

Condições microclimáticas no Parque do Ingá-PR pelos parâmetros de umidade do ar

Microclimatic conditions in Ingá Park – Maringá (Paraná, Brazil) according to air humidity parameters

Cíntia Minaki¹ 

Vincent Dubreuil² 

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim³ 

Palavras-chave:

Maringá-PR
Vapor de água precipitável
MSI/Sentinel-2A
Estação Climatológica
Simepar

Resumo

A complexidade em mensurar a água, nos diferentes estados físicos, apoia-se em instrumentos registradores pouco precisos e em um sistema climático, cuja delimitação é tênue. A exemplo da atmosfera e de sua composição variável, há vários índices para descrever um dos seus elementos, o vapor d'água. Nesta pesquisa objetivou-se estimar a umidade do ar no Parque do Ingá, em Maringá-PR, a partir de dados de umidade relativa obtidos de um registrador de temperatura e umidade inserido dentro do parque, nos intervalos temporais de abril de 2019 a janeiro de 2020 e de junho de 2020 a março de 2021. Buscou-se também verificar por sensoriamento remoto, a quantidade de vapor d'água precipitável sobre a mesma área, no intervalo temporal disponível das imagens MSI/Sentinel 2A. Concluiu-se que o Parque do Ingá possui potencial para ressaltar alguns efeitos benéficos à cidade, considerando-se sobretudo a umidade relativa e a condição de saturação mais rápida do vapor d'água naquele posto de observação. Quanto ao resultado da análise das imagens orbitais concluiu-se que o vapor d'água precipitável no parque foi de 26,298 mm no ano de 2019 e 25,950 mm em 2020, havendo redução nos seis primeiros meses no período de 2019 a 2021. A estimativa de vapor d'água por meio de imagens orbitais corroborou os dados mensurados pelo sensor fixo, e embora não se trate de medidas equivalentes, foi possível observar uma dinâmica de redução da umidade do ar.

Keywords:

Maringá-PR
Precipitable water vapor
MSI/Sentinel-2A
Climatological Station
Simepar

Abstract

The complexity of measuring water in its different physical states stems partially from inaccurate recording instruments and limited climatic parameters. As atmospheric composition is variable, researchers use several indexes to describe one of its elements, water vapor. The present research estimates air humidity in Ingá Park, in Maringá city, Paraná State, Brazil. For that, we used relative humidity data obtained from a temperature and humidity recorder inserted in the park. The data refer to the period from April 2019 to January 2020 and from June 2020 to March 2021. We also used remote sensing to verify the amount of precipitable water vapor over the same area in the available time interval of MSI/Sentinel 2A images. Ingá Park has the potential to improve beneficial effects to the city, especially considering the relative humidity and the condition of faster saturation of that observation station. According to the analysis of orbital images, precipitable water vapor in the park was 26,298 mm in 2019 and 25,950 mm in 2020, with a reduction in the first six months in the period from 2019 to 2021. Water vapor estimation through orbital images corroborated the data measured by the fixed sensor. Although these measurements are not equivalent, the study showed a decreasing dynamics of air humidity.

¹ Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil. eminaki@uem.br

² Université Rennes 2 – Rennes, França. vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

³ Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, SP, Brasil. margarete.amorim@unesp.br

INTRODUÇÃO

A água no sistema climático é um elemento difícil de ser mensurado, pois estimá-la nos diferentes estados físicos, requer mais acurácia do que a alcançada pelos instrumentos registradores. Na fase gasosa, a diversidade física e latitudinal e a peculiaridade de ambientes e de regimes hídricos, demonstram o quanto o vapor d'água é variável em escalas tempo-espaciais dentro do ciclo hidrológico global. Mesmo com essas particularidades, é fundamental identificar sua dinâmica em ambientes que requerem atenção, seja para a preservação ou conservação, no caso de unidades protegidas, ou conscientização e monitoramento no caso de áreas ocupadas sem um regime especial de uso, mas como focos de investigação científica.

No reservatório atmosférico, o vapor d'água emite boa parte da radiação infravermelha terrestre para o espaço, a partir da condensação do calor latente, formação de nuvens e produção de chuva (BARRY; CHORLEY, 2013, p. 79), desempenhando a função de regulador do tempo e do clima. O armazenamento médio de vapor d'água na atmosfera, equivale ao teor de água precipitável, e corresponde a um suprimento de chuva para a Terra por 10 dias (BARRY; CHORLEY, 2013, p. 79), caso todo o vapor presente se condense. Sutcliffe (1956) estimou 25 mm em janeiro e 20 mm em julho para o Hemisfério Sul. Contudo, o influxo horizontal de umidade para o ar possibilita que os valores registrados de chuva sejam superiores a este teor de água precipitável (BARRY; CHORLEY, 2013, p. 79). Assim, este armazenamento da atmosfera é um valor pequeno em relação ao que se registra de precipitação, para a qual deve ser totalizado os ganhos e perdas de umidade ou energia (SUTCLIFFE, 1956, p. 394).

Tuller (1968, p. 795-796) avaliou a distribuição de água precipitável no mundo entre 1964 a 1966, reafirmando a distribuição já conhecida, e ressaltando que o Hemisfério Sul exibe um padrão mais regular de influência da latitude sobre a água precipitável quando comparado ao Hemisfério Norte, em grande parte por causa de suas diferenças de distribuição de terra e água.

Devido aos impactos que a abundância ou a escassez do vapor d'água proporciona ao tempo e ao clima das áreas, há um grande interesse em medi-lo na superfície (Integrated Water - IWV – também conhecido como Vapor ou massa de vapor d'água por unidade de área) ou em uma coluna vertical sobre a atmosfera (água precipitável ou altura de uma coluna

equivalente de água líquida na superfície - PWV ou WVP, em inglês) (MAGHRABI; DAJANI, 2013, p. 2).

Uma forma comum de quantificar a umidade, desconsiderando-a da pressão do vapor d'água (parcial e de saturação), é descrever a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera (WALLACE; HOBBS, 2006, p. 80-83), a partir de índices que representam o seu teor, tais como a umidade absoluta, a umidade específica, a umidade relativa do ar e a temperatura do ponto de orvalho (WALLACE; HOBBS, 2006, p. 80-83; BARRY; CHORLEY, 2013, p. 80). Para cada índice, há formas de quantificação que se associam a um grau de imprecisão. Esta limitação constitui a principal fonte de erro em previsões de precipitação de curto prazo, como exemplo aquelas de 0 a 24 horas (BEVIS et al., 1992, p. 787).

O estudo da fonte do vapor d'água nas diferentes áreas revela o quanto a ciclagem da água é mecanismo que, se ausente devido à problemas de desmatamento, incêndios ou mesmo pela variabilidade climática leva à redução do armazenamento médio de vapor d'água na atmosfera. Reduz-se a expectativa de transporte de água entre regiões, interferindo na circulação atmosférica regional e nos transportes sazonais comumente estáveis em latitudes tropicais (SUTCLIFFE, 1956).

A presente pesquisa abordou a umidade atmosférica comumente considerada como o vapor d'água e desenvolveu-se no município paranaense de Maringá, principalmente em um recorte urbano no qual se localiza o Parque do Ingá. Considerando que o teor de umidade do ar é determinado por um ou mais elementos como os anteriormente mencionados, objetivou-se estimar a umidade do ar presente no Parque do Ingá por mais de um meio e por mais de um índice. Para tanto, buscou-se analisar dados de umidade relativa registrados por sensor de temperatura e umidade inserido dentro do parque. Para esse objetivo, utilizou-se os intervalos temporais de abril de 2019 a janeiro de 2020 e de junho de 2020 a março de 2021. Esses períodos correspondem ao total de dados disponíveis no interior do parque, e abrangem diferentes estações. Também buscou-se verificar por meio de imagens orbitais, a quantidade de vapor d'água precipitável em uma coluna de ar sobre a área do parque, no intervalo temporal disponível dessas imagens, que correspondeu ao período de dezembro de 2018 a julho de 2021. A hipótese é a de que o Parque do Ingá possui condições microclimáticas associadas à umidade do ar, favoráveis ao ambiente urbano em comparação às estações meteorológicas fixas que serão utilizadas como parâmetro. Isso porque o

parque é uma unidade de conservação, e estas estações meteorológicas localizam-se em áreas que, desde o início da ocupação urbana, passam por um processo de retirada de vegetação.

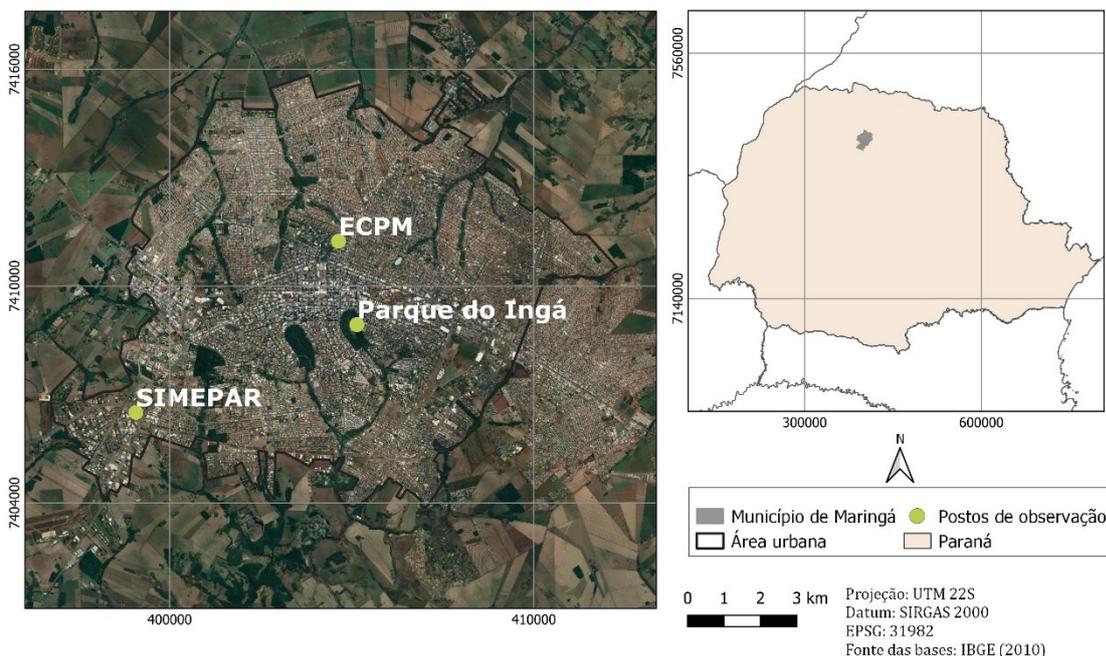
MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Maringá compõe a Mesorregião Norte Central Paranaense (IBGE, 1990, p. 105-106), sendo um município de porte populacional médio, com população estimada de 436.472 habitantes

(IBGE, 2021). O clima da área caracteriza-se pela transição entre os tipos tropical e subtropical (MINAKI, MONTANHER, 2019), condição explicada por sua localização latitudinal sobre o paralelo 23°S, que resulta em influência de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais (Figura 1). De acordo com Dubreuil et al. (2015), os tipos climáticos anuais da classificação de Köppen para Maringá foram: 44% - Aw, 16% - Am, 22% - Cwa, 13% - Cfa e 5% - Csa, no período de 1961 a 2015. A incidência dos distintos grupos climáticos “A” e “C” reforça as características de transição e de variabilidade da área.

Figura 1 - Localização do município de Maringá (PR) e postos de observação utilizados na pesquisa.



Fonte: Os autores (2021).

O município possui área de 487,012 km² e desde a sua fundação em 1951, passou por um crescimento urbano e demográfico, principalmente até a década de 1980 (RESCHILIAN; UEHARA, 2012, p. 79). Como consequência, houve aumento de infraestrutura e de edificações, e redução dos espaços vegetados em benefício das construções.

Possui duas estações meteorológicas de superfície, que serão utilizadas como referências devido às redes de observação ao qual pertencem e a extensão de suas séries de dados. A Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM) pertence à categoria de estações mais completas (VIANELLO; ALVES, 2012, p. 284), possibilitando estudos de longo prazo. Compõe a rede do Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET), que faz parte do sistema meteorológico mundial, e possui o código 83767, perante a Organização Meteorológica Mundial (OMM). A outra estação, da categoria meteorológica automática (VIANELLO; ALVES, 2012, p. 286), pertence ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), que possui aproximadamente 50 estações no estado, e também será denominada como Estação Meteorológica Automática (EMA).

A ECPM é a que detém a maior série histórica, de 1980 a 2021, considerando anos civis completos, desde que foi instalada no interior da Universidade Estadual de Maringá (UEM). A localização das estações consta na Figura 1 e as características de cada entorno encontram-se na Figura 2.

Figura 2 – Postos meteorológicos utilizados.



Fonte: Os autores (2021); Simepar (2021).

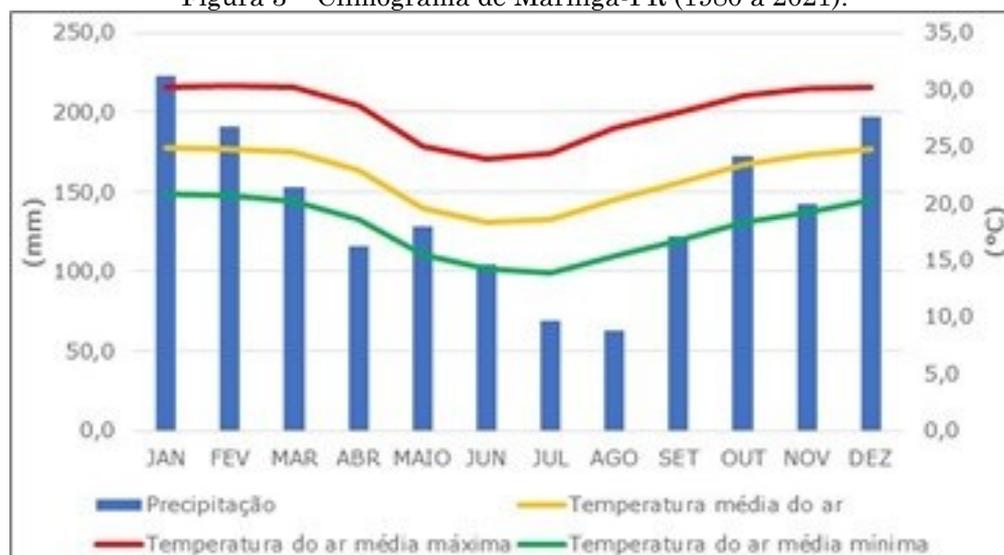
A ECPM localiza-se na porção centro-norte de Maringá, possuindo um cercado de instrumentos com vegetação rasteira e entorno caracterizado por ocupação residencial. O Parque do Ingá localiza-se na área central, e o local de instalação do registrador térmico-higrométrico possui cobertura vegetal arbórea e solo com mulch. A EMA do Simepar situa-se na porção sudoeste de Maringá, em local com vegetação rasteira e de porte médio, e imediações com ocupação industrial e proximidade de rodovias estaduais (Figura 2).

O Parque do Ingá é uma unidade de conservação atualmente enquadrada como Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)

(BRASIL, 2000; MARINGÁ, 2016). Foi criado pela Lei Ordinária nº 880/1971, possui 51 ha (MARINGÁ, 1971), e desde a sua formação passou por mudanças de infraestrutura, de oferta de serviços e de acesso da população ao local. Os dados de umidade relativa desta área advêm da instalação de um registrador termo higrométrico em seu interior, e que será descrito na seção 2.2.

Considerando a maior série histórica, dentre as estações de referência (ECPM, 1980 a 2021), tem-se que Maringá possui pluviosidade média de 1682,3 mm e temperatura média anual de 22,3 °C (Figura 3).

Figura 3 – Climograma de Maringá-PR (1980 a 2021).



Fonte dos dados: INMET (2021).

Pela Figura 3 observa-se que a primavera-verão é o período mais chuvoso, e no outono-inverno chove aproximadamente 60% do volume da primavera-verão. Como verificado em Minaki e Montanher (2020, p. 530-532), com uma série de dados de 2002 a 2019, Maringá não possui um padrão de sazonalidade pluviométrica, embora sua variabilidade interanual permite reconhecer a existência de períodos secos. As amplitudes térmicas (média anual, média mínima e média

máxima) entre a primavera e o verão são 5,7°C, 6,1°C e 5,3°C, respectivamente, destacando-se a influência da continentalidade.

O uso de três postos de observação permite ressaltar características microclimáticas esperadas a nível do parque, tendo em vista sua configuração física e paisagem distinta. A síntese da descrição dos postos de observação encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos postos de observação.

Posto	Coordenadas	Altitude (m)	Localização
ECPM	23°25' S; 51°57' W	542	Centro-Norte
Simepar	23°26' S; 51°59' W	570	Sudoeste
Parque do Ingá	23°25' S; 51°55' W	539	Área central

Fonte dos dados: Os autores (2021).

Procedimentos metodológicos

Como o objetivo consistiu em estimar a umidade do ar presente no Parque do Ingá por mais de um meio e por mais de um índice, os procedimentos metodológicos serão descritos em duas etapas.

Na primeira etapa, para avaliar a umidade relativa obtida nos períodos de 2019 a 2021, utilizou-se os dados divulgados pelo INMET e pelo Simepar, além das mensurações de um registrador de dados de temperatura e umidade instalado no interior do parque. Para instalar este registrador seguiu-se as instruções da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2008). O equipamento do tipo ThermaData Humidity – Temperature Logger, model HTD, da marca Eletronic Temperature Instruments (ETI), foi protegido em abrigo meteorológico Ambient Weather, modelo SRS 100, Pagoda

Temperature and Humidity Radiation Shield. Registrou-se dados horários das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar em dois períodos, de abril de 2019 a janeiro de 2020, denominado primeiro período e de junho de 2020 a março de 2021, denominado segundo período, totalizando a extensão de 14640 dados para cada variável.

Considerando-se os três postos e os dois períodos de dados, procedeu-se nesta primeira etapa com: i) análise da associação entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, por meio da correlação linear de Pearson; ii) comparação de dados médios; e iii) aplicação de índice de desconforto térmico (IDT). Os fundamentos sobre o coeficiente de correlação encontram-se em Morettin e Bussab (2013, p. 86-89).

Em ambos os períodos, as duas estações de referência tiveram problemas com dados

ausentes para as duas variáveis, sendo que na ECPM, a falha abrangeu os meses de abril e maio de 2020, correspondendo a 10% dos dados totais. No Simepar, as falhas abrangeram 0,8% dos dados totais, ocorridas em novembro de 2019. Não se realizou preenchimento de dados, tendo em vista a dificuldade em obter resultados satisfatórios na escala diária (MELLO et al., 2017, p. 120), embora Brubacher et al. (2020, p. 340-341) comprovaram a eficiência de metodologias, conforme se aumenta o número de postos utilizados. Não houve um procedimento testado para Maringá, considerando os eventos extremos e a variabilidade da chuva e da temperatura no município. As análises estatísticas foram feitas no programa R (R CORE TEAM, 2020).

Para contribuir com o pressuposto dos efeitos benéficos do parque ao ambiente urbano, aplicou-se o IDT proposto por Kawamura (1965 apud ONO; KAWAMURA, 1991), que possui semelhança com o de Thom (1959), e utiliza a temperatura do bulbo seco e a temperatura do ponto de orvalho (Equação 1). Ressalta-se que ao estimar o conforto (desconforto) térmico de uma área por meio de uma fórmula, tende a se sobrepor algumas variáveis climáticas excluindo outras da análise.

$$DI = 0,99T + 0,36 T_{dp} + 41,5 \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

DI = Índice de desconforto térmico

T = Valor da temperatura em °C

T_{dp} = Temperatura do ponto de orvalho em °C

Na segunda etapa da análise, buscou-se avaliar a umidade do ar no Parque do Ingá, por meio de imagens de satélite disponíveis na plataforma de análise geoespacial Google Earth Engine (GEE), cuja banda selecionada do satélite Sentinel-2, nível 2A, não possibilita a detecção da umidade relativa do ar, mas sim de uma medida de vapor d'água presente na atmosfera. O produto utilizado denomina-se WVP (Water Vapor Pressure), que será referido como banda WVP, e é o resultado de uma estimativa que leva em conta principalmente a banda 9 do sensor Multispectral Imager (MSI) e modelos de transferência radiativa.

A banda WVP trata-se da altura que a água ocuparia em uma coluna de ar, se o vapor se condensasse (ESA, 2021), não tendo aplicação tão comum nos estudos de umidade, mas com potencial de contribuição em uma análise integrada como a proposta.

Foram utilizados todos os dados disponíveis da banda WVP abrangendo desde dezembro de 2018 até julho de 2021, totalizando 182 imagens do Sentinel-2A. Houve o predomínio do intervalo temporal da passagem do satélite de 5 dias, mas isso não foi constante, e em alguns momentos, a frequência das imagens variou de 10 a 15 dias. A missão Sentinel iniciou-se em 2014, operada pela Agência Espacial Europeia (ESA), sendo que o Sentinel-2A foi lançado em 2015 (EMBRAPA, 2021).

A banda WVP possui 10 m de resolução espacial (originalmente 20 m, mas reamostrada e disponibilizada em 10 m), e foi utilizada para se extrair um valor médio para o Parque do Ingá. Para isso, o limite do parque foi vetorizado e a partir desse polígono aplicou-se um buffer interno com distância linear equivalente à resolução espacial da banda WVP. O polígono resultante do buffer foi utilizado para o cálculo das médias. Ressalta-se que o uso da banda WVP das imagens Sentinel-2A, possui como principal vantagem, a possibilidade de se extrair estimativas médias para a área do parque, e extrapolando a análise pontual. Realizou-se o processamento das 182 imagens por linhas de programação em JavaScript.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeira etapa - Análise da umidade relativa do ar nos postos de observação

De acordo com a estatística dos dados gerados pela correlação linear de Pearson, entre a temperatura e a umidade relativa do ar, a maior associação ocorreu no segundo período (Tabela 2), o que pode se justificar pelas condições sinóticas predominantes na época, embora os resultados estejam próximos. Em ambos os períodos, o Simepar obteve o maior valor de R, e no caso do primeiro, o intervalo de confiança abrangeu também o valor de R do parque. Em geral, a ECPM obteve a menor correlação, e embora os outros dois postos tenham a correlação aumentada no segundo período, a ECPM diminuiu em relação ao primeiro.

O entorno da ECPM, mesmo no interior da Universidade, passou por modificações nos últimos anos, intensificando a perda da padronização dos aspectos de instalação, da mesma forma que acontece com grande parte das estações meteorológicas no país. O aumento das edificações, a redução de superfícies permeáveis e o aumento do fluxo de pessoas e de automóveis interfere e diversifica a dinâmica dos elementos climáticos no local.

Tabela 2 – Resultados da correlação linear de Pearson entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar.

1º período (abril de 2019 a janeiro de 2020)			
Posto de referência	Valor-ρ	R	IC (95%)
Parque do Ingá	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,5669	-0,5822 a -0,5512
Simepar	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,5764	-0,5916 a -0,5608
ECPM	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,5475	-0,5626 a -0,5320
2º período (junho de 2020 a março de 2021)			
Parque do Ingá	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,6481	-0,6612 a -0,6346
Simepar	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,6780	-0,6902 a -0,6654
ECPM	<2,2.10 ⁻¹⁶	-0,5216	-0,5990 a -0,4346

Fonte: Os autores (2021).

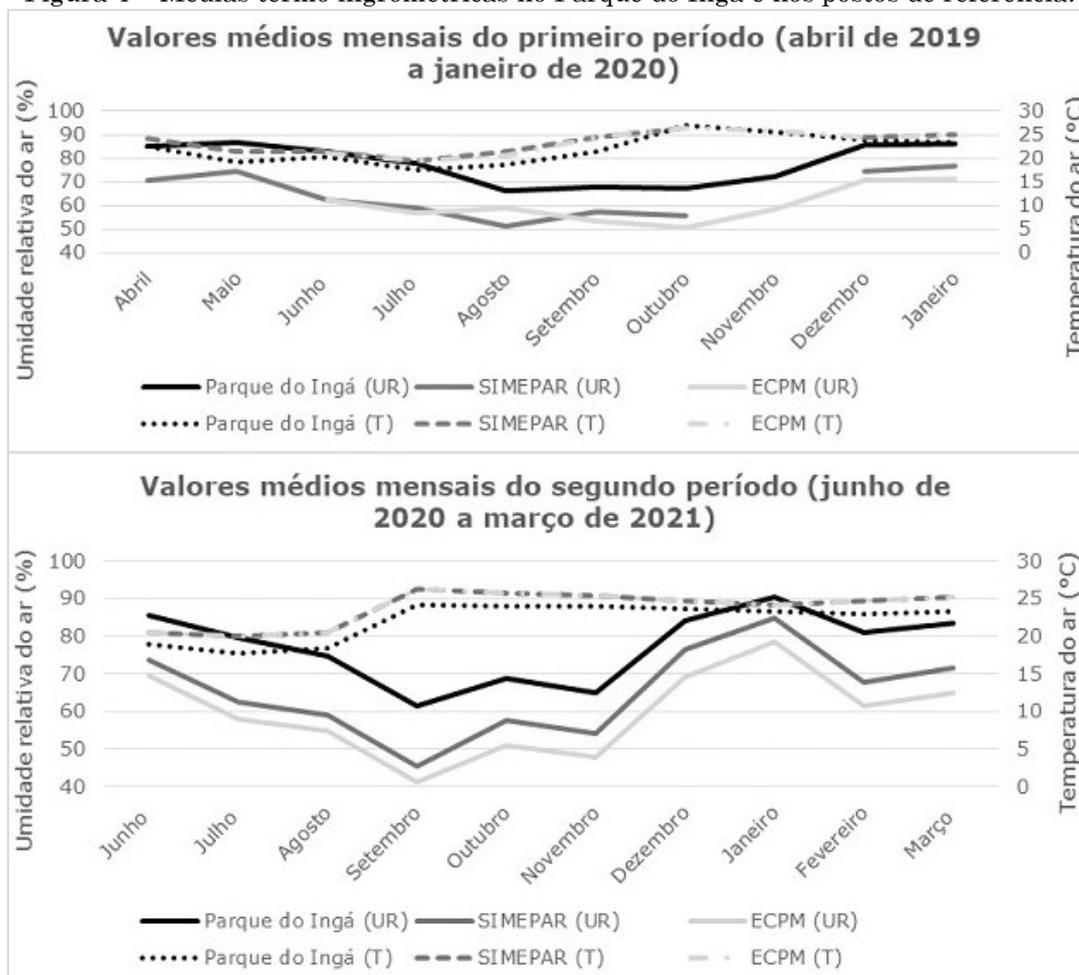
Sobre o aspecto de correlação negativa tem-se que, em condições normais de estabilidade, quanto menor a temperatura do ar, maior tende a ser a umidade relativa, e vice-versa. Em condições de instabilidade, a atmosfera fica sujeita a variações que não necessariamente seguem um padrão linear.

O baixo valor de ρ ($\rho < \alpha$) observado em todos os postos, indica a significância estatística da variável temperatura em relação à umidade relativa do ar, podendo-se concluir que as correlações são diferentes de zero. Muitos fatores podem influenciar a temperatura, tais como a radiação solar, o albedo da superfície terrestre, altitude, a mistura de ar, a perda de calor por evaporação da umidade (RANSOM,

1963, p. 23), a precipitação, dentre outras; sendo estas razões para as correlações não resultarem próximas de 1.

Com relação à análise comparativa das médias entre os postos, observa-se a configuração oposta das linhas dos dois elementos (Figura 4). O Parque do Ingá, que obteve a menor temperatura, registrou valores mais altos de umidade relativa, o contrário acontecendo com os outros dois postos. Houve uma diferença de 0,9°C entre a maior média térmica do Simepar, no primeiro período, e a menor da ECPM. No segundo período, a temperatura média se igualou entre ambos os postos e subiu para 23,7°C, e o registro da umidade relativa foi quase equivalente.

Figura 4 – Médias termo higrométricas no Parque do Ingá e nos postos de referência.



Fonte dos dados: INMET (2021) e Simepar (2021).

*Conforme informado na seção 2.2, houve dados ausentes da EMA em novembro de 2020 e da ECPM em abril e maio de 2019.

Sobre os dados do Parque do Ingá, no primeiro período, o mês de maio obteve a maior média de umidade relativa, seguido de janeiro e dezembro. De junho a agosto, meses sobretudo de inverno, as médias reduziram gradualmente, principalmente para a ECPM e o Simepar, voltando a aumentar em setembro. No segundo período, o mês com a maior média higrométrica foi janeiro, seguido de junho e dezembro, e os valores médios foram reduzidos, para todos os postos, principalmente de setembro a novembro.

Em ambos os períodos, a menor umidade relativa entre o inverno e a primavera contribuiu para a redução da precipitação. No ano de 2019, a estação convencional da ECPM registrou 1424,2 mm, enquanto no ano de 2020, o registro foi de 1296,2 mm. Mais de 79% dos meses de 2019-2020 tiveram precipitação abaixo da climatologia da área.

Com o predomínio do déficit de precipitação, vários meses registraram precipitação inferior a pelo menos um desvio padrão de sua média. De acordo com o INMET (2020), a não configuração

do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no período, foi determinante para a irregularidade espacial e temporal das chuvas na Região Sul do Brasil.

Além disso, combinações meteorológicas verificadas desde novembro de 2019, também favoreceram o período mais seco em Maringá, caracterizado por intensa circulação anticiclônica gerando muita subsidência de ar e diminuindo as chuvas na primavera-verão. Houve menor atuação dos sistemas frontológicos e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), responsável por grandes volumes de precipitação nesta época do ano. A variabilidade dos sistemas atmosféricos influenciou na quantidade de vapor d'água incidente sobre a área.

Entre o primeiro e o segundo período, o decréscimo de umidade relativa e o incremento de temperatura foi menor no Parque do Ingá. Para a umidade relativa, o decréscimo foi de 0,4% no parque, e 0,5% na ECPM, enquanto o Simepar teve um aumento de 0,6%. O incremento da temperatura foi de 0,1°C no

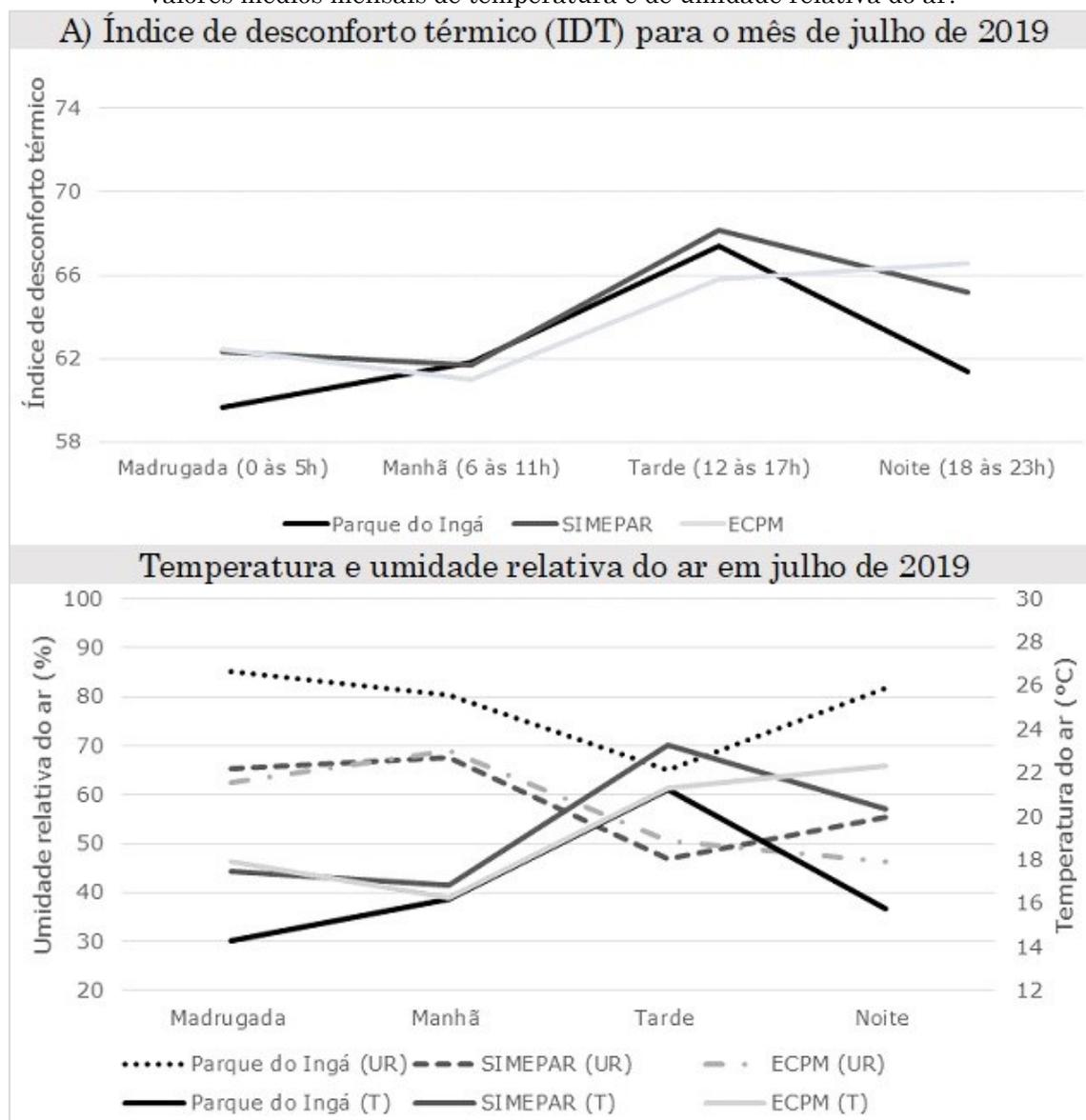
parque, 0,3°C na ECPM e 0,6°C no Simepar. Os registros térmicos e higrométricos médios do Simepar, entre um período e outro, não fomentaram a relação inversamente proporcional entre a temperatura e a umidade relativa em janeiro de 2021.

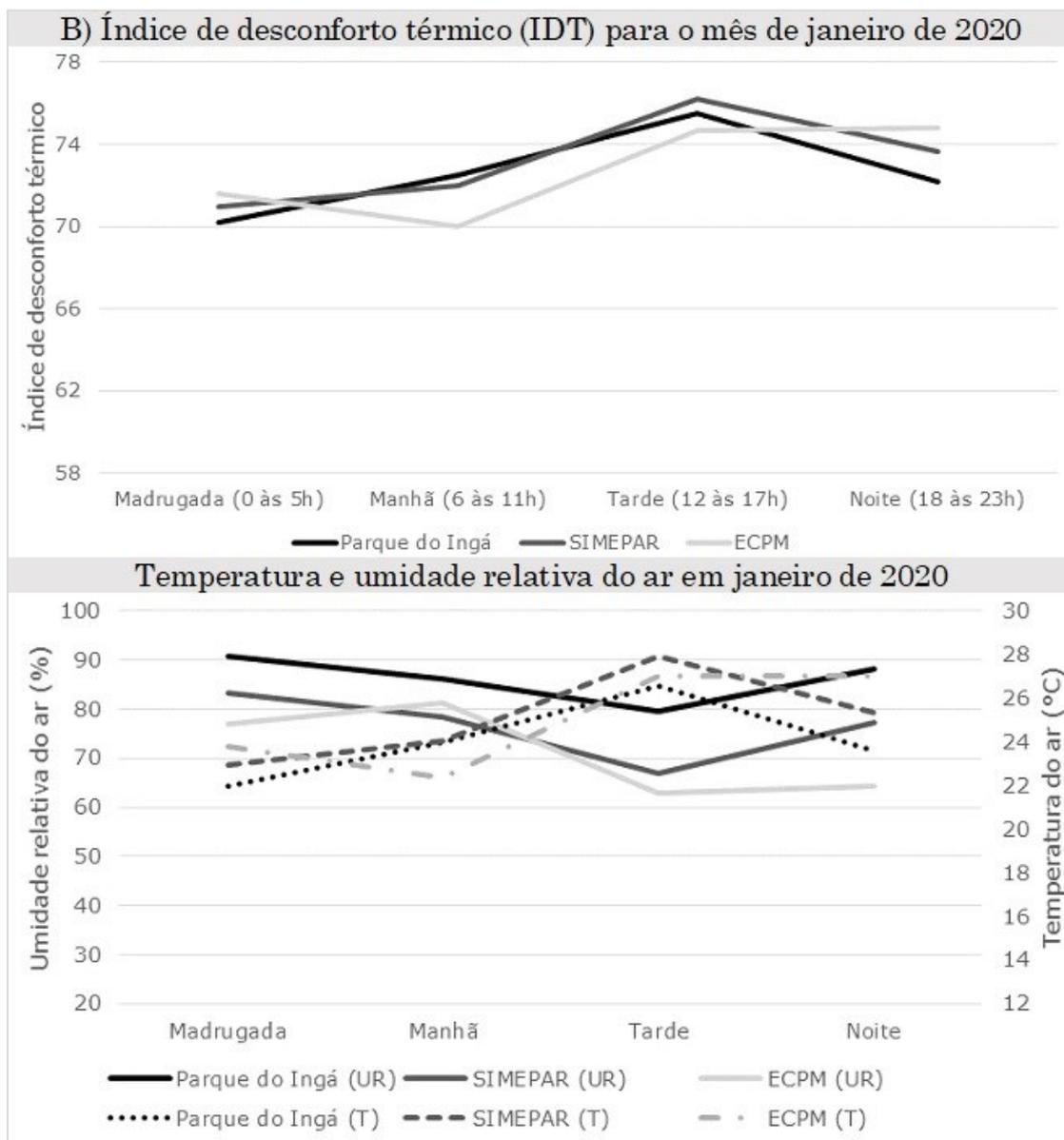
No primeiro período, com exceção de outubro, o parque registrou as menores temperaturas médias mensais, e em todos os meses obteve as maiores médias de umidade relativa.

No segundo período, sem exceção, o parque foi o local mais fresco e mais úmido. Os valores de umidade relativa do Simepar e da ECPM estiveram próximos entre si, mas sempre inferiores aos valores mensurados no parque.

O registro de maior umidade relativa nos dois períodos para o Parque do Ingá, contribuiu para o menor IDT desta área (Figura 5). A área do parque tende a mitigar os efeitos de problemas comuns à cidade (mesmo estando em seu interior), que se referem ao intenso desmatamento para impermeabilização e construção, supressão de arborização, materiais utilizados nas edificações, muitas vezes com grande absorção de radiação solar e baixa reflexão. Esta mitigação ocorre justamente pela área ter características opostas ao que é relativamente uniforme em seu entorno.

Figura 5 – Índice de desconforto térmico (IDT) para os meses de julho de 2019 e janeiro de 2020, e valores médios mensais de temperatura e de umidade relativa do ar.





Fonte: Os autores (2021).

É possível observar que em ambos os meses (Figuras 5A e 5B), o Parque do Ingá registrou o menor IDT durante a noite e a madrugada, ou seja, das 18h às 5h.

O mês de janeiro de 2020 destacou-se pelo IDT mais elevado, como o esperado por ser um mês mais quente, no entanto, o mês de julho registrou as maiores diferenças térmicas e higrométricas entre os postos. No período da manhã, em janeiro de 2020, o parque obteve o maior IDT e a ECPM o menor. O baixo IDT da ECPM se prolongou para o período da tarde.

O IDT mais elevado no parque, no período da manhã, sugere haver uma grande absorção de radiação pela vegetação, nos meses mais quentes. No entanto, a área manteve-se com a umidade relativa mais elevada, enquanto os outros postos tiveram mais variação de

temperatura, ocasionando a variação de umidade.

No mês de julho de 2019, o Parque do Ingá registrou a menor temperatura em todos os períodos. Durante a madrugada e à noite, a ECPM registrou as temperaturas mais elevadas, enquanto o Simepar registrou os valores mais extremos durante a manhã e à tarde (Figura 5A). Neste mês houve maior diferença térmica entre os postos, alcançando 6,5°C à noite.

Com relação à umidade relativa do ar, obteve-se resultados inversamente proporcionais aos da temperatura. Em julho de 2019, o parque esteve mais úmido em todos os períodos, destacando-se a noite e a madrugada, com diferenças de até 35%. Durante o dia, a diferença foi menor, e o Simepar destacou-se com os valores de menor umidade durante o dia,

enquanto a ECPM registrou os menores valores durante a noite e a madrugada.

Em janeiro de 2020, o parque esteve mais úmido em todos os períodos, e a ECPM foi a estação menos úmida não só durante a madrugada e a noite, mas também durante a tarde.

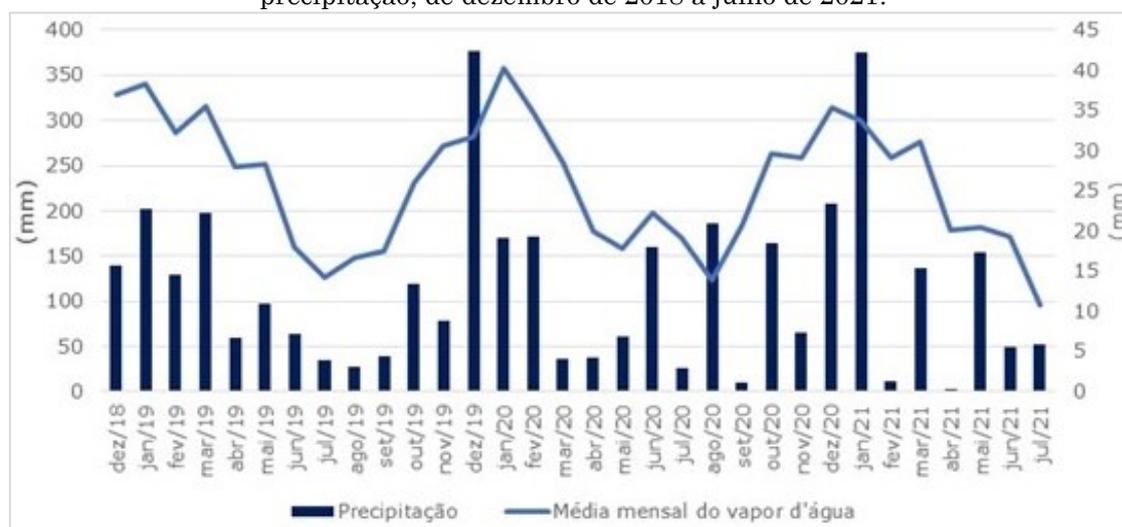
Em geral, as maiores diferenças térmicas e higrométricas ocorreram no período da noite, e os maiores IDT no período da tarde. Em relação às estações utilizadas como parâmetro, elas não possuem as mesmas características vegetativas e o controle térmico-higrométrico existente na

área protegida, estando mais sujeitas às modificações que ocorrem no seu entorno, devido ao crescimento da cidade.

Segunda etapa - Estimativa do vapor d'água na coluna de ar sobre a área do parque

A partir das informações obtidas pelo processamento das imagens Sentinel-2A obteve-se a estimativa do vapor d'água na coluna de ar sobre a área do parque, em períodos diferentes (Figura 6).

Figura 6 – Média de vapor d'água na coluna de ar sobre a área do Parque do Ingá e valores de precipitação, de dezembro de 2018 a julho de 2021.



Fonte dos dados: Vapor d'água: GEE/Sentinel 2A; precipitação: INMET (2021).

A maior quantidade de vapor d'água precipitável incidu sobre janeiro (2019 e 2020), dezembro (2018 e 2020), março (2019) e fevereiro (2019 e 2020), que correspondem a meses mais chuvosos da série histórica. É possível observar que os dados da quantidade de vapor d'água precipitável e da precipitação corroboram sem se equivalerem (Figura 6). Há uma dinâmica parecida entre ambos, com a ressalva de que o total do vapor d'água estimado não pode ser interpretado somente pelos valores de precipitação. Como exemplo, os meses de julho e agosto destacam-se com os menores valores de vapor d'água precipitável, enquanto os menores valores de precipitação estenderam-se além de julho e agosto, para os meses de abril, setembro e fevereiro.

Nos últimos meses representados (Figura 6), observa-se o decréscimo principalmente do vapor d'água. A evapotranspiração não considerada neste trabalho, é mais uma variável que exerce controle climático sobre a umidade (BARRY; CHORLEY, 2013, p. 80) e pode explicar este decréscimo. A variação do aporte

advectivo, que está associado aos movimentos atmosféricos é outro modulador do vapor d'água (KASTENDEUCH et al., 2019).

O ano de 2019 teve uma média de 26,398 mm de vapor d'água precipitável, enquanto o ano de 2020 a média foi de 25,950 mm. Como o ano de 2021 não foi considerado integralmente, para poder comparar com as mensurações anteriores, calculou-se a média deste índice de janeiro a junho para 2019, 2020 e 2021. Os resultados equivaleram, respectivamente a 30,029 mm, 27,255 mm e 25,601 mm, apresentando uma redução no curto período da série.

Em geral, os impactos que a redução contínua da umidade atmosférica pode causar aos ambientes interferem no transporte horizontal e vertical da umidade e conseqüentemente, nas características microclimáticas. No caso do Parque do Ingá, diminui os benefícios proporcionados pela área homogeneizando-a em relação ao seu entorno.

Domingos (2008, p. 20) menciona o aumento da densidade de edificações em áreas urbanas e a industrialização como condições que possuem

um efeito de degradação de microclimas urbanos. O Parque do Ingá se enquadra na primeira condição, cujo efeito remete à descaracterização de seu microclima.

Para além da temperatura do ar, fator que influencia a umidade relativa, como o observado pelos resultados obtidos na correlação apresentada para os três postos, interpretar o vapor d'água precipitável sobre o Parque do Ingá é uma designação mais complexa. Foi mencionado que os teores de evapotranspiração e o influxo horizontal de umidade afetam o vapor d'água no sistema atmosférico. Os principais agentes de cada processo, sendo a radiação solar e a vegetação para a evapotranspiração, e os sistemas meteorológicos para o influxo horizontal, pormenorizam os diferentes ambientes da cidade, tornando-a uma superfície não homogênea sob o aspecto do vapor d'água.

As características de superfície do Parque do Ingá, tais como presença de lago, presença de áreas permeáveis e cobertura vegetal arbórea contribuem para a menor remoção de vapor d'água no ciclo diurno, o que pode ser maximizado em locais em que estas características não predominem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As particularidades do Parque do Ingá, como sendo uma área verde encravada no perímetro urbano, resultou em valores elevados de umidade relativa, comprovando a hipótese. Embora a correlação entre a temperatura e a umidade relativa não tenha sido alta, e expresse que modificações em outros elementos climáticos podem interferir nesta associação, ela é significativa. O menor IDT do parque deu-se com o resfriamento noturno, durante a noite e a madrugada, nos meses representativos do verão e do inverno. À tarde, todos os postos tiveram aumento do IDT, independente do mês, demonstrando que são afetados pela turbulência urbana.

Por sua vez, a estimativa de vapor d'água precipitável por meio de imagens orbitais corroborou os dados de umidade relativa mensurados pelo sensor fixo instalado no parque, e embora não se trate de medidas equivalentes, foi possível observar uma dinâmica de redução de ambos os índices.

FINANCIAMENTO

Os autores desta pesquisa agradecem o apoio financeiro da CAPES (Projeto CAPES/COFECUB - Cidades, clima e vegetação: modelagem e políticas públicas ambientais – CAPES (AUXPE: 88881.191765/2018-01).

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem o apoio financeiro do Programa CAPES/COFECUB (Projeto: Cidades, clima e vegetação: modelagem e políticas públicas ambientais – Processo: 88881.191765/2018-01), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar) pelo fornecimento de dados meteorológicos e/ou climáticos.

REFERÊNCIAS

- BARRY; R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Tradução: Ronaldo Cataldo Costa. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BEVIS, M.; BUSINGER, S.; HERRING, T. A.; ROCKEN, C.; ANTHES, R. A.; WARE, R. H. GPS Meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D14, p. 787-801, 1992. <https://doi.org/10.1029/92JD01517>
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso: Julho 12, 2021.
- BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. de; GUASSELLI, L. A. Preenchimento de falhas em séries temporais de precipitação diária no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 335-344, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-7786352035>
- DOMINGOS, S.I.S. **Microclimatologia do município de Sintra com base em estações meteorológicas**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geofísicas – Especialização Meteorologia). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/1294>. Acesso: Agosto 22, 2021.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma classificação de

- Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, n. 37, 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Missão Sentinel**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso: Julho 4, 2021.
- ESA. **Sentinel-2 Products Specification Document**. 2021. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/sentinel-2-products-specification-document>. Acesso: Março 15, 2022.
- IBGE. Divisão do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 135 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf. Acesso: Agosto 8, 2017.
- IBGE. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/maringa/p-anorama>. Acesso: Março 15, 2021.
- IBGE. Downloads. 2010. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/. Acesso: Dezembro 19, 2021.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Prognóstico climático de outono**. 2020. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2020/prognostico_outono_2020.pdf. Acesso: Abril 22, 2020.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos do INMET (BDMEP)**. 2021. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: Dezembro 19, 2021.
- KASTENDEUCH, P. P.; NAJJAR, G.; PHILIPS, N. Îlot de sécheresse et d'humidité à Strasbourg. **Climatology**, v. 16, p. 72-90, 2019. <https://doi.org/10.4267/climatology.1392>
- MAGHRABI, A.; DAJANI, Al H. M. Estimation of precipitable water vapour using vapour pressure and air temperature in an arid region in central Saudi Arabia. **Journal of the Association of Arab Universities for basic and applied sciences**, 14:1, 1-8, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2012.11.001>
- MARINGÁ. **Lei Ordinária nº 880, de 15 de outubro de 1971**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/m/maringa/lei-ordinaria/1971/88/880/lei-ordinaria-n-880-1971-denomina-parque-do-inga-o-bosque-dr-etelvino-bueno-de-oliveira>. Acesso: Março 15, 2022.
- MARINGÁ. **Lei Ordinária nº 10.353, de 12 de janeiro de 2016**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/m/maringa/lei-ordinaria/2016/1035/10353/lei-ordinaria-n-10353-2016-dispoe-sobre-a-oficializacao-do-parque-do-inga-prefeito-adriano-jose-valente-como-unidade-de-conservacao-na-categoria-area-de-relevante-interesse-ecologico>. Acesso: Agosto 20, 2021.
- MELLO, Y. R. de; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. de. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>
- MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 69, p. 266-281, mar. 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG206941220>
- MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Variáveis climáticas e os registros de incêndios em Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, ano 16, p. 518-538, jul/dez 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.74403>
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- ONO, H. S. P.; KAWAMURA, T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 1, p. 39-47, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF01040962>
- RANSOM, W. H. Solar radiation and temperature. **Weather** 8, p. 18-23, 1963. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1963.tb05137.x>
- R Core Team (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso: Janeiro 10, 2020.
- RESCHILIAN, P. R.; UEHARA, A. Y. Desafios à questão metropolitana: o processo de organização do espaço urbano e regional de Maringá. **Oculum Ensaios**, 15, Campinas, p. 76-87, jan-jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/oculum/article/view/886/864>. Acesso: Março 10, 2022.
- SIMEPAR – Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. Solicitação de dados [mensagem pessoal]. 2021. Mensagem recebida por cminaki@uem.br em: Outubro 10, 2021.
- SUTCLIFFE, R. C. Water balance and the general circulation of the atmosphere. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**. 82, p. 385-395, 1956. <https://doi.org/10.1002/qj.49708235402>

- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 1, p. 57-70, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- TULLER, S. E. World distribution of mean Monthly and annual precipitable water. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 11, p. 785-797, nov. 1968. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1968\)096<0785:WDOMMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1968)096<0785:WDOMMA>2.0.CO;2)
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicada**. 2. ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2012.
- WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: an introductory survey**. 2. ed. University of Washington: British Library, 2006. Disponível em: https://www.academia.edu/37366881/Atmospheric_science_wallace_and_hobbs_PDF. Acesso: Julho 26, 2021.
- WMO - World Meteorological Organization. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Switzerland: WMO, 2008, n. 8. Disponível em: <https://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-474-WMO-Guide.pdf>. Acesso: Julho 26, 2021.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Cíntia Minaki realizou a pesquisa bibliográfica, a análise dos dados e escreveu. Vincent Dubreuil colaborou com a análise dos dados e revisão do texto. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim administrou o projeto, supervisionou e revisou o texto.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.