latente de evaporação da água
T	- Temperaturas de bulbo seco
T_d	- Temperaturas de bulbo úmido
T_0	- Temperatura, 273,15 K
°S	- Hemisfério Sul
UR	- Umidade relativa do ar, em %
VCAN	- Vórtices Ciclônicos de Alto Nível
Z	- Horário de Greenwich
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

	Pág.
1 CAPÍTULO.....	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
2 CAPÍTULO	15
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1.1 Clima do NEB.....	15
2.1.2 Conforto térmico (Índice Humidex)	15
3 CAPÍTULO-Artigo.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
2.1 Localização.....	19
2.2 Conjunto de dados.....	20
2.3 Índice Humidex.....	20
2.4 Teste Mann-Kendall.....	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1 Climatologia Horária e Mensal do Índice Humidex.....	22
3.2 Tendência horária, mensal, sazonal e anual do índice Humidex.....	24
4 CONCLUSÃO.....	30
5 AGRADECIMENTOS.....	31
6 REFERÊNCIAS.....	31

1 CAPÍTULO

1.1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico é muito importante para os seres vivos, pois, com esses índices pode-se avaliar o grau de conforto daquele ser vivo em relação as condições térmicas do ambiente. Sabe-se que tanto as temperaturas quanto o tempo podem-se variar espacialmente e temporalmente, em que, ao mesmo tempo que um ser vivo por acusar-se de desconforto térmico por frio, em outro local, pode-se avaliar como termicamente quente.

Outros fatores têm sido estudados como as alterações do uso do solo trocando-se a vegetação nativa por outra vegetação e, conseqüentemente, o balanço de energia sofre alteração contribuindo para o aumento da energia sensível sobre uma certa região levando a excesso térmico e aumento de desconforto ambiental. Outros fatores se devem pela variação temporal da temperatura que depende não só de fatores astronômico quanto de fatores climáticos como a frequência de frentes frias, de precipitação e de cobertura de nuvens, por exemplo.

As mudanças climáticas trarão modificações sensíveis no conforto térmico, em que, o aumento da temperatura trará conseqüências 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. Problemas cardíacos, respiratórios, problemas de aprendizagem de alunos nas escolas são alguns efeitos nocivos do desconforto térmico nos seres humanos.

Com isso, esse estudo servirá para planejamentos públicos, como uma fonte de pesquisa para avaliar as condições térmicas e situações de conforto ou desconforto ambiental. Em caso 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 CAPÍTULO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Clima do NEB

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; Gianniniet al, 2001, Molion e Bernardo, 2002; Fedorova et al., 2009; Rodrigues et al., 2010; Fernandes e Carvalho, 2014; Kulikova et al., 2014; Lyra et al., 2014; Rodrigues eMcPhaden , 2014; Stephanie et al., 2016; Cunha et al., 2018;Silva et al., 2018; Fedorova et al. , 2020, Medeiros e Oliveira,2021, Gomes e Lima, 2021).

Outros fatores para mudanças espaço-temporal do clima sobre o NEB devem-se pela mudança do uso do solo e, conseqüentemente, mudança no balanço de energia, elevando a temperatura do ar e da evapotranspiração para algumas partes do NEB (Silva et al., 2018; Borges et al., 2020; 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.

2.1.2 Conforto térmico (Índice Humidex)

O balanço de energia entre o ambiente e o corpo humano pode indicar o nível de estress que esse corpo está sofrendo, caso corpo esteja sofrendo perda excessiva de calor pode indicar perda de calor e sensação de frio e, inversamente, quanto um corpo ganha uma quantidade excessiva de calor podendo indicar o stress por calor. E para isso, cientistas criam índices para verificar essa interação, por exemplo, o índice Humidex entre outros.

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; Infusino et 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).

3 CAPÍTULO

Este capítulo refere-se ao artigo intitulado como “**Spatiotemporal variability of the Humidex Index over the Northeast Region of Brazil**” publicado na revista científica “*Revista Brasileira de Geografia Física*”, DOI: 10.26848/rbgf.v14.2.p591-606, <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250578>>.

Variabilidade espaço-temporal do Índice Humidex sobre a Região Nordeste do Brasil

Wanda Tathyana de Castro Silva ^a, Georgetes Hilario Cavalcante Segundo ^b

^aPrograma de Pós-Graduação em Meteorologia (PGMET). Instituto de Ciências

Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, CEP: 12 57072-970, Brazil

^bInstituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, CEP: 12 57072-970, Brazil

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 1990 a 2019. 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

As temperaturas fora de uma faixa de conforto afetam a saúde humana e estão relacionadas ao aumento do estresse e da mortalidade. Relatórios das diversas organizações profissionais brasileiras (CPTEC, INPE) mostram que o aquecimento global provoca mudanças climáticas expressas, por exemplo, pelo aumento da temperatura. No Brasil, e particularmente na região Nordeste (NEB), a temperatura média tem aumentado 25% mais rápido do que a média global desde 1910, o que implica que a população pode estar particularmente exposta aos efeitos do aumento da temperatura em relação a outras populações (NOAA, 2017), apresentando riscos para a saúde humana. Nessas circunstâncias, o conhecimento das condições de desconforto térmico é necessário, principalmente em áreas com alto risco de mortalidade devido a temperaturas excessivas. O conforto térmico é difícil de ser quantificado porque é necessário considerar uma série de fatores ambientais e humanos para decidir o que faz uma pessoa se sentir confortável termicamente. Os primeiros fatores podem incluir temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do vento e umidade do ar, enquanto os últimos são atribuídos ao chamado "calor metabólico" (Brake e Bates, 2003).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, a exposição contínua de um indivíduo a um ambiente cujas condições térmicas são adversas àquelas a que está habituado faz com que o organismo sofra alterações fisiológicas para se adaptar ao ambiente (Buitrago et al., 2016). Isso é particularmente importante, pois os episódios de ondas de calor estão se tornando mais frequentes e podem causar hipertermia, desidratação e doenças respiratórias. Por outro lado, temperaturas extremamente baixas podem resultar em doenças isquêmicas do coração, cerebrovasculares e respiratórias (Schwarz et al., 2010).

Como os modelos globais prevêem mudanças significativas no clima das regiões NEB, espera-se que o aumento da temperatura afete diretamente o bem-estar da população, uma vez que as variações de temperatura do ar, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento são muito importantes ao quantificar o conforto térmico de uma região. Mais importante, o NEB está exposto a vários sistemas de atenuação do tempo e do clima que podem levar a um aumento no nível de conforto ou desconforto térmico, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Brisas, Vórtices Ciclônicos de Alto Nível (VCAN), linhas de estabilidade, sistemas convectivos, distúrbios de ondas e, com menos frequência, ciclones tropicais (Hastenrath e Heller, 1977; Kousky e Gan, 1981; Molion e Bernardo, 2002; Fedorova et al., 2009; Rodrigues et al., 2010; Fedorova et al., 2020). Além disso, nos anos de El Niño / La Niña, o regime de precipitação diminui / aumenta no Nordeste brasileiro (NEB) e aumenta / diminui na região sul do Brasil (Grimm et al. 1998).

Nesse sentido, como as condições climáticas no NEB tendem a se agravar devido a vários fenômenos em diferentes escalas espaço-temporais tais mudanças causarão desconforto na população NEB, podendo requerer adaptação do organismo durante esses períodos. Nesse sentido, este estudo é um esforço para avaliar o grau de conforto térmico avaliado em todo o NEB com base nas estimativas do índice Humidex. Avaliar a variabilidade espaço-temporal dos índices e forçantes oceano-atmosfera, ajudará a identificar a correlação potencial entre forçantes externos e condições térmicas dentro da região.

Sabe-se que a interação entre clima, tempo e configuração da cidade é complexa (Darbani, et al., 2021; Matallah, et al., 2021; Pereira e Bourscheid). Segundo Pereira e Bourscheid (2021), embora as pessoas que moram em prédios localizados próximos ao mar também estejam expostas a altas temperaturas, a flutuação permanece em uma faixa classificada como confortável, principalmente devido ao sombreamento e à brisa do mar. Porém, o crescimento das cidades aumentou o desconforto térmico devido à substituição da vegetação por concreto entre outros fatores (Sharma et al., 2021). De acordo com Meiliet al. (2021) o aumento da umidade devido às restrições de vegetação foi considerado o fator responsável pela redução da média térmica para 3° C, bem como, o crescimento urbano tem um efeito negativo no microclima do conforto térmico (Darbani, et al., 2021). Dito isso, os desenvolvimentos urbanos devem desenvolver estratégias que busquem mitigação e adaptação, aproveitando a infraestrutura verde existente (Matallah, et al., 2021, Meili et al., 2021).

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo compreender as tendências espaço-temporais do índice Humidex sobre o NEB, levando em consideração, como a mudança no uso do solo pode impactar os índices de conforto térmico? Como a interação terra-oceano-atmosfera pode impactar os índices Humidex?

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 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**).

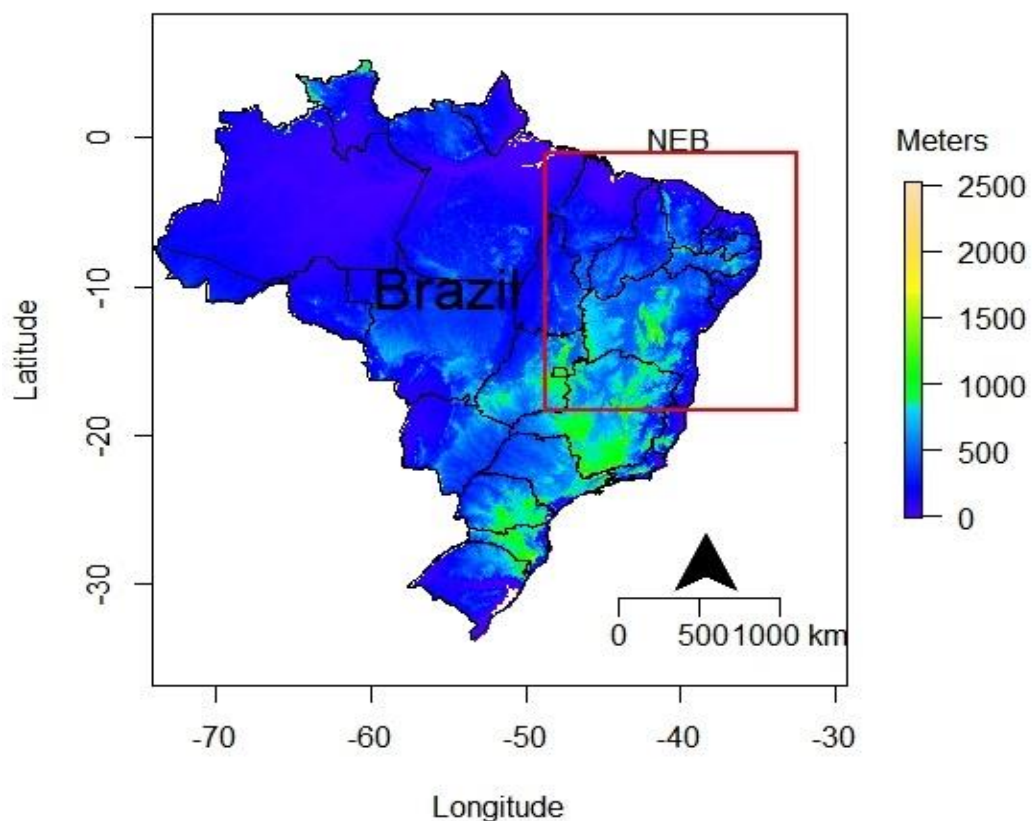


Figura 1- Brasil e área de estudo em vermelho. A altimetria é representada pela barra de cores.

2.2 Conjunto de dados

Para este estudo, foi utilizado o banco de dados ECMWF Global Reanalysis, ERA5, com espaçamento de grade de 0,25°x0,25° (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 (Cucchiet al., 2020; Di Napoliet al., 2020; Li, 2020; Martens et al., 2020; Mistry, 2020; Tarek et al. 2020; Vitolo et al., 2020).

2.3 Índice Humidex

O cálculo do índice Humidex foi baseado na metodologia adotada por Thom's (1959) e d'Ambrosio Alfanoetal (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 (T_d) de acordo com a equação (3) da ERA5. UR corresponde à razão da pressão de vapor real (e_a (T)) e saturação (e_s (T_d)) na mesma temperatura, em porcentagem:

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

A pressão de vapor real (e_a (T)) e a pressão de saturação (e_s (T_d)) foram calculadas a partir das equações (4) e (5):

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

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

Onde, $e_a(T)$ e $e_s(T_d)$ correspondem à pressão de vapor real na temperatura T e pressão de saturação de vapor na temperatura T_d , respectivamente. $e_s(T_0)$ é a pressão de saturação de vapor em uma temperatura de referência T_0 , $L = 2,5 \times 10^6 \text{ J / kg}$ corresponde ao calor latente de evaporação da água e $R_w = \frac{1000R}{M_w} = 461.52 \text{ J/kgK}$. $R = 8.3144621 \text{ J/(molK)}$ é a constante molar do gás e $M_w = 18,01528 \text{ g / mol}$ é o peso molecular do vapor de água. A temperatura de referência e a pressão de saturação de vapor utilizadas foram $T_0 = 273,15 \text{ K}$ e $e_s(T_0) = 6,11 \text{ mb}$. 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'AmbrosioAlfano et al., 2011).

Alcance Humidex	Nível de Desconforto Térmico
$29 \leq \text{Hum} \leq 30$	Conforto
$39 \leq \text{Hum} \leq 40$	Algum desconforto
$45 \leq \text{Hum} \leq 46$	Grande desconforto
$54 \leq \text{Hum} \leq 55$	Perigoso
< 54	Estado de emergência médica

2.4 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 $(x_i - x_j)$ é determinado por (6):

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

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 *Therminindex* (Castelhano, 2017). Para as cores, foi utilizado o pacote *RColorBrewer* (Neuwirth, 2014.). Para a interpretação dos arquivos nectdf ERA5, foram utilizados os pacotes *raster* (Hijmans, R.J., 2020) e *rasterVis* (Lamigueiro e Hijmans, 2020). Para cálculos de tendência, foram usados os pacotes *trend* (Pohlert, 2020), *spatialEco* (Evans, 2020) e *greenbrown* (Forkel et al., 2013; Forkel et al., 2015). Para interpretar esses algoritmos, foi utilizado o programa R (R, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Climatologia Horária e Mensal do Índice Humidex

A **Figura 2** mostra a média espaço-temporal dos índices Humidex para a região NEB de 1990 a 2019. Observa-se que o índice de conforto térmico aumenta de 30 °C a 24 °C entre 22Z (19h local) a 10Z (07h local), período noturno a período do meio da manhã, acompanhando a diminuição da temperatura do ar (24 °C a 36 °C). Esse padrão é mais proeminente em regiões de grande altitude, como a região da Chapada Diamantina localizada na região central da Bahia. Já durante o período diurno (8h local) até o final da tarde (18h local), foram encontrados picos de índices Humidex de 39 °C nas regiões do Maranhão e Piauí o que corresponde ao maior desconforto pela classificação da Humidex, com duração em torno de 10 horas.,em média.

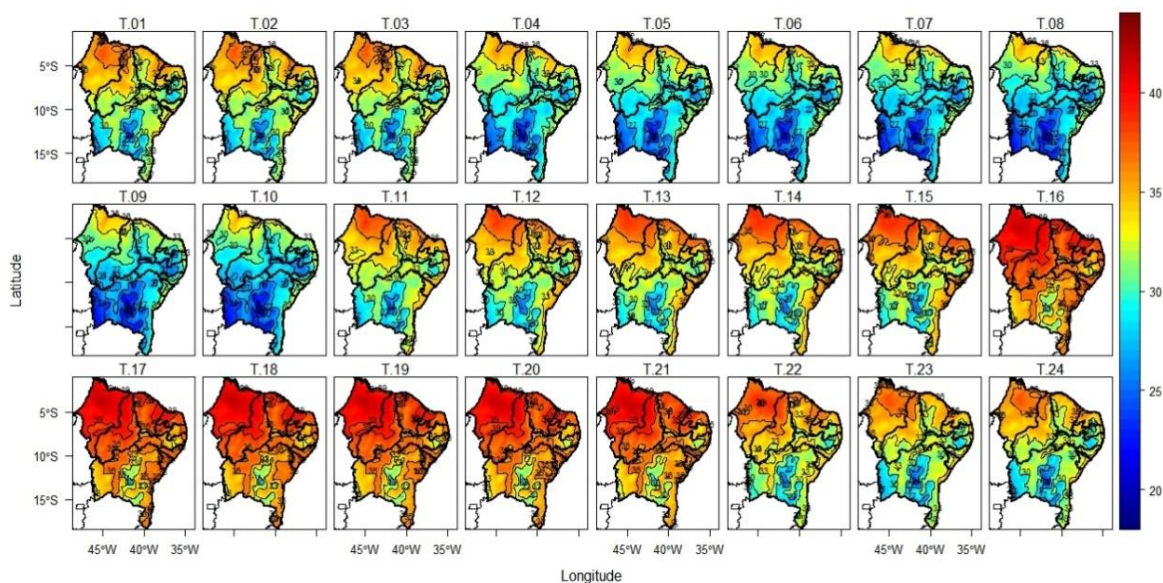


Figura 2 - Climatologia horária do índice Humidex de 1990 a 2019.

De acordo com o índice Humidex, regiões localizadas a 5°S de latitude apresentaram índices acima de 35°C de outubro a maio. Verificou-se que as áreas próximas ao litoral apresentam um índice relativamente constante ao longo do ano e que está associado à influência do oceano como fonte de calor e umidade no litoral (**Figura 3**).

Observou-se que entre 10 °S a 20 °S o índice Humidex diminui de janeiro (29 °C) a agosto (> 23 °C), principalmente na Chapada Diamantina e região central do estado da Bahia, bem como em outras regiões de altitudes elevadas, como em Pernambuco, Alagoas e Paraíba. Isso pode ser atribuído à posição do sol, altitude e fatores meteorológicos e climáticos. Por exemplo, estudos mostraram que durante o El Niño, as frentes frias são menos frequentes na região inibindo chuvas, e por outro lado, o La Niña é caracterizado por frentes frias frequentes induzindo chuvas intensas e temperatura do ar mais baixa (Pereira et al., 2011).

Apesar da variabilidade temporal da precipitação que influencia o balanço energético, a região NEB revela um balanço energético constante ao longo do ano. Segundo Correia Filho et al (2019), eles mostraram que a estação chuvosa nos biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado ocorre entre janeiro e abril, mas variando em intensidade, não observada na Mata Atlântica. As regiões com maiores níveis de conforto foram Bahia e Pernambuco com valor de 26 °C a 23 °C no período de maio a setembro (**Figura 3**). Correia Filho et al (2019) mostram que o extremo sul da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica são influenciados por sistemas frontais e, consequentemente, influenciam nos elevados níveis de conforto térmico da r.

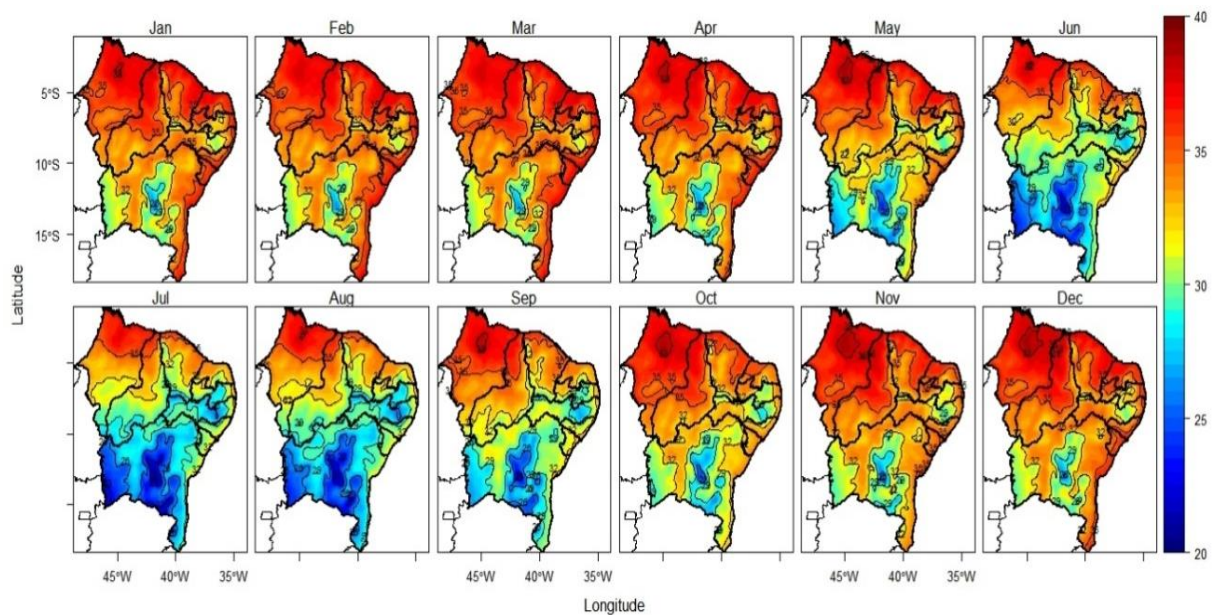


Figura 3 - Climatologia mensal do índice Humidex para 1990 a 2019.

3.2 Tendência horária, mensal, sazonal e anual do índice Humidex

Pode-se observar que a **Figura 4** mostra que a tendência horária positiva ocupa grande parte da região do NEB. Durante o período noturno (22Z a 04Z), a região do MATOPIBA (Figura 4, T.22 a T.04), apresentou as maiores tendências de temperatura em NEB com taxa positiva variando de + 0,008°C / Hora / Mês a 0,01 °C / Hora / Mês. Na região do litoral, verifica-se uma ligeira tendência negativa durante o período noturno, que pode estar associada ao aumento da intensidade da brisa marítima e da precipitação local. Estudos têm mostrado que os ventos da brisa do mar têm potencial de resfriamento significativo, impactando os níveis de conforto térmico (He et al., 2020a, He et al., 2020b, Liu et al., 2020).

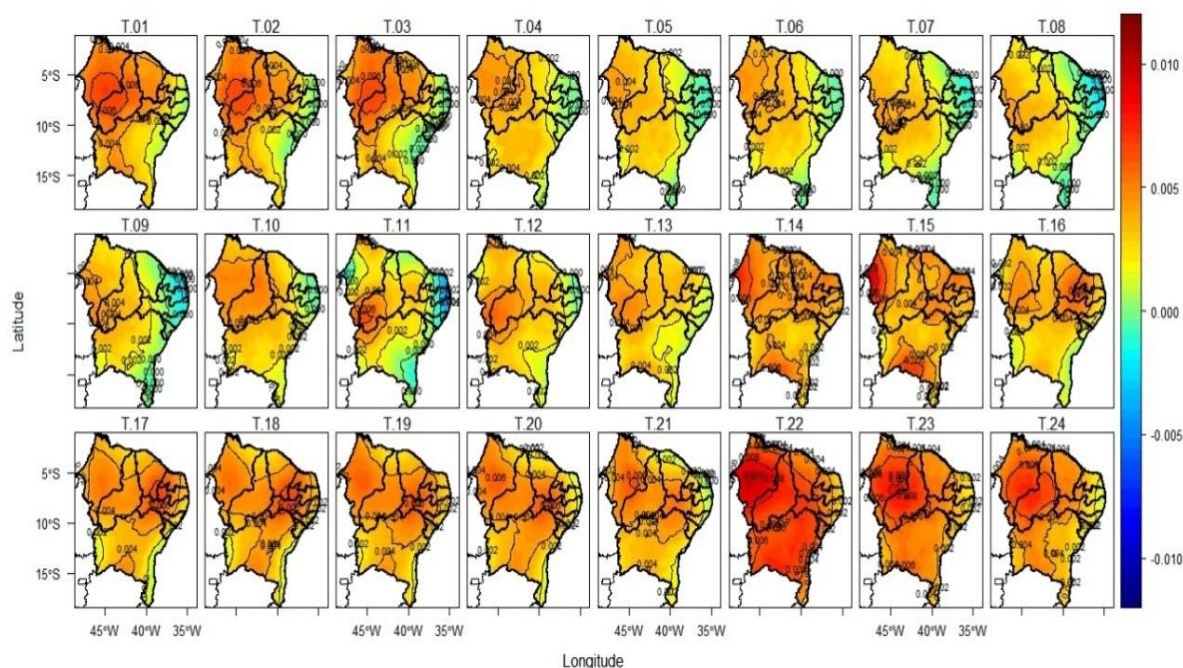


Figura 4 - Tendência horária do índice Humidex para 990 a 2019.

A tendência mensal do índice Humidex é mostrada na **Figura 5**. Mais uma vez, a região do MATOPIBA revela uma tendência muito significativa variando de $+ 0,04^{\circ}\text{C} / \text{mês}$ a $+ 0,08^{\circ}\text{C} / \text{mês}$, principalmente nos meses de março, outubro e novembro. As pequenas tendências de Humidex são observadas na região costeira e podem estar associadas à influência oceânica (Moura et al., 2009; de Medeiros et al., 2020).

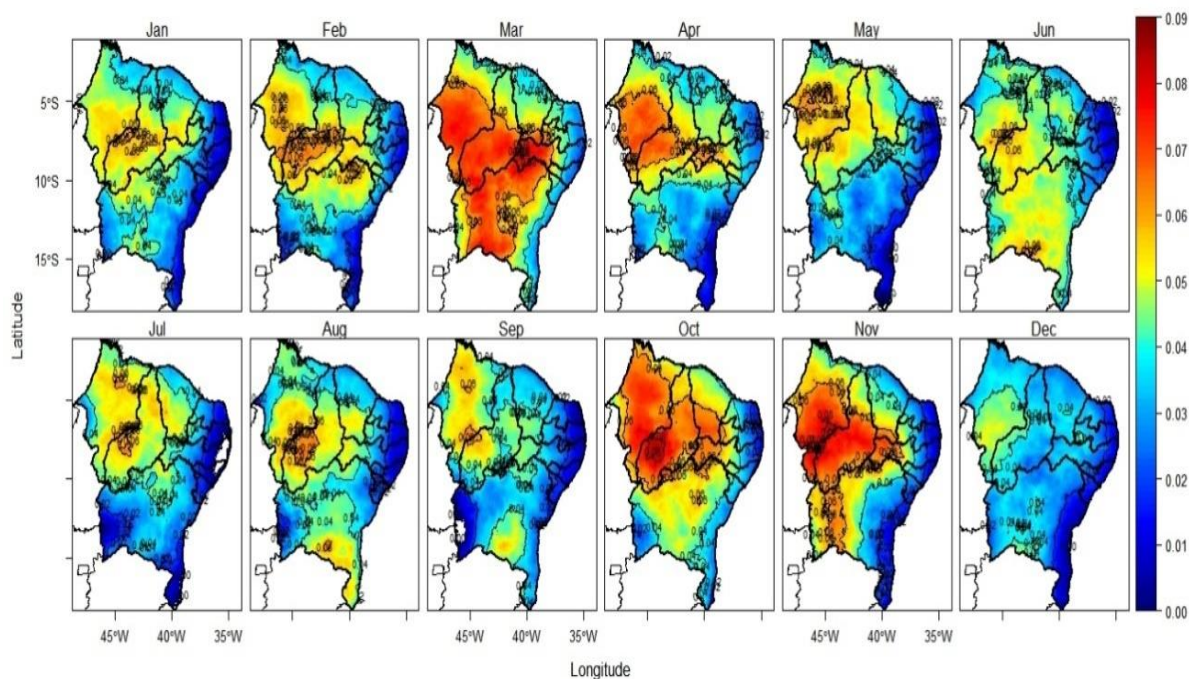


Figura 5 - Tendência mensal do índice Humidex para 990 a 2019.

Uma tendência sazonal crescente é observada em uma grande área cobrindo a região NEB (**Figura 6**). Os estados do Maranhão e Piauí registraram tendências superiores a $+0,06$ °C / mês. Aproximadamente 2,41% do NEB apresenta tendência igual ou superior a $+0,06$ °C / Ano e 24,21% do NEB com tendência igual ou superior a $+0,05$ °C / Ano. A tendência sazonal de aumento observada na bacia do rio São Francisco $+0,04$ °C / 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 da terra influenciaram os processos climáticos em grande escala devido às mudanças na energia superficial e no balanço de carbono. Além disso, Angelini et al. (2017) mostraram que o fluxo de calor latente no Cerrado pode atingir níveis 60% maiores do que nas lavouras agrônômicas, 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 sazonal de umidade foi marginal apenas na região costeira, com poucas áreas com valores máximos de $0,01$ °C / ano a $0,02$ °C / ano.

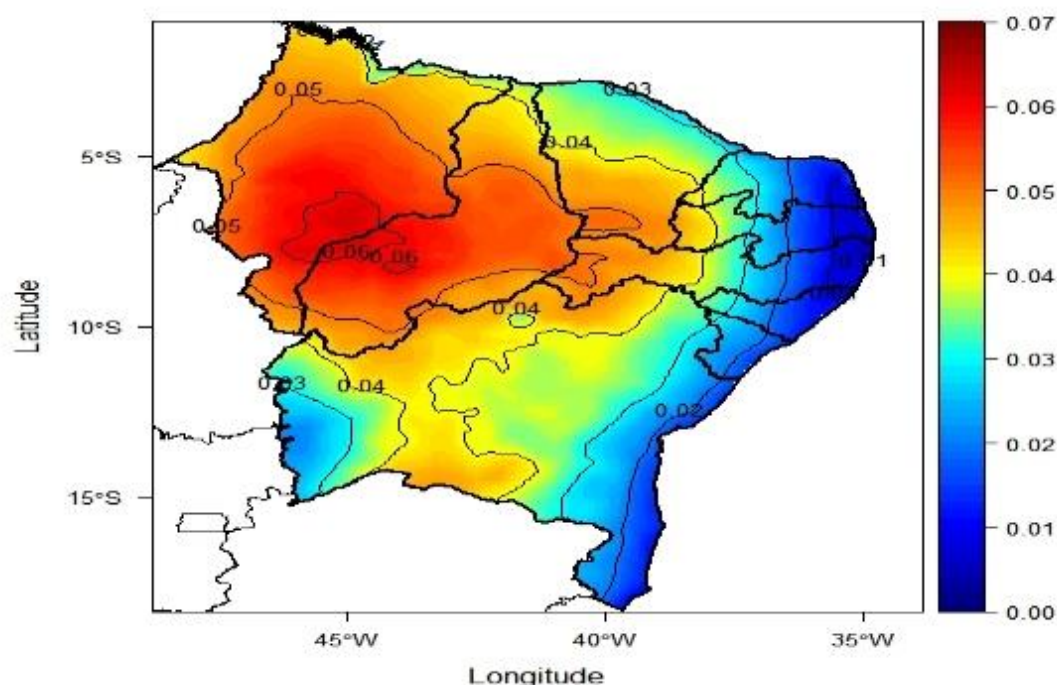


Figura 6 - Tendência sazonal do índice Humidex para 1990 a 2019.

A **Tabela 2** mostra que valores mínimos de 30,4 ° C e máximos de 39,6 ° C do índice Humidex (IH) foram encontrados em Maceió / AL e Teresina / PI, respectivamente, enquanto a média de pico de 36,7 ° C foi encontrada em Teresina / PI. A tendência anual do IA foi estatisticamente significativa em todas as cidades, com exceção de João Pessoa / PB e Recife / PE, e indica uma tendência geral positiva (Tabela 2). As maiores tendências anuais foram nas cidades localizadas no setor norte do NEB, representadas pela cidade Balsas / MA com 0,061 ° C / ano. As tendências anuais apresentaram variabilidade semelhante em relação à sazonal, onde a última indicou valores superiores a 0,06 ° C / Ano, e mais intensos nos estados do Maranhão e Piauí. Aproximadamente 3,13% do NEB apresenta tendência igual ou superior a 0,06 ° C / ano, expandindo-se para 26,57% do NEB com tendência igual ou superior a 0,05 ° C / ano. Isso representa um aumento de 1,8 ° C a 1,5 ° C, respectivamente, em 30 anos. Novamente, a mudança no uso do solo afeta diretamente o balanço de energia, precipitação e temperatura do ar na região (Narisma et al., 2003; Cunha et al., 2015a; Hirota et al., 2011; Angelini et al., 2017, Gaspari et al., 2018; Salvador et al. 2018; Silva et al., 2018; Cabral Júnior et al. 2019; Marçale et al., 2019).

De acordo com Costa et al. (2020) a região NEB apresenta indícios inconfundíveis de aquecimento, em que, nas últimas décadas, tem havido tendências predominantes de diminuição do percentual de noites frias (-8,4% dias / década), aumento do número de noites quentes. noites (10,6% dias / década), bem como no número de dias por década em que as temperaturas mínimas ultrapassaram o limiar de 20 ° C, e tendência de aumento dos eventos de ondas de calor. Essas mudanças se devem a alguns fatores que, segundo Carvalho et al. (2020) estão relacionados com a redução do número de precipitação / dias, principalmente ao longo da zona costeira, bem como a redução da taxa de precipitação dentro de 150 a 300 km da costa, e na região do Sertão (Vieira et al., 2020; Marengo et al., 2020).

Além dos fatores climáticos, a mudança no uso do solo com substituição da vegetação nativa por soja alterou o balanço energético. De acordo com Vieira et al. (2021), mostraram que aproximadamente 4677 km² (0,63%) da região do MATOPIBA está sob fortes sinais de degradação, principalmente em áreas de pastagem e campos, comumente usados para pastagem. Consequentemente, além da substituição gradativa da vegetação nativa, a radiação solar atinge diretamente o solo, aquecendo ainda mais a região.

Segundo estudos realizados por Salvador e Brito (2018) as temperaturas máximas e mínimas e os índices de temperaturas extremas apresentaram forte tendência positiva em praticamente todas as séries ($p < 0,05$) na região do MATOPIBA, estado do Maranhão,

Tocantins, Piauí e Bahia. Os autores também apontaram que essa região vem passando por um processo de aquecimento significativo nas últimas 3 décadas.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas e tendências anuais do índice Humidex (IH) com respectivos p-valores de acordo com o teste de Mann-Kendall para as capitais dos estados do Nordeste do Brasil e cidade de Balsas representando o setor norte do Nordeste. Os valores das unidades estão em °C.

Cidades	Min.	Máx.	Média	± Erro	Tendência °C/Ano	p-value
São Luís/MA	35,5	39,4	37,2	0,6	+0,031	0,001*
Teresina/PI	32,8	39,6	36,7	0,8	+0,048	0,000*
Fortaleza/CE	33,6	39,4	36,4	0,6	+0,031	0,000*
Natal/RN	32,1	38,9	35,4	0,5	+0,016	0,030*
João Pessoa/PB	31,7	39,0	35,3	0,5	+0,012	0,103
Recife/PE	30,8	38,5	34,7	0,6	+0,009	0,253
Maceió/AL	30,4	38,0	34,2	0,5	+0,015	0,050*
Aracaju/SE	30,5	38,2	34,4	0,6	+0,017	0,043*
Salvador/BA	29,3	39,0	34,3	0,8	+0,023	0,027*
Balsas/MA	30,1	38,1	34,5	0,9	+0,061	0,000*

* Significativo a 5%.

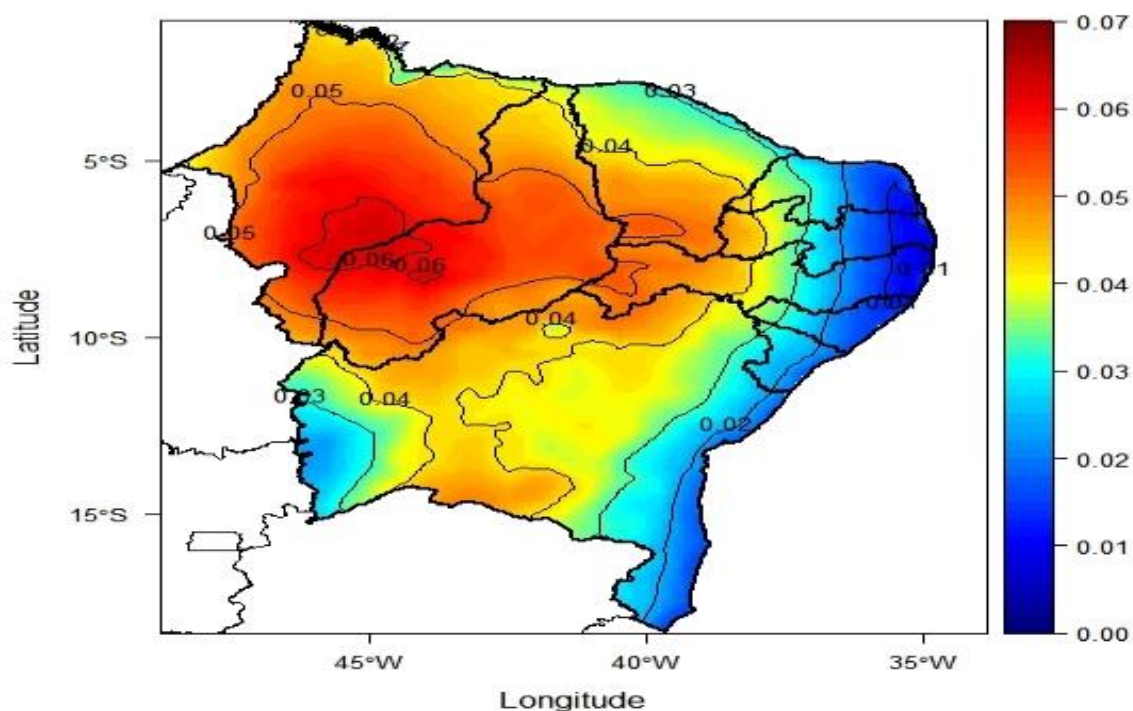


Figura 7 - Tendência anual do índice Humidex para 1990 a 2019.

A evolução anual da Humidex e das áreas de cultivo de soja nos municípios de Balsas / MA e Tasso Fragoso / MA são os maiores produtores de soja desta região (**Figura 8**). Os resultados indicam que a tendência crescente de desconforto ambiental está associada ao aumento do cultivo da soja em Balsas e Tasso Fragoso (Figura 8). Esses dois municípios são os maiores produtores de soja do estado do Maranhão. Aplicamos a correlação de Pearson entre o índice Humidex e a área de soja em ambos os municípios e encontramos correlações de 0,82 ($p = 2,879e-08$) (Balsas) e 0,83 ($p = 1,101e-08$) (Tasso Fragoso), o que confirma que a substituição gradativa da vegetação natural pela soja refletiu positivamente no desconforto térmico sobre a região do Maranhão e Piauí a aproximadamente 2°C (**Figura 8**).

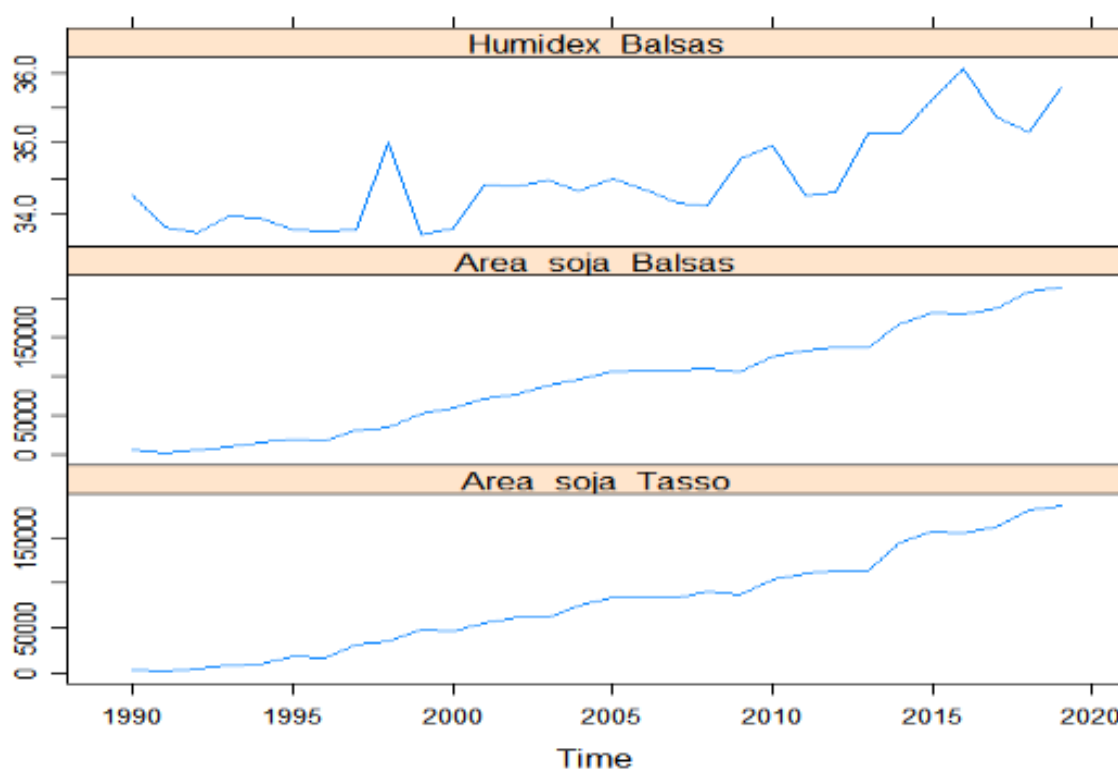


Figura 8 - Humidex (°C), área de soja em Balsas e Tasso Fragoso em Hectares.

Para verificar a influência de climas em larga escala, como eventos El Niño e La Niña, na oscilação do índice Humidex, análises de densidade de kernel foram aplicadas em ambas as séries de dados. Pode-se observar na **Figura 9** que o El Niño de 2016 foi mais intenso do que o El Niño de 1998 com um índice Humidex superior a 40 °C. Cunha et al. (2015b) indefinido que a seca de 2012 a 2013, afetou cerca de 85% do semiárido brasileiro, afetando a exclusão, umidade do solo, recuperação e os efeitos da memória da vegetação. Kogan confirma que o El Niño 2015/2016 foi muito mais forte do que o evento extremo de 1997–

1998 que afetou diferentes regiões do globo. Observou-se que nenhum evento La Niña de 2011, o Humidex foi termicamente mais confortável que o La Niña de 2018, semelhante ao El Niño de 1998.

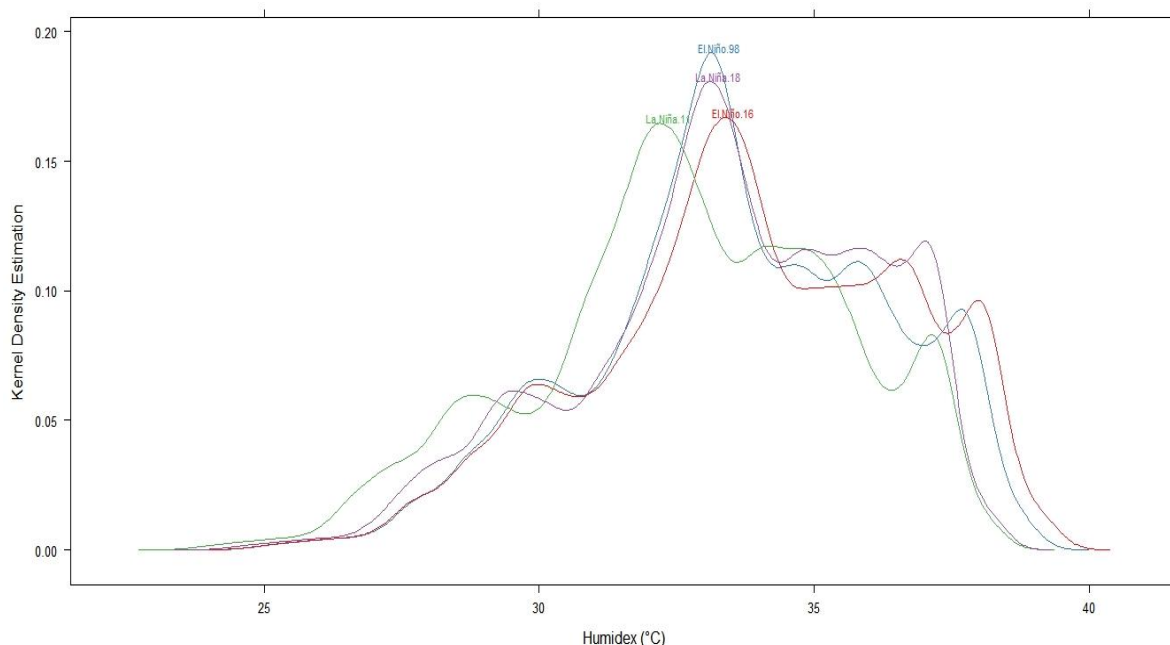


Figura 9 - Densidade de Kernell do índice Humidex durante El Niño (1998 e 2016) e La Niña (2011, 2018).

4 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo estudar o índice Humidex em diferentes escalas como horária, mensal, sazonal e anual e suas respectivas tendências. Percebeu-se que a região do MATOPIBA foi a que mais se destacou com tendências positivas de desconforto, assim como a região com os maiores índices de Humidex. Nesse sentido, 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. Observou-se que a região da costa leste do NEB foi influenciada pelo Oceano Atlântico.

Constatou-se que durante o dia, a região norte do NEB apresenta os maiores índices de desconforto térmico e a região centro-sul do NEB, durante o período noturno, apresenta os índices mais confortáveis termicamente.

Observou-se que o índice Humidex na faixa de 5°S apresenta-se de outubro a maio mais incômodo com índices acima de 35°C. Observe que a costa do NEB tem um índice relativamente constante ao longo do ano devido à influência do oceano. Entre 10°S e 20°S, na região continental do NEB, o índice Humidex diminui de janeiro (29°C) a agosto (> 23°C), principalmente na Chapada Diamantina e região central do estado da Bahia e algumas outras regiões de altitude como Pernambuco, Alagoas e Paraíba, voltando a partir de setembro. Isso se deve à posição do sol, altitude e fatores meteorológicos e climáticos.

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-temporal foi alterada devido aos sistemas meteorológicos, alteração devido à modificação do uso do solo e atenuação devido aos fenômenos El Niño e La Niña.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos fornecedores dos dados usados neste estudo: conjunto de dados ERA5 distribuído pela ECMWF.

6 REFERÊNCIAS

- Ailton A. de Carvalho, Abelardo A. de A. Montenegro, Hernande P. da Silva, IugLopes, José E. F. de Moraes, Thieres G. F. da Silva. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.24, n.1, p.15-23, 2020
- Amasuomo, T.T.; Amasuomo, J.O., 2016. Perceived Thermal Discomfort and Stress Behaviours Affecting Students' Learning in Lecture Theatres in the Humid Tropics. Buildings, 6, 18.
- Angelini, L.P., Silva, P. C. B.S., Fausto, M. A., Machado, N. G., Biudes, M. S., 2017. Balanço de Energia nas Condições de Mudanças de Uso do Solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Meteorologia, 32(3), 353-363. <https://doi.org/10.1590/0102-77863230003>
- Bao-Jie He, Lan Ding, Deo Prasad, Outdoor thermal environment of an open space under sea breeze: A mobile experience in a coastal city of Sydney, Australia, Urban Climate, Volume 31, 2020b, 100567, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100567>.

- Bao-Jie He, Lan Ding, Deo Prasad, Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence, *Sustainable Cities and Society*, Volume 60, 2020a, 102289, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>.
- Brake, D.J., Bates, G.P., 2003. Fluid losses and hydration status of industrial workers under thermal stress working extended shifts *Occupational and Environmental Medicine*; 60:90-96.
- Brito, S.S.; Cunha, A.P.; Cunningham, C.C.; Alvalá, R.C.; Marengo, J.A.; Carvalho, M.A., 2018. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *Int. J. Climatol.*, 38, 517–529
- Buitrago, M.F., Groen, T. A., Hecker, C. A., Skidmore, A. K. 2016. Changes in thermal infrared spectra of plants caused by temperature and water stress, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 111, Pages 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.11.003>.
- Cabral Júnior, J.B., Silva, C.M.S.e., de Almeida, H.A. et al., 2019. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. *TheorApplClimatol* 138, 215–225. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02816-w>
- Cai, J., 2019. humidity: Calculate Water Vapor Measures from Temperature and Dew Point. R package version 0.1.5.
- Castelhano F. J., 2017. /Laboclima - Universidade Federal doParaná (2017). ThermIndex: Calculate Thermal Indexes. R package version 0.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ThermIndex>
- Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Lange, S., Müller Schmied, H., Hersbach, H., and Buontempo, C., 2020.: WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2097–2120, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2097-2020>.
- Cunha AP et al (2015b) Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. *Agric For Meteorol* 214–215:494–505.
- Cunha A.P.M.A., Alvalá, R.C.S., Kubota, P.Y., Vieira, R.M.S.P (2015a) Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. *AtmosSciLett* 16:219–227. <https://doi.org/10.1002/asl2.543>
- Cunha, A.P.M.A., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G.G., Brown, M., Garcia, S.R., Brito, S.B., Carvalho, M.A., 2018. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmos. Sci. Lett.*, 19, 855–862.
- d'Ambrosio Alfano F.R., Palella BI, Riccio G (2007) The role of measurement accuracy on the heat stress assessment according to ISO 7933: 2004. *WIT Transactions on Biomedicine and Health* 11, 115–24.

- de Medeiros, F.J., de Oliveira, C.P. & Torres, R.R. Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016). *ClimDyn* 55, 2327–2341 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05385-1>
- 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.* 2020, 1–9.
- Domínguez-Amarillo, S.; Fernández-Agüera, J.; González, M.M.; Cuervo-Vilches, T. Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors. *Sustainability* 2020, 12, 5772.
- Evans, J.S., 2020. *_spatialEco_*. R package version 1.3-1, <URL: <https://github.com/jeffrejevans/spatialEco>>.
- Fedorova, N., Levit, V., Cavalcante, L. C. V., 2020. 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.
- Fedorova, N., Levit, V., Silveira, M.H.S., Pontes Da Silva, B.F., Amiranashvili, A.G., 2009. 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.
- Forkel, M., Carvalhais, N., Verbesselt, J., Mahecha, M. D., Neigh, C., Reichstein, M., 2013. Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology. *Remote Sensing*, 5(5), 2113-2144.
- Forkel, M., Migliavacca, M., Thonicke, K., Reichstein, M., Schaphoff, S., Weber, U., Carvalhais, N., 2015. Co-dominant water control on global inter-annual variability and trends in land surface phenology and greenness. *Global ChangeBiology*, 21(9), 3414-3435.
- García, M.M., Martín, J.R., Soriano, L.R., Dávila, F.P., 2015. Observed impact of land uses and soil types on cloud-to-ground lightning in Castilla-Leon (Spain). *Atmospheric Research*. Volume 166, 2015, Pages 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.07.009>
- Gaspari, J., Fabbri, K., Lucchi, M., 2018. The use of outdoor microclimate analysis to support decision making process: Case study of Bufalini square in Cesena. *Sustainable Cities and Society*. Volume 42, October 2018, Pages 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.015>
- Giannini, A., Chiang, J. C. H., Cane, M. A., Kushnir, Y., Seager, R., 2001. “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. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<4530:TETTTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<4530:TETTTT>2.0.CO;2)
- Hastenrath, S. and Heller, L., 1977. Dynamic of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 110, 411-425. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49711046407>

- He, B.J., Ding, L., Prasad, D. Outdoor thermal environment of an open space under sea breeze: A mobile experience in a coastal city of Sydney, Australia, *Urban Climate*, Volume 31, 2020b, 100567, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100567>.
- He, B.J., Ding, L., Prasad, D. Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence, *Sustainable Cities and Society*, Volume 60, 2020a, 102289, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>.
- Hersbach, H., 2017. ERA5: the new reanalysis of weather and climate data. ECMWF Science blog
- Hersbach, H. et al. Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5. ECMWF Newsletter 17–24 (2019).
- Hersbach, H. et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc* 1– 51, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Hijmans, R.J., 2020. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.3-13. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hirota, M., Oyama, M.D., Nobre, C., 2011. Concurrent climate impacts of tropical South America land-cover change. *Atmos. Sci. Let.* 12: 261–267.
- Huimin Liu, Bo Huang, Sihang Gao, Jiong Wang, Chen Yang, Rongrong Li, Impacts of the evolving urban development on intra-urban surface thermal environment: Evidence from 323 Chinese cities, *Science of The Total Environment*, Volume 771, 2021, 144810, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144810>.
- IBGE, 2020. <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=4&uf=00>
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods. Griffin, London. Kogan F.N., Guo, W., 2017. Strong 2015–2016 El Niño and implication to global ecosystems from space data. *Int J Remote Sens* 38(1):161–178.
- Kousky, V.E. and Gan, M.A., 1981. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*, 33, 538-551. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2153-3490.1981.tb01780.x>
- Krishnamurthy, V., Misra, V., 2010. Observed ENSO teleconnections with the South American monsoon system. *Atmos. Sci. Let.* 11: 7–12.
- Kulikova, I., Fedorova, N., Levit, V., Cordeiro, E. S., 2014. 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).

- Lamigueiro, O.P., Hijmans, R., 2020, rasterVis. R package version 0.48. Neuwirth, E., 2014. RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. R package.version 1.1-2. <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>
- Li, Xian-Xiang, 2020. 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).
- Liu, H., Huang, B., Gao, S., Wang, J., Yang, C., R. Li, R., Impacts of the evolving urban development on intra-urban surface thermal environment: Evidence from 323 Chinese cities, *Science of The Total Environment*, Volume 771, 2021, 144810, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144810>.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, n. 3, p.245-259.
- Marçal, N.A., Silva, R.M., Santos, A.G., Santos, J.S., 2019. Analysis of the environmental thermal comfort conditions in public squares in the semiarid region of northeastern Brazil. *Building and Environment*. Volume 152, Pages 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.016>
- Marengo J.A. et al., 2019. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. In: Nobre C., Marengo J., Soares W. (eds) *Climate Change Risks in Brazil*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_7
- 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>
- Martens, B., Schumacher, D. L., Wouters, H., Muñoz-Sabater, J., Verhoest, N. E. C., and Miralles, D. G., 2020: Evaluating the land-surface energy partitioning in ERA5, *Geosci. Model Dev.*, 13, 4159–4181, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-4159-2020>.
- Masterton, J.M., Richardson, F.A., 1979. HUMIDEX: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *CLI* 1-79. 1–45, Environment Canada, Downsides Ontario.
- Matallah, M.E.; Alkama, D.; Teller, J.; Ahriz, A.; Attia, S. Quantification of the Outdoor Thermal Comfort within Different Oases Urban Fabrics. *Sustainability* 2021, 13, 3051. <https://doi.org/10.3390/su13063051>
- Medeiros, F. J., Oliveira, C. P., C. M. Santos e Silva, Araújo, J. M., 2020. Numerical simulation of the circulation and tropical teleconnection mechanisms of a severe drought event (2012–2016) in Northeastern Brazil, *Climate Dynamics*, 10.1007/s00382-020-05213-6.
- Mistry, M.N., 2020. A High Spatiotemporal Resolution Global Gridded Dataset of Historical Human Discomfort Indices. *Atmosphere*, 11, 835.
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17, 1-10.

- Moura, Geber B. de A. et al . Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 13, n. 4, p. 462-469, Aug. 2009 .Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000400014&lng=en&nrm=iso>.access on 13 May 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400014>.
- NaikaMeili, Juan Angel Acero, NadavPeleg, Gabriele Manoli, Paolo Burlando, Simone Fatichi, Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city, *Building and Environment*, Volume 195, 2021, 107733, ISSN 0360-1323 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107733>
- Narisma, G. T., A. J. Pitman, 2003: The Impact of 200 Years of Land Cover Change on the Australian Near-Surface Climate. *J. Hydrometeor.*, 4, 424–436, [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)4<424:TIOYOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)4<424:TIOYOL>2.0.CO;2).
- Pereira, C.T., Masiero, É. &Bourscheidt, V. Socio-spatial inequality and its relationship to thermal (dis)comfort in two major Local Climate Zones in a tropical coastal city. *Int J Biometeorol* (2021). <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02099-9>
- Pohlert, T., 2020.trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.URL <https://www.R-project.org/>.
- Rafaela Lisboa Costa, Gustavo Macedo de Mello Baptista, Heliofábio Barros Gomes, Fabrício Daniel dos Santos Silva, Rodrigo Lins da Rocha Júnior, Mozar de Araújo Salvador, Dirceu Luís Herdies, Analysisofclimate extremes indices over northeastBrazilfrom 1961 to 2014, *WeatherandClimate Extremes*, Volume 28, 2020, 100254, ISSN 2212-0947, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23>
- Richa Sharma, Lolita Pradhan, Maya Kumari, Prodyut Bhattacharya, Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology, *Urban Climate*, Volume 35, 2021, 100751, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100751>.
- Rita Marcia da Silva Pinto Vieira, Javier Tomasella, Alexandre Augusto Barbosa, Silvia PalottiPolizel, Jean Pierre Henry BalbaudOmetto, Fabrícia Cristina Santos, Yara da Cruz Ferreira, Peter Mann de Toledo, Land degradation mapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis, *Science of The Total Environment*, Volume 782, 2021, 146900, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146900>.
- Rodrigues, L.R.L., Fedorova, N. andLevit, V., 2010. Adverse Meteorological Phenomena Associated with Low Level Baric Troughs in the Alagoas State, Brazil, in 2003. *Atmospheric Science Letters*, 11, 204-209. <http://dx.doi.org/10.1002/asl.273>

- Rodrigues, R. R., McPhaden, M. J., 2014. "Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?," *Geophys. Res. Lett.* 41(3), 1012–1018. <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>
- Salvador, M.D.A., de Brito, J.I.B., 2018. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *TheorApplClimatol* 133, 253–261. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>.
- Salvador, M.d.A., de Brito, J.I.B. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *TheorApplClimatol* 133, 253–261 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>
- SanagarDarbani, E., MonsefiParapari, D., Boland, J. et al. Impacts of urban form and urban heat island on the outdoor thermal comfort: a pilot study on Mashhad. *Int J Biometeorol* (2021). <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02091-3>.
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., Venema, J. H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants, *Scientia Horticulturae*, Volume 127, Issue 2, Pages 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.016>.
- Silva, J.S.S., Silva, R.M., Santos, C.A.G., 2018. 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. <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>
- Sisniega, D.P.S., García, M.M., Menéndez, S.F., Soriano, L.R., Dávila, F.B., 2018. Evidence for the influence of land uses and soil types on cloud-to-ground lightning activity in Asturias (Spain). *Atmospheric Research*. Volume 203, Pages 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.025>
- Sokol, N.J., Rohli, R.V., 2018. Land cover, lightning frequency, and turbulent fluxes over Southern Louisiana. *Applied Geography*. Volume 90, Pages 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.003>
- Subhashinia, S., Thirumaran, K., 2018. A passive design solution to enhance thermal comfort in an educational building in the warm humid climatic zone of Madurai. *Journal of Building Engineering*. Volume 18, July 2018, Pages 395-407. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.04.014>

- Tarek, M., Brissette, F. P., Arsenault, R., 2020: Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 2527–2544, <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>.
- Thom, E.C., Bosen, J.F., 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57–60. Vitolo, C., Di Giuseppe, F., Barnard, C. et al., 2020. ERA5-based global meteorological wildfire danger maps. *Sci Data* 7, 216. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0554-z>