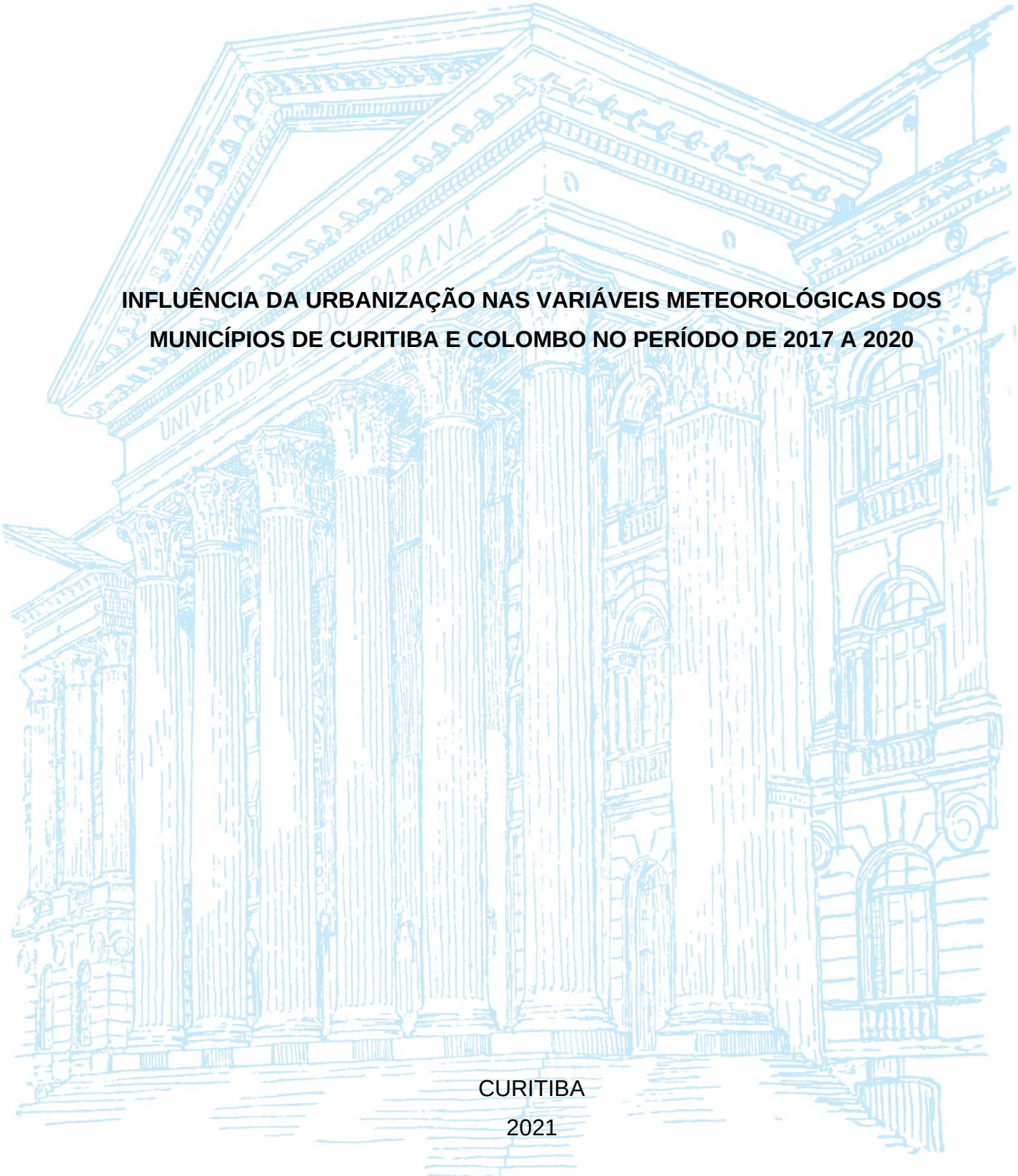
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELI DICKEL



INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NO PERÍODO DE 2017 A 2020

CURITIBA

2021

GABRIELI DICKEL

INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NO PERÍODO DE 2017 A 2020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre França Tetto

CURITIBA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser meu refúgio e fortaleza. Por estar sempre presente e ouvir todas as minhas orações todas as noites antes de dormir, tanto nos momentos de felicidades como nos de tristeza e angústia.

Aos meus pais Renato e Jaqueline, e minha irmã Renata, por todo amor e paciência. Por sempre lutarem junto comigo até este final tão esperado e acima de tudo por acreditarem que o estudo é imprescindível.

Ao meu noivo Matheus, por todo amor, carinho, amizade, companheirismo, paciência e perseverança. Por estar sempre ao meu lado, me ouvir, me apoiar, aconselhar, orientar e acreditar que o conhecimento é o nosso bem mais valioso. Por ser o melhor ombro amigo e batalhar junto comigo desde sempre e para sempre.

Aos meus familiares, por todo apoio.

Aos meus colegas de faculdade, pelo companheirismo, pelas parcerias, pelos apoios, pelas trocas de experiências, pelos momentos bons e momentos de aperto. Com certeza levo boas amizades para a vida toda.

Ao professor Alexandre, por esta última parceria, pela paciência, pelos conselhos e orientações.

Ao Pedro, por me ajudar gentilmente com a parte de SIG. Certamente, foi muito importante para o meu trabalho.

A todos, o meu muito obrigada!

RESUMO

A cidade muda o seu clima conforme as mudanças em sua superfície, ou seja, com a retirada da vegetação e o crescimento urbano sem planejamento, o que eleva a temperatura, modifica a passagem do vento, diminui a umidade relativa e a infiltração da água pluvial, conforme o avanço da superfícies impermeáveis e construções de edificações. O objetivo deste estudo foi comparar o histórico de dados meteorológicos no período de 2017 a 2020 obtidos pelas estações meteorológicas de Curitiba e Colombo, a fim de avaliar o quanto a urbanização influencia no microclima destes municípios, visto que, as duas estações encontram-se sobrepostas e em tese representam o mesmo ambiente. As variáveis meteorológicas analisadas diariamente foram: pressão atmosféricas às 13 horas (mmHg), temperaturas média, máxima e mínima (ºC), umidade relativa do ar média e às 13 horas (%), razão de mistura às 13 horas (g de vapor d'água/kg de ar seco) e precipitação mensal (mm). Foi realizado o cálculo das variáveis e a plotagem em gráficos dos resultados de Curitiba e Colombo e, logo após, uma sobreposição dos dados, análise estatística e de regressão linear, e por último uma avaliação do comportamento destas variáveis. Os resultados mostraram que Colombo e Curitiba obtiveram valores médios de temperatura média igual a 17,5 e 18,4 ºC, respectivamente, e a taxa de tendência indicou que em Colombo (-0,11 ºC/ano) esta variável diminuiu com mais intensidade em relação a Curitiba (-0,07 ºC/ano). Na temperatura máxima, Colombo e Curitiba obtiveram a mesma tendência de aumento (0,11 ºC/ano), diferenciando-se apenas pelas médias de 23,6 e 24,3 ºC, respectivamente. A temperatura mínima indicou que Colombo e Curitiba esfriaram ao mesmo tempo (-0,33 ºC/ano), e diferenciaram-se apenas pelas médias de 13,2 e 14,3 ºC, respectivamente. Na umidade do ar relativa média, Curitiba obteve valor médio de 68% e Colombo de 84,7%, e a taxa de tendência mostrou que em Colombo (-0,84 pp/ano) a variável diminuiu mais rapidamente quando comparada a Curitiba (-0,40 pp/ano). Em relação à umidade relativa às 13 horas, Curitiba (-1,28 pp/ano) perdeu umidade mais rapidamente em relação a Colombo (-1,20 pp/ano), além disso, suas médias foram de 52,5 e 66,3%, respectivamente. A taxa de tendência da razão de mistura às 13 horas indicou redução com a mesma intensidade nos dois municípios (-0,22 g de vapor d'agua/kg de ar seco), se diferenciando apenas em suas médias, onde Curitiba obteve 10,07 g de vapor d'agua/kg de ar seco e Colombo 11,81 g de vapor d'agua/kg de ar seco. Em relação à precipitação Curitiba assumiu uma média de volume acumulado igual a 115,8 mm/mês e Colombo de 120,1 mm/mês, e a taxa de tendência indicou que o índice de precipitação diminuiu com maior intensidade em Colombo (-0,41 mm/mês/ano) em relação a Curitiba (-0,22 mm/mês/ano). De modo geral, foi verificada uma tendência de aumento da amplitude das variáveis meteorológicas, no entanto, urbanização afetou de maneira mais significativa os valores médios, com Curitiba sendo mais quente e mais seca em relação ao município vizinho.

Palavras-chave: Climatológicas. Ilhas de calor. Estações Meteorológicas. Análise de tendência. Amplitude.

ABSTRACT

The city's climate changes according to modifications in its surface, caused by vegetation removal and the unplanned urban growth, resulting in a higher temperature, affecting the wind flow, reducing the relative humidity and the water infiltration in the soil as the number of impermeable surfaces and constructions increases. Therefore, the goal of this paper was to compare the historical data acquired by the weather stations in the cities of Curitiba and Colombo between 2017 and 2020, in order to analyze the urbanization effects, since both station represents the same microclimate. The meteorological variables analyzed were: atmospheric pressure at 1 PM (mmHg), average, maximum and minimum temperatures (ºC), average relative humidity of the air and at 1 PM (%), mixing ratio at 1 PM (g of water vapor/ Kg of dry air) and monthly precipitation (mm). The variables were calculated and plotted overlapping both cities' data, then, a statistical analysis, linear regression and behavior analysis were performed. The results showed that Colombo and Curitiba had mean values for temperature of 17,5 and 18,4 ºC, respectively, while the trend indicated that in Colombo (-0,11 ºC/year) that variable decreased faster than Curitiba (-0,07 ºC/year). For the maximum daily temperature, Colombo and Curitiba had the same increasing trend (0,11 ºC/year), distinguished by the mean values, of 23,6 and 24,3 ºC, respectively. The minimum temperature indicated that both cities are cooling with the same rate (-0,33 ºC/year), distinguished, again, by the mean values, of 13,2 and 14,3 ºC, respectively. For the average relative humidity of the air, Curitiba had a mean value of 68 % while Colombo had 84,7 %, the trend showed that in Colombo (-0,84 pp/year) that variable decreases faster than Curitiba (-0,40 pp/year). With respect to the relative air humidity at 1 PM, Curitiba (-1,28 pp/year) lost humidity faster than Colombo (-1,20 pp/year), the mean values were 52,5 and 66,3 5 respectively. The trend rate for the mixing ratio at 1 PM indicated a reduction with the same value for both cities (-0,22 g of water vapor/Kg of dry air/year), the difference was only seen in the mean values, Curitiba with 10,07 g of water vapor/Kg of dry air and Colombo with 11,81 g of water vapor/ Kg of dry air. With respect to the precipitation, Curitiba had a mean value of 115,8 mm/month, while Colombo had 120,1 mm/month, the changing rate indicated a faster decrease in Colombo (-0,41 mm/month/year) than Curitiba (-0,22 mm/month/year). Overall, the analysis showed an increasing variable amplitude tendency of the meteorological variables, however, the urbanization affected more drastically the mean values, showing that Curitiba is hotter and dryer than Colombo.

Keywords: Climate. Heat island. Weather station. Trend analysis. Amplitude.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA.....12
FIGURA 2 – ÁREA URBANIZADA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO 15
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO.....17

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA E COLOMBO 20
GRÁFICO 2 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....22
GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA EM CURITIBA E COLOMBO 23
GRÁFICO 4 - TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....25
GRÁFICO 5 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÍNIMA EM CURITIBA E COLOMBO 26
GRÁFICO 6 - TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....28
GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA EM CURITIBA E COLOMBO.....29
GRÁFICO 8 - UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA DIÁRIA DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....31
GRÁFICO 9 – VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR ÀS 13 HORAS EM CURITIBA E COLOMBO.....32
GRÁFICO 10 - UMIDADE RELATIVA DO AR ÀS 13 HORAS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....34
GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DA RAZÃO DE MISTURA ÀS 13 HORAS EM CURITIBA E COLOMBO.....35
GRÁFICO 12 - RAZÃO DE MISTURA DIÁRIA ÀS 13 HORAS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020.....37

GRÁFICO 13 - PRECIPITAÇÕES MENSAIS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020 42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VOLUME DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADO MENSALMENTE EM COLOMBO E CURITIBA NO PERÍODO DE 2017 A 2020 38
TABELA 2 – ACÚMULO DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DE CURITIBA E COLOMBO DE 2017 A 2020 40
TABELA 3 – RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA TODAS AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS ANALISADAS 43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
2 OBJETIVOS 10
2.1 OBJETIVO GERAL 10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
3 REVISÃO DE LITERATURA 11
3.1 URBANIZAÇÃO 11
3.1.1 Microclima urbano 11
3.2 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA 11
3.2.1 Variáveis meteorológicas armazenadas pelas estações automáticas 12
4 MATERIAL E MÉTODOS 14
4.1 ÁREAS DE ESTUDO 14
4.1.1 Áreas urbanizadas de Curitiba e Colombo 14
4.2 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS 16
4.3 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS 17
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 20
5.1 TEMPERATURA MÉDIA 20
5.2 TEMPERATURA MÁXIMA 23
5.3 TEMPERATURA MÍNIMA 26
5.4 UMIDADE RELATIVA DO AR 29
5.4.1 Umidade Relativa do Ar Média 29
5.4.2 Umidade Relativa do Ar às 13 horas 32
5.5 RAZÃO DE MISTURA 35
5.6 PRECIPITAÇÃO 38
5.7 RESULTADOS COMPILADOS 43
5.8 DISCUSSÕES 43
6 CONCLUSÃO 45
REFERÊNCIAS 46

1 INTRODUÇÃO

O aumento gradativo de habitantes em área urbana, juntamente com o ligeiro crescimento das cidades e certa carência de planejamento, modifica o referido espaço e implica em vários problemas socioambientais (MARTINI, 2011).

Os processos de urbanização e industrialização, apesar de bons indicadores de alcance de desenvolvimento, também estão sendo considerados um problema como, por exemplo, a degradação do ambiente urbano e de sua qualidade de vida. As mudanças microclimáticas, decorrentes da ocupação desequilibrada do solo, levam desconforto aos habitantes da cidade e também refletem no balanço energético urbano (BARBOSA; BARBIRATO; VECCHIA, 2003).

A cidade muda seu clima a partir das modificações em sua superfície, elevando a temperatura, modificando a passagem do vento, diminuindo a umidade relativa e a infiltração de água pluvial, conforme ocorre o aumento da superfície impermeável, ou seja, implantação de pavimentação e edificações (DUARTE, 2000). Ainda segundo a autora, a ocorrência destes fatores se dá pela substituição dos elementos naturais pelos materiais, levando a alterações nos processos de absorção, transmissão e reflexão, assim como, na atmosfera local.

A cidade é formada por um mosaico de microclimas distintos. Os mesmos fenômenos que retratam o mesoclima urbano ocorrem em pequenos espaços na cidade e são caracterizados como ilhas de calor. Em situações onde cidades não possuem condições naturais favoráveis, criar um microclima mais ameno é fundamental para proporcionar o uso de áreas externas (DUARTE; SERRA, 2003).

De acordo com Abreu (2008), uma das causas das modificações do clima em áreas urbanas é a falta de vegetação. Conforme a cidade cresce sem planejamento, grande parcela da vegetação é retirada para implantação de edificações e de vias, por conta de parcelamentos de terra, aumentando assim a abrangência de pavimentação da área urbana.

Neste contexto, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da urbanização no microclima de Curitiba e Colombo, uma vez que, as suas estações meteorológicas encontram-se sobrepostas uma à outra, devido aos seus raios de abrangência (100 km) e, portanto, representam um mesmo ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o histórico de dados das variáveis obtidas pelas estações meteorológicas de Curitiba e Colombo, no intervalo contínuo de 2017 a 2020, para verificar o grau de influência da urbanização sobre os municípios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Analisar e avaliar estatisticamente o comportamento das variáveis meteorológicas de ambas as estações automáticas;
- Comparar os resultados obtidos para Curitiba e Colombo; e
- Avaliar a linha de tendência dos dados sobrepostos para cada variável analisada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 URBANIZAÇÃO

3.1.1 Microclima urbano

O clima urbano resulta da interação entre processos naturais e atividades antrópicas. A urbanização altera o ambiente natural e a qualidade de vida na cidade por conta do corte de vegetação, impermeabilização do solo, concentração populacional e de edificações, emissão de poluentes, entre outros, influenciando as condições climáticas locais e gerando um clima próprio. Deste modo, o espaço construído, aliado às atividades antrópicas, possibilita uma mudança do campo térmico natural que tende a formar “ilhas de calor” e/ou “ilhas de frescor” (SCHMITZ; MENDONÇA, 2011).

As ilhas de calor ocorrem por conta da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais das cidades ou de sua região metropolitana, causadas principalmente pela influência humana nestas regiões, diferentemente do que ocorre nas zonas periféricas ou nas zonas rurais. Este fenômeno acontece pelo fato de ocorrerem diferenças de irradiação de calor entre as regiões edificadas, regiões com solo exposto e regiões com vegetação, e também devido à concentração de poluentes maior nas zonas centrais urbanas (TEZA; BAPTISTA, 2005).

As ilhas de frescor são espaços cobertos de vegetação, como ruas arborizadas, praças, parques, bosques, jardins públicos, dentre outros, que proporcionam um resfriamento localizado na área intraurbana (LEAL, 2012). Estas áreas, por apresentarem temperaturas menores, são importantes para a região urbana, pois atuam no conforto térmico do ser humano urbano, principalmente nas áreas ao seu redor (CASTRO, 2009).

3.2 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

A estação meteorológica automática registra as variáveis meteorológicas, armazena e encaminha a uma central a partir de sinais de rádio. Estas estações operam com sensores que medem os parâmetros meteorológicos a cada minuto e,

logo depois, tais medições são integralizadas para serem transmitidas (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

De acordo com os mesmos autores, o armazenamento dos dados é realizado por um processador central de baixo consumo de energia (*datalogger*), que os mantém em um período especificado. A energia para o funcionamento provém de baterias que são alimentadas por energia solar.

Os parâmetros meteorológicos medidos pela estação automática são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho e pressão atmosférica instantânea, máxima e mínima; vento (instantânea, de rajada e sentido); radiação solar e precipitação acumulada (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

Na FIGURA 1, é possível observar um exemplo estrutural de uma estação meteorológica automática.

FIGURA 1 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

FONTE: LabInstru (2021)

3.2.1 Variáveis meteorológicas armazenadas pelas estações automáticas

Para realizar a análise deste trabalho foram utilizadas as variáveis meteorológicas pressão atmosférica, temperatura do ar, precipitação, umidade relativa do ar e a razão de mistura que foi calculada posteriormente.

A pressão atmosférica é a pressão do peso da coluna de ar sobre uma determinada superfície, ou seja, é o peso que a atmosfera exerce por unidade de área (REBOITA; AMBRIZZI; SILVA, 2017).

A temperatura do ar é a medida do calor sensível que se encontra armazenada nele mesmo. É possível trabalhar com valores de temperatura do ar médios, mínimos, máximos, dentre outros. As temperaturas médias referem-se à médias estatísticas de um determinado período de tempo. As temperaturas máximas e mínimas correspondem, respectivamente, ao maior e menor valor registrado num dado período considerado (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A precipitação é o principal modo de retorno da água suspensa na atmosfera para a Terra, seguida dos processos de evaporação e condensação, concluindo desta forma, o ciclo hidrológico (FIORIN; ROSS, 2015).

A umidade relativa do ar retrata uma relação de proporção relativa entre o vapor contido no ar e o seu ponto de saturação. Pode-se dizer, que esta variável aponta em termos percentuais o quanto há de vapor no ar em relação à quantidade máxima real que poderia ocorrer, a uma dada temperatura (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A razão de mistura é outra forma de expressar a umidade atmosférica, sendo a razão entre a massa de vapor d’água e a massa de ar seco que esse vapor contém. Pelo fato de não sofrer influência da temperatura ou da umidade relativa, se apresenta como a maneira mais precisa de expressar a umidade do ar (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREAS DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado a partir dos dados coletados das estações meteorológicas de Curitiba - capital do estado do Paraná -, e do município de Colombo na sua região metropolitana.

A cidade de Curitiba encontra-se a uma altitude média de 935 metros (IPPUC, 2020), está localizada a 25º 25’ S de latitude e 49º 17’ O de longitude (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2020). O município de Colombo encontra-se a 950 metros acima do oceano, está localizado a 25º 17’ 35” S de latitude e 49º 17” 24” O de longitude (IBGE, 2020).

A classificação climática dos municípios de Curitiba e Colombo segundo Köppen é do tipo Cfb (NITSCHE *et al.*, 2019), ou seja, clima temperado chuvoso, sem estação seca e verão morno (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015). A temperatura média anual em ambos os municípios, pode variar de 17,1 a 18 ºC, a temperatura mínima de 12,1 a 13 ºC e a temperatura máxima de 23,1 a 24 ºC. A precipitação anual pode variar de 1400 a 1600 mm e a umidade relativa de 80,1 a 85% (NITSCHE *et al.*, 2019).

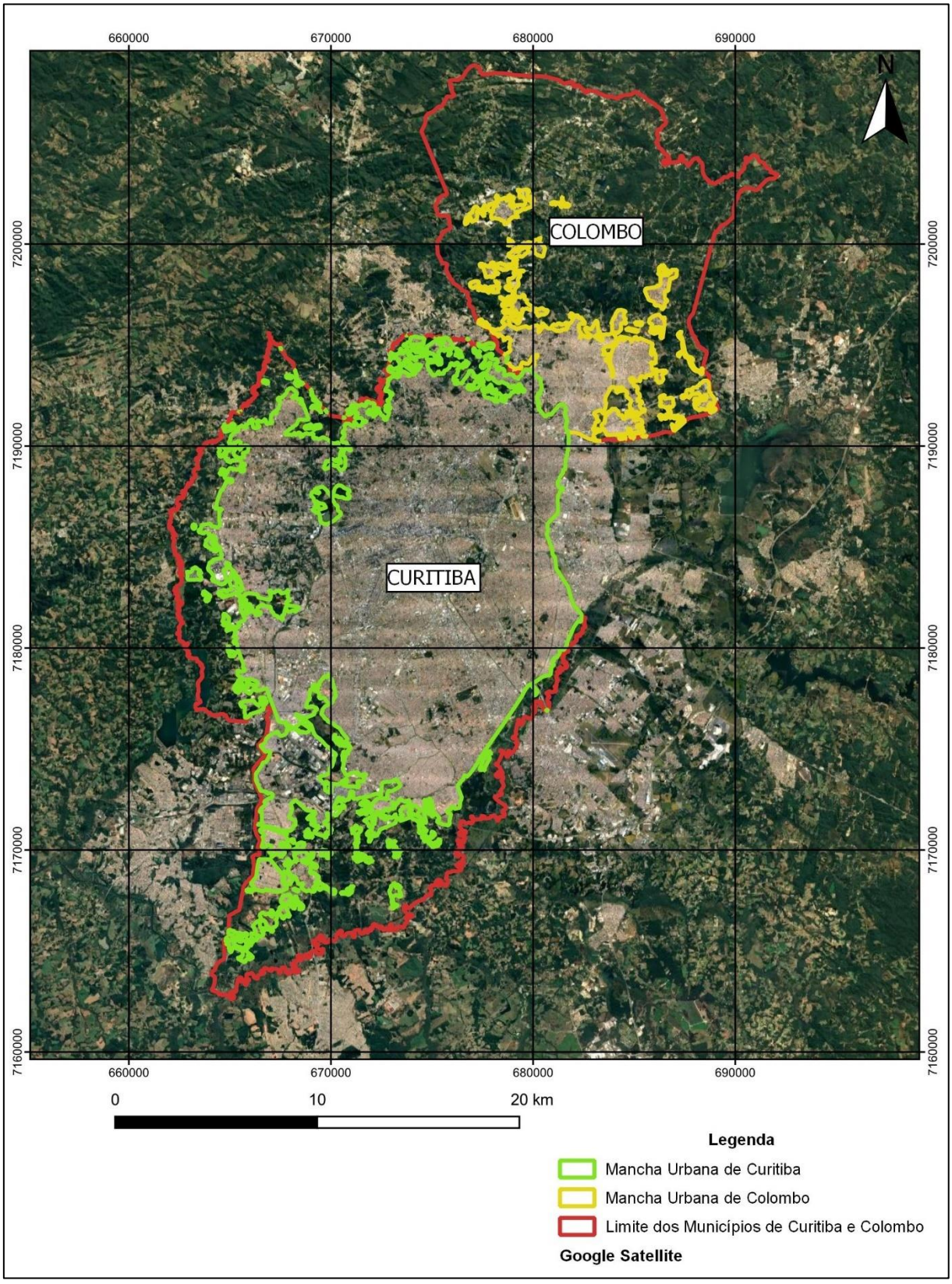
4.1.1 Áreas urbanizadas de Curitiba e Colombo

De acordo a base do IBGE (2015), Curitiba possui uma área de 434,8411 km² e uma área urbanizada de 307,1569 km², representando 70,6% do seu território. Colombo tem uma área de 197,8096 km² e uma área urbanizada de 36,9016 km², o equivalente a 18,7% do seu território.

Como se pode observar na FIGURA 2, Curitiba possui uma urbanização significativa em relação ao município de Colombo, embora apresente áreas verdes em toda a sua delimitação como, parques, praças, ruas arborizadas, dentre outras.

Com uma área urbanizada maior, Curitiba possui maior quantidade de ilhas de calor, em relação a Colombo, o que influencia no microclima urbano e consequentemente nas variáveis meteorológicas.

FIGURA 2 – ÁREA URBANIZADA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021)

Os dados de mancha urbana dos municípios Curitiba e Colombo foram disponibilizados pelo IBGE (2015) em formato de extensão *shapefile*. Através desta base, foi possível elaborar os mapas pelo *software* Qgis 3.16 e obter a área urbanizada dos dois municípios.

4.2 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

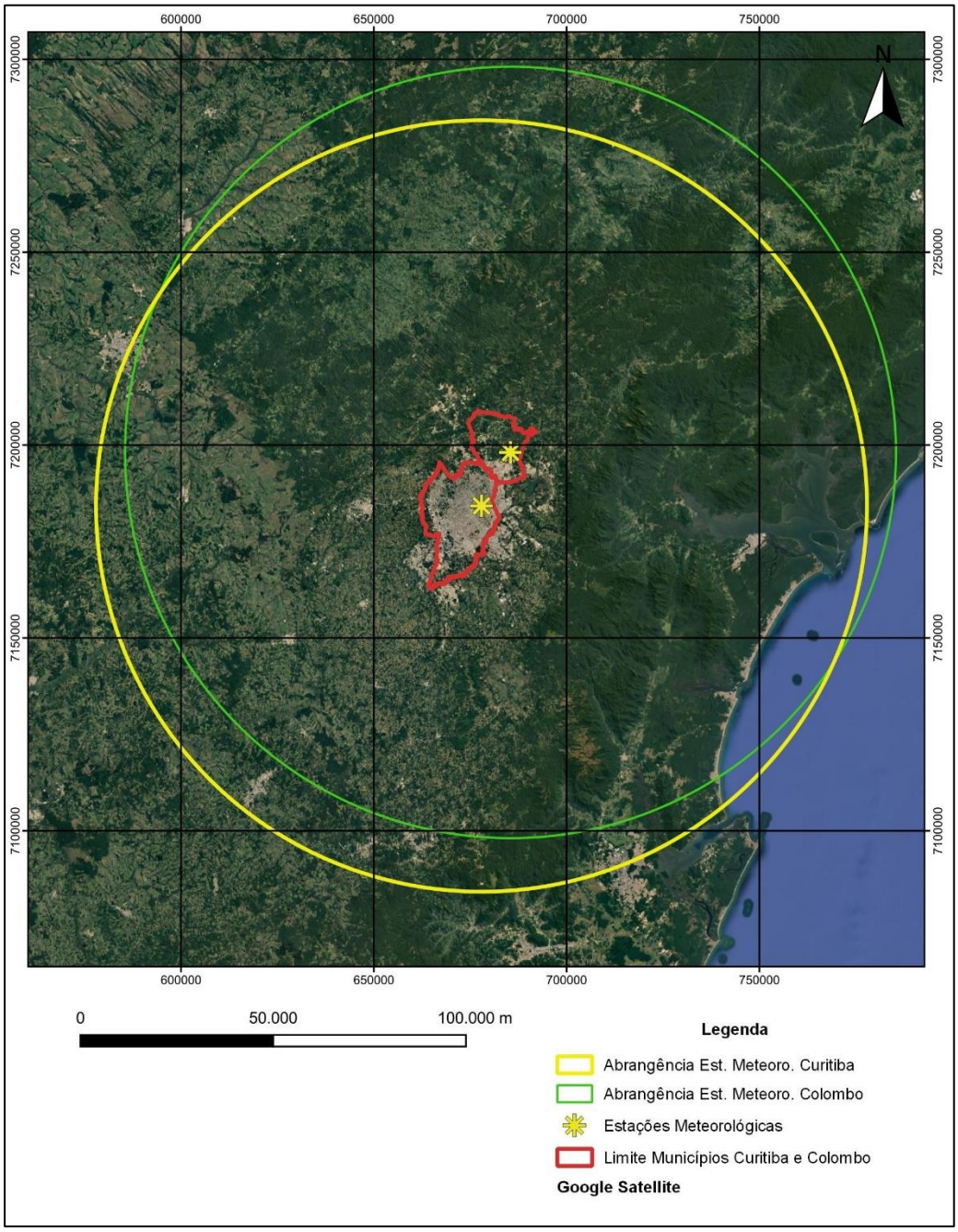
A estação meteorológica automática de Curitiba encontra-se instalada no *Campus* Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná a 923,5 m de altitude acima do nível do mar e está localizada geograficamente a 25º 26’ 54,12” S de latitude e 49º 13’ 51,44” O de longitude.

A estação meteorológica automática de Colombo encontra-se instalada na unidade da Embrapa Florestas, a 950 metros de altitude e está localizada geograficamente a 25º 19’ 20,30” S de latitude e 49º 9’ 27,87” O de longitude.

A estação meteorológica de Curitiba e a de Colombo possuem um raio de abrangência de 100 km para fins sinóticos (PRESTES, 2021). A Organização Mundial de Meteorologia (*World Meteorological Organization*) (2008), confirma que em casos de valores sinóticos para as observações serem representativas, a área ao redor da estação pode ser de até 100 km, apenas para aplicações em pequena escala.

Na FIGURA 3, é possível observar a localização das estações meteorológicas de Curitiba e Colombo e os locais de sobreposição entre elas.

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS NOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

4.3 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Os históricos de dados meteorológicos anuais dos municípios de Curitiba e Colombo, para o período de 2017 a 2020, foram obtidos através do Portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2021a). Este período de estudo foi escolhido, visto que, o município de Colombo não dispõe de um banco de dados anual completo para

o ano anterior ao de 2017, pois a sua estação meteorológica foi instalada apenas em 31/05/2016 (INMET, 2021b).

O horário de medição das variáveis meteorológicas das estações automáticas é registrado em UTC (Tempo Universal Coordenado), portanto, se fez necessária a correção para a hora local (-3 horas) para poder realizar a análise.

Foram levantados dados meteorológicos referentes a um período contínuo de 4 anos (2017 a 2020), possibilitando analisar a precipitação mensal (mm) e as variáveis diárias:

- ✓ Pressão atmosférica (mmHg) às 13 horas;
- ✓ Temperaturas média, mínima e máxima (ºC);
- ✓ Umidade relativa do ar média e às 13 horas (%); e
- ✓ Razão de mistura (g de vapor d'água/kg de ar seco) às 13 horas:

$$RM = 622\frac{e}{P - e}$$

Onde:

RM = Razão de mistura (g de vapor d'água/kg de ar seco);

e = pressão real de vapor d'água (mmHg); e

P = pressão atmosférica (mmHg).

A pressão atmosférica (P) aferida pelas estações meteorológicas se dá em milibar (mb), e para que se pudesse efetuar o cálculo da razão de mistura, foi necessário transformar a pressão para milímetros de mercúrio, a partir de uma regra de três seguindo o princípio de transformação de unidade explicitado a seguir:

$$760\ mmHg = 1013{,}25\ mb$$

A pressão real de vapor d'água (e) utilizada para o cálculo da razão de mistura, foi obtida a partir da fórmula da umidade relativa do ar (%) descrita a seguir:

$$UR = \frac{e}{E}\ x\ 100$$

A pressão máxima de vapor d'água em mmHg (E) foi obtida por meio da Tabela 8 do livro de Meteorologia e Climatologia Florestal (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015), na qual foi necessário considerar a temperatura do ar (ºC).

A umidade relativa do ar foi determinada também para às 13 horas, pois é quando está em seu valor mínimo e também e pode ser utilizada para determinação de índices relacionados ao ambiente, assim como realizado pelo Sistema Canadense de Classificação de Perigo de Incêndio Florestal (*Canadian Forest Fire Danger Rating System* – CCFDRS), pois este horário representa o meio da tarde e também o pico das condições de perigo de incêndio, de acordo com Hoadley *et al.* (2006).

A razão de mistura, por representar a umidade do ar de uma maneira mais precisa, foi padronizada para às 13 horas, demandando também a determinação da pressão atmosférica para o mesmo horário.

A partir do cálculo destas variáveis por meio do *software* Microsoft Office Excel, foi realizada a plotagem em gráficos dos resultados de Curitiba e Colombo e a sobreposição dos dados dos municípios para fins de comparação, análise estatística, teste de média ($p < 0,05$) e de regressão linear, e avaliação do comportamento das variáveis meteorológicas de ambas as estações automáticas.

As estações meteorológicas automáticas fazem as medições das variáveis de uma em uma hora. Houve ocasiões em que as estações de Curitiba e Colombo não captaram determinadas variáveis e fizeram o registro como “-9999”, indicando erro na leitura. Vale ressaltar que tais registros não foram considerados na análise.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

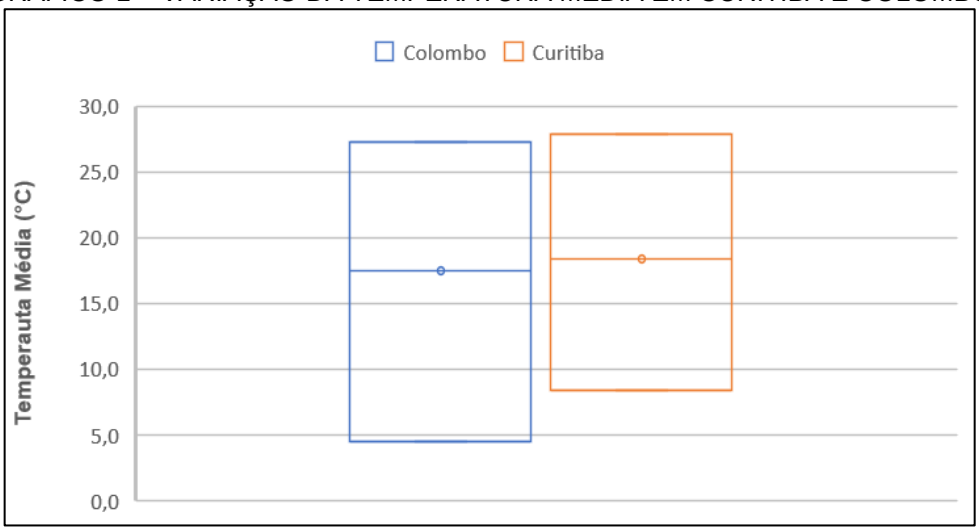
5.1 TEMPERATURA MÉDIA

Em relação às temperaturas médias, em Colombo variaram de 4,5 a 27,3 ºC, sendo a maior em fevereiro/2019 e a menor em julho/2017. Em Curitiba a variação foi de 8,4 (julho/2017) a 27,8 ºC (outubro/2020).

O valor médio de Colombo foi de 17,5 ºC e o de Curitiba foi de 18,4 ºC (diferença de 0,9 ºC), justificando a posição da sua linha de tendência acima de Colombo. O desvio padrão de Colombo foi de 3,6 ºC e a variância de 13 ºC, enquanto Curitiba obteve desvio padrão de 3,4 e variância de 11,7 ºC. O teste de médias para esta variável ($3{,}48.10^{-11} < 0{,}05$), revelou que há uma diferença significativa entre as médias dos dois municípios.

No GRÁFICO 1, é possível observar a variação da temperatura média dos dois municípios de maneira mais clara, além dos valores médios obtidos por Curitiba (18,4 ºC) e Colombo (17,5 ºC).

GRÁFICO 1 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

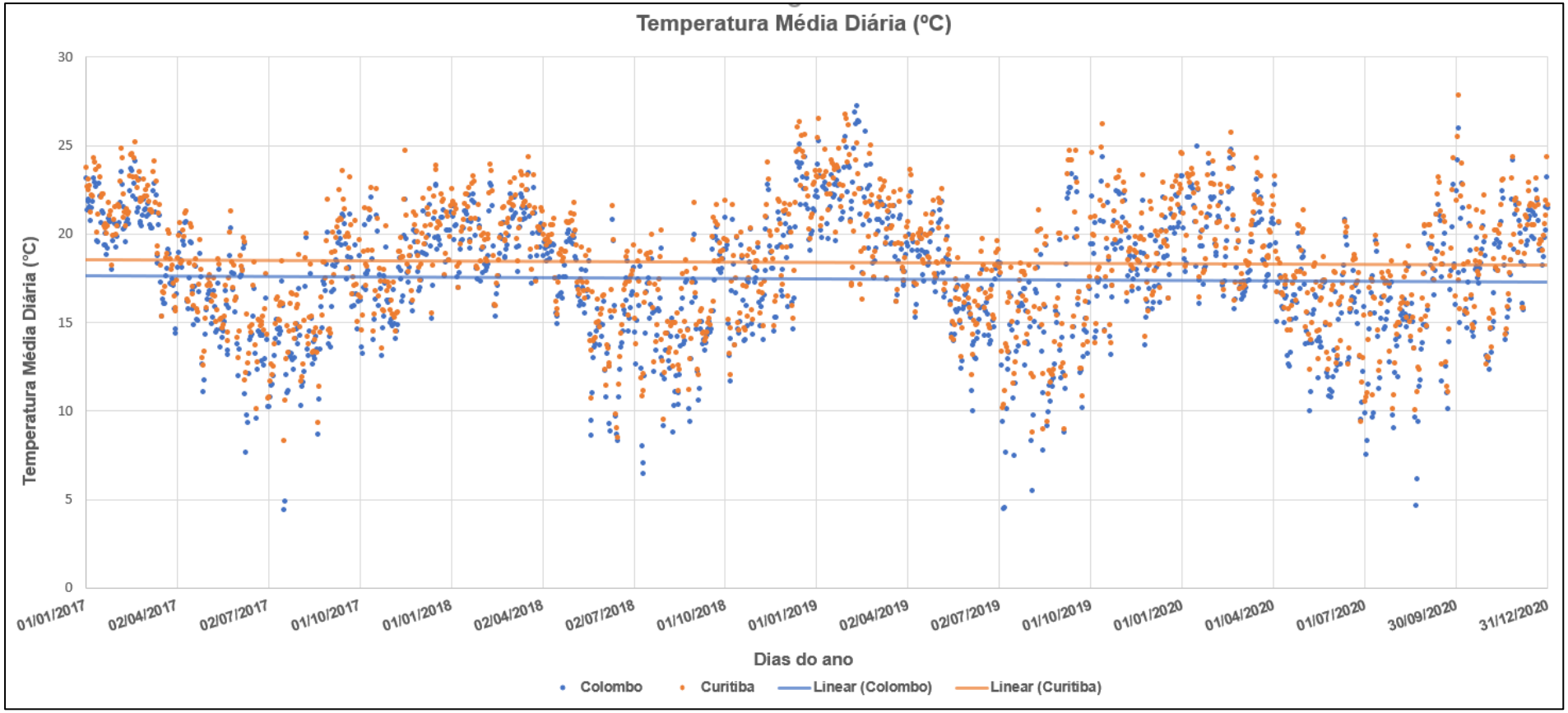
A função de regressão linear de Colombo (y = -0,0003x + 28,465), revela que a temperatura média do município diminuiu mais em relação a de Curitiba (y = -0,0002x + 27,863) no período analisado, pois a sua taxa de redução (-0,11 ºC/ano) se apresentou menor em relação à de Curitiba (-0,07 ºC/ano).

Colombo e Curitiba apresentaram comportamentos similares, conforme se pode observar no GRÁFICO 2. Nota-se que ambos os municípios sofreram influência da urbanização sobre esta variável meteorológica, porém, Colombo apresentou temperaturas médias sempre ligeiramente abaixo de Curitiba.

Curitiba por ter 70,6% do seu território urbanizado, apresentou temperaturas médias maiores ao longo do período analisado, em relação a Colombo que possui 18,7% de urbanização. De acordo com Aquino (2010), o processo de urbanização provoca transformações no microclima das cidades, pois conforme o avanço da implantação de edificações e pavimentação, tais fatores elevam a temperatura dos centros urbanos em relação às áreas rurais, formando as ilhas de calor.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3, comparando os resultados obtidos pelos dois municípios.

GRÁFICO 2 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

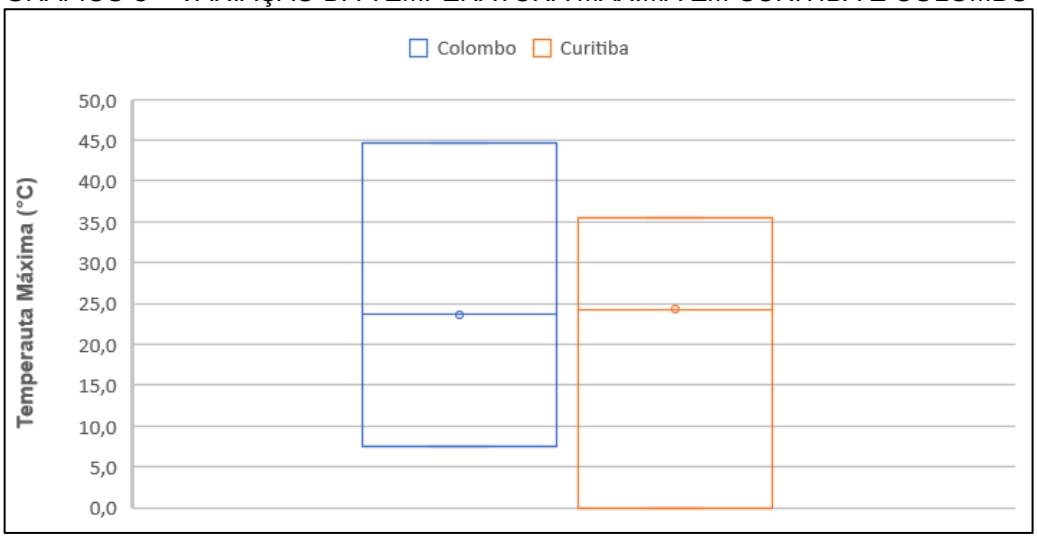
5.2 TEMPERATURA MÁXIMA

Em relação às temperaturas máximas, apesar de em Curitiba se apresentarem médias mais elevadas ao longo do período variando de 0 a 35,5 ºC, Colombo em fevereiro/2019 registrou temperaturas atípicas (*outliers*) acima de 40 ºC, variando de 40,8 a 44,7 ºC. A menor temperatura máxima registrada no município foi de 7,5 ºC (agosto/2020). Os *outliers* de registrados pela estação meteorológica de Colombo, podem ter sido em decorrência de alguma falha, ou então, algum fator externo que interferiu diretamente na medição desta variável.

O valor médio assumido por Colombo para todo o período foi de 23,6 ºC e o de Curitiba foi de 24,3 ºC. O desvio padrão e a variância para Colombo foram de 4,9 e 23,7 ºC e para Curitiba de 4,7 e 22,1 ºC. O teste de médias ($1{,}28.10^{-4} < 0{,}05$) revelou que há uma diferença significativa entre as médias dos dois municípios.

No GRÁFICO 3, é possível observar visualmente a variação da temperatura máxima em Curitiba e Colombo, seus valores maiores e menores, além de suas médias.

GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

O GRÁFICO 4, mostra que a dispersão dos pontos para ambos os municípios seguiu um comportamento de oscilação sazonal similar durante todo o período, assim como ocorreu no das temperaturas médias.

As funções de regressão linear de Curitiba (y = 0,0003x + 12,896) e de Colombo (y = 0,0003x + 12,573), mostraram que em ambas as cidades, a temperatura máxima aqueceu com a mesma taxa (a=0,0003 ºC/dia ou 0,11 ºC/ano) durante o período de análise.

A diferença de temperatura no valor médio obtido para todo o período (0,7 ºC), indica que Curitiba sofre maior influência da urbanização sobre a temperatura máxima em relação a Colombo, em função da sua maior formação de ilhas de calor.

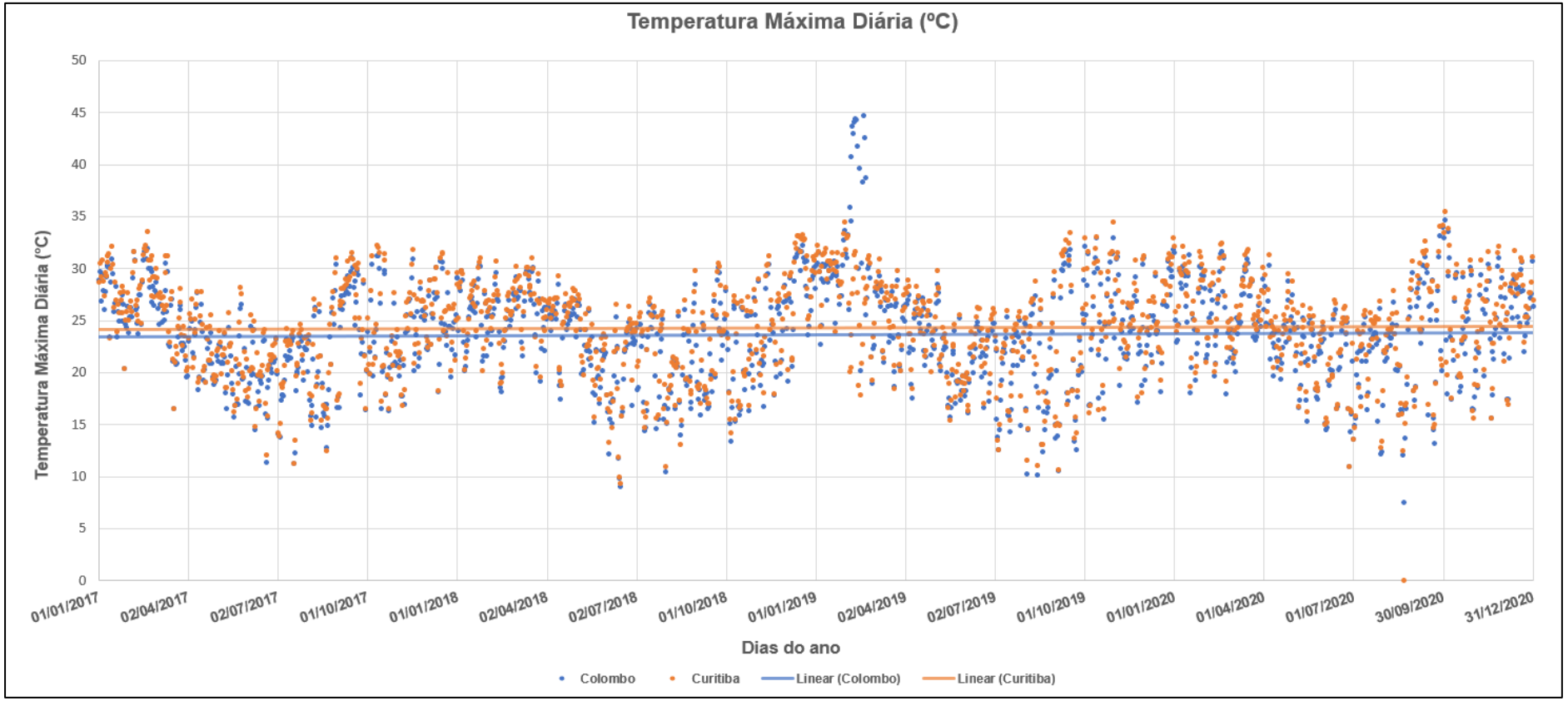
Lombardo[1] (1985 apud OLIVEIRA FILHO *et al.,* 2015), em seu estudo na cidade de São Paulo encontrou em regiões mais urbanizadas temperaturas maiores em relação às regiões de periferia, com diferenças de até 10 ºC. A mesma autora diz que, em regiões com existência de corpos d'água e áreas verdes, as temperaturas tendem a sofrer menos oscilações durante o dia e também serem mais agradáveis em relação às áreas com maior grau de urbanização.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3, comparando os resultados obtidos pelos dois municípios.

---

[1] LOMBARDO, M. A. **O clima e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1985.

GRÁFICO 4 - TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

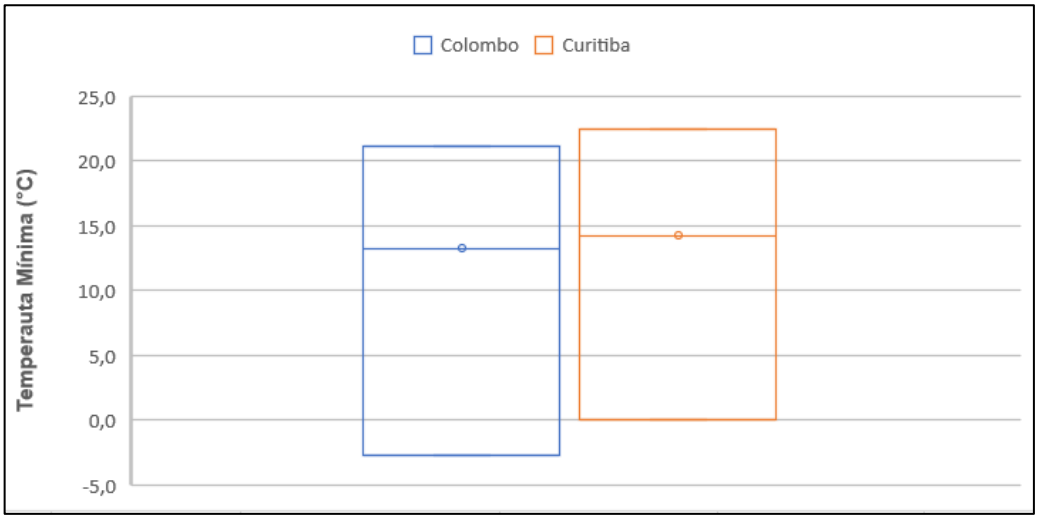
5.3 TEMPERATURA MÍNIMA

Nas temperaturas mínimas diárias, Colombo se destacou com os menores valores, com registros abaixo de 0 ºC em todos os anos do período analisado, chegando a -2,7 em julho/2017 e a -2,2 ºC em julho/2019. Neste município, as temperaturas mínimas variaram de -2,7 a 21,1 ºC durante o período de estudo. Curitiba não obteve registro negativo, e variou de 0 a 22,4 ºC, sendo que a menor temperatura foi registrada em agosto/2020 e a segunda menor (4,3 ºC) em julho/2017.

O valor de temperatura mínima médio assumido por Colombo de 2017 a 2020 foi de 13,2 ºC e o de Curitiba foi de 14,3 ºC, justificando a posição da sua linha de tendência acima da de Colombo. O desvio padrão e variância de Colombo foram de 4º e 16,1 º e de Curitiba foram 3,4 ºC e 11,9 ºC. O teste de médias ($2{,}10.10^{-13} < 0{,}05$) revelou que há diferença significativa entre as médias dos dois municípios.

No GRÁFICO 5, é possível observar a variação da temperatura mínima nos dois municípios de maneira mais clara, além dos valores médios obtidos por Curitiba e Colombo.

GRÁFICO 5 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÍNIMA EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

No GRÁFICO 6, é possível observar que o comportamento das linhas de tendência das temperaturas mínimas diárias dos dois municípios tende a temperaturas menores, mesmo sem inverter suas posições. Pode-se notar também, que a dispersão dos pontos de temperatura mínima de ambos os municípios segue

comportamento semelhante, com oscilações sazonais de picos elevados e temperatura mínimas menores, principalmente para o município de Colombo.

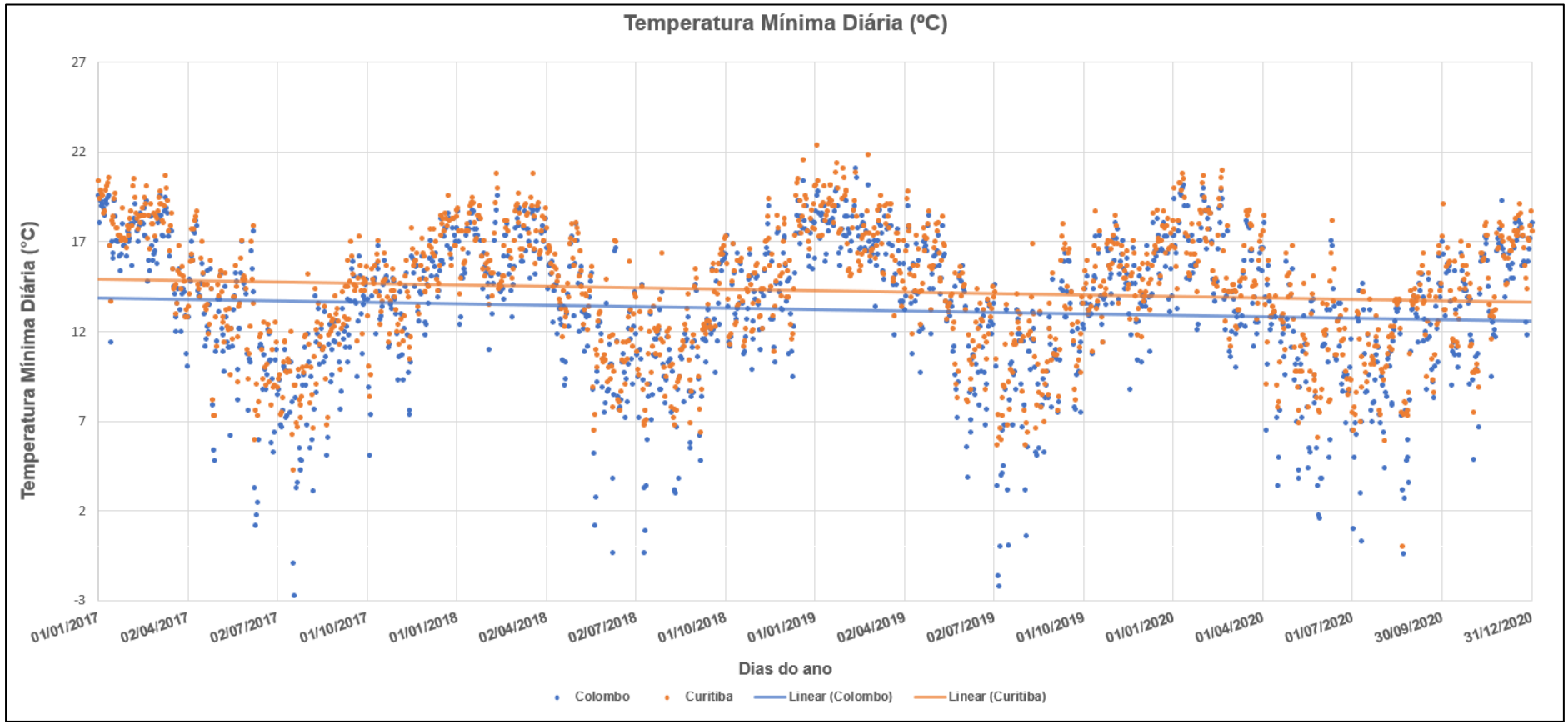
As equações de regressão linear de Curitiba (y = -0,0009x + 52,494) e Colombo (y = -0,0009x + 50,835), apresentaram uma mesma taxa de redução (-0,0009 ºC/dia ou -0,33 ºC/ano), indicando que os dois municípios esfriaram com a com a mesma intensidade durante todo o período analisado.

A diferença na média de temperatura mínima (1,1 ºC), permitiu notar que, Colombo sofre menor influência da sua urbanização, fazendo com que possa chegar a índices negativos, possivelmente pelo fato de sua estação meteorológica se encontrar em uma área com menor influência urbana em relação à localização da estação de Curitiba. Outro detalhe a ser ressaltado, é o de que este município apresentou suas menores temperaturas na estação de inverno de cada ano.

Corroborando os resultados encontrados para os dois municípios estudados, nos estudos de Alvares *et al.* (2013) as temperaturas variaram de 12,8 a 14,4 ºC em Colombo no período de transição entre outono e inverno (maio, junho, julho e agosto), sendo a menor temperatura em julho (12,8 ºC). Em Curitiba, no mesmo período, a variação foi de 13 a 14,5 ºC, sendo que a menor também foi registrada no mês de julho, considerado o mais frio do ano.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3, comparando os resultados obtidos pelos dois municípios.

GRÁFICO 6 - TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA DOS MUNICÍPIOS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

5.4 UMIDADE RELATIVA DO AR

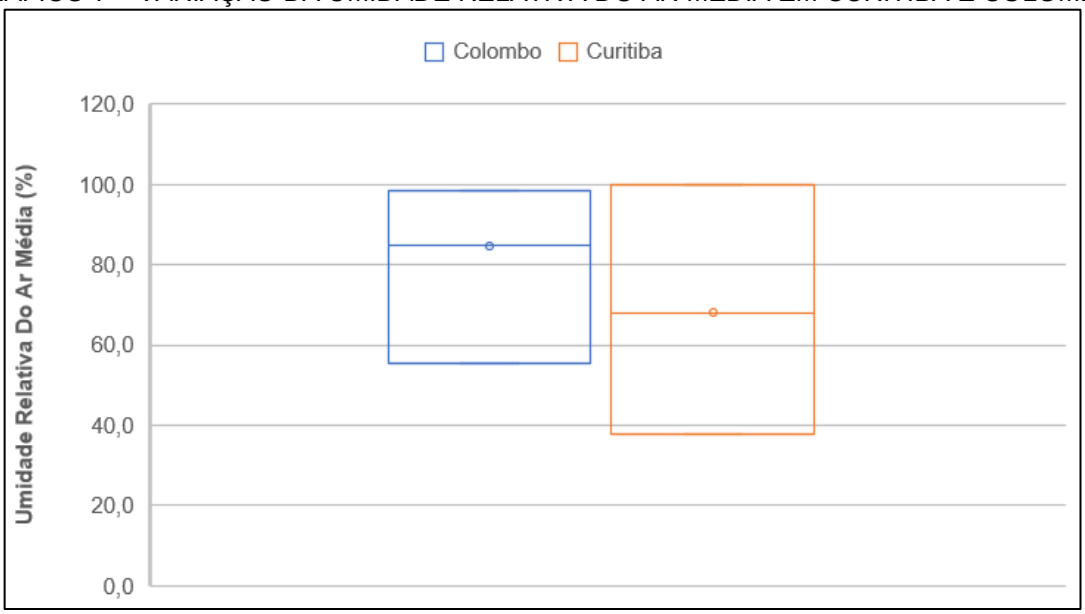
5.4.1 Umidade Relativa do Ar Média

Em relação à umidade relativa do ar média diária, Colombo se sobressaiu com valores maiores aos registrados por Curitiba de 2017 a 2020, variando de 55,333 a 98,458%, sendo a menor média registrada em dezembro/2018 e a maior em agosto/2020. Curitiba, apesar de atingir média de 100% em junho/2020, registrou valores menores em relação a Colombo, variando de 37,813% a 100%, sendo que a menor média foi registrada em setembro/2020.

O valor médio de umidade do ar média diária de Colombo foi 84,73% e de Curitiba foi 68,00%. O desvio padrão e a variância para Colombo foram de 7,3 e 53,4%, respectivamente, e de Curitiba foram de 9,5 e 90,1%, mostrando que o comportamento das médias de umidade de Curitiba foi significativamente mais volátil em relação ao de Colombo. O teste de médias (0 < 0,05), revelou que não há uma diferença significativa entre as médias de Curitiba e Colombo para esta variável.

No GRÁFICO 7, é possível observar a variação da umidade relativa média dos dois municípios.

GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

A linha de tendência de Colombo traçada no GRÁFICO 8, pela primeira vez esteve acima de Curitiba. Os pontos no gráfico se mostraram significativamente dispersos e sem comportamento definido.

As equações de regressão linear de Curitiba (y = -0,0011x + 115,61) e Colombo (y = -0,0023x + 184,44), mostraram que a umidade relativa de Colombo diminuiu mais rapidamente ao longo do tempo, pois a sua taxa de redução (-0,0023 pp/dia[2] ou -0,84 pp/ano) é significativamente menor em relação à de Curitiba (-0,0011 pp/dia ou -0,40 pp/ano).

Analisando pela média, Colombo revelou que por ter menor grau de urbanização em relação a Curitiba, não sofreu uma influência significativa sobre esta variável. Vale ressaltar, que sua estação meteorológica está instalada em uma área menos urbanizada e com maior área verde ao redor em relação à localização da estação de Curitiba.

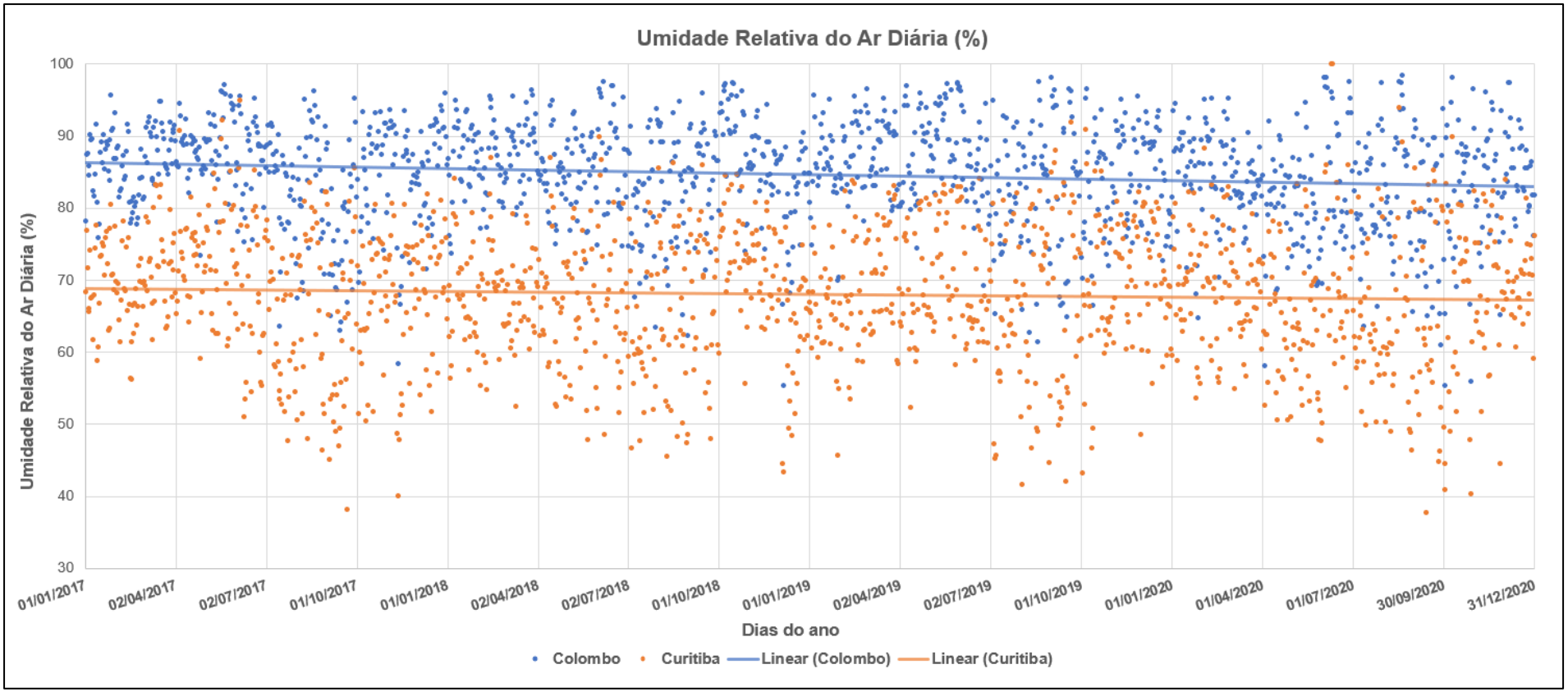
Mendonça e Danni-Oliveira (2007), descrevem que a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar e de acordo com Cox (2008), o ar aquecido da cidade e a impermeabilização do solo, levam à diminuição da umidade do ar no ambiente urbano.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3 comparando os resultados obtidos pelos municípios.

---

[2] Unidade: pontos percentuais por dia

GRÁFICO 8 - UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA DIÁRIA DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

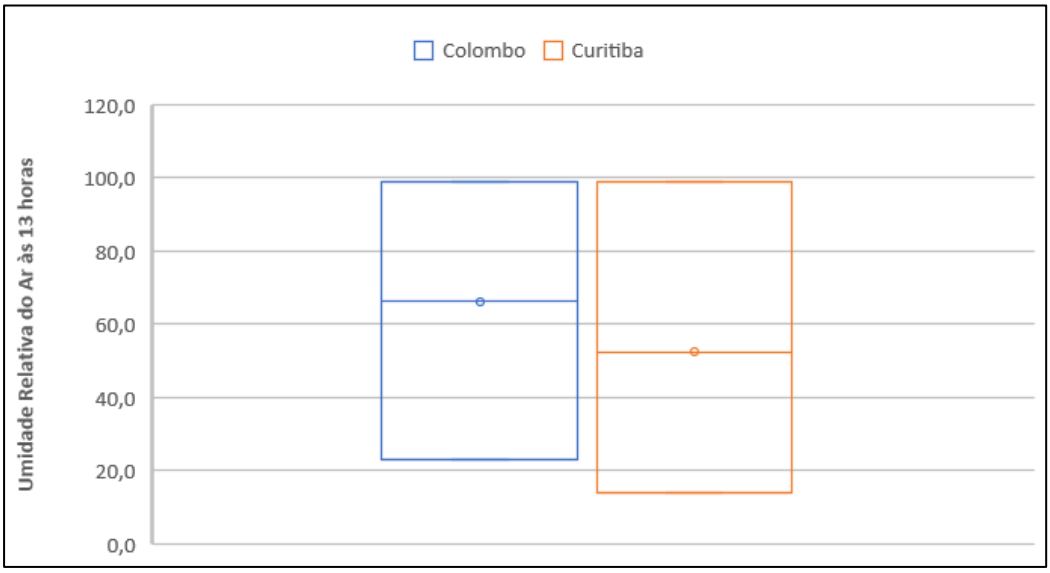
5.4.2 Umidade Relativa do Ar às 13 horas

Em relação à umidade relativa do ar às 13 horas, Colombo se sobressaiu elevadamente aos valores registrados por Curitiba durante o período de análise, variando de 23 (setembro/2020) a 99% (setembro/2019 e novembro/2020). Curitiba, obteve umidades às 13 horas que variaram de 14 (outubro/2020) a 99% (fevereiro/2020).

O valor médio de umidade do ar às 13 horas de Colombo foi 66,29% e de Curitiba 52,51% (diferença de 13,78%). O desvio padrão e a variância de Colombo foram de 16,061 e 257,955% e de Curitiba o desvio padrão foi 16,372 e a variância 268,055%. O teste de médias ($2{,}35.10^{-103} < 0{,}05$), revelou que há uma diferença significativamente grande entre as médias obtidas pelos dois municípios.

No GRÁFICO 9, é possível observar a variação da umidade relativa do ar às 13 horas dos dois municípios, além dos seus respectivos valores médios.

GRÁFICO 9 – VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR ÀS 13 HORAS EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A autora (2021).

A linha de tendência de Colombo traçada no GRÁFICO 10, mostra que os pontos de dispersão de ambos os municípios se mostraram significativamente voláteis e sem comportamento definido.

As equações de regressão linear para Curitiba (y = -0,0035x + 205,82) e Colombo (y = -0,0033x + 210,5), mostraram que a umidade relativa às 13 horas de

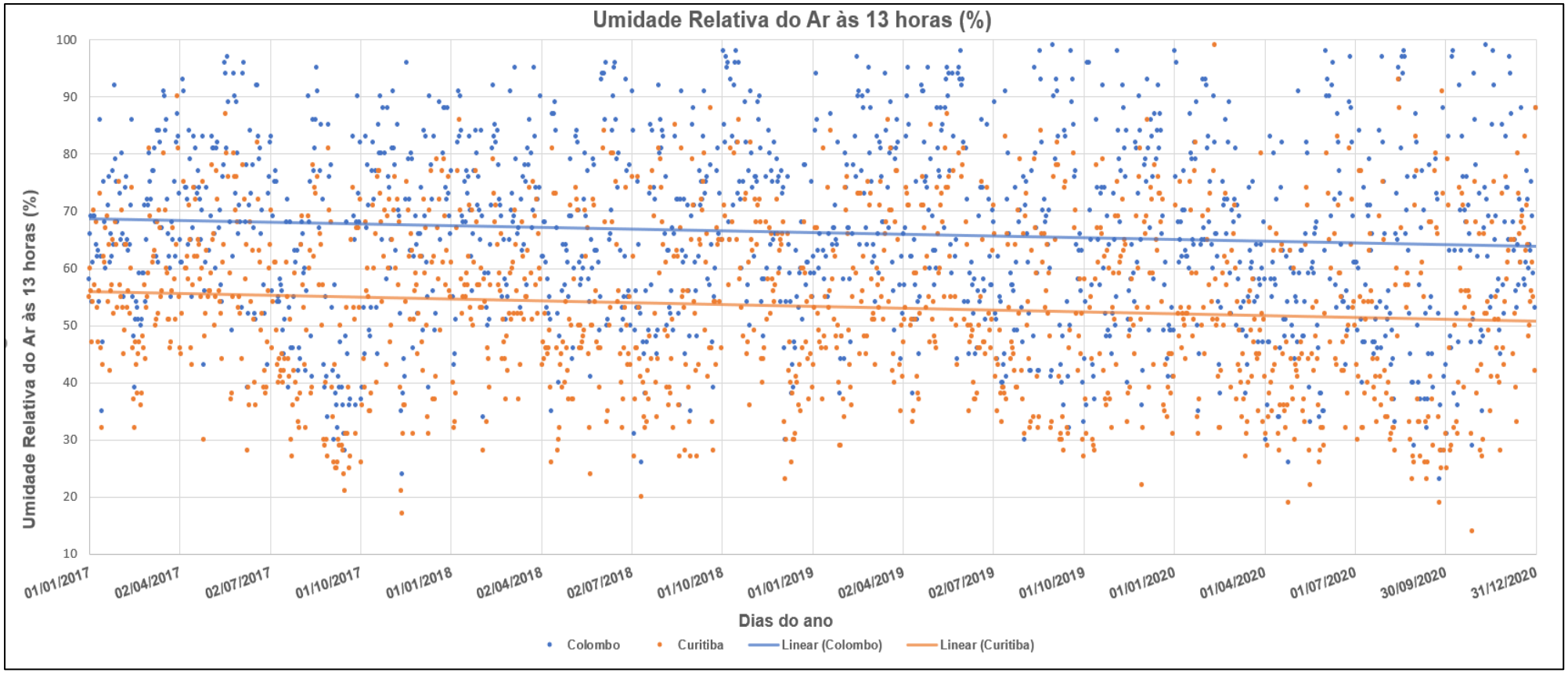
Curitiba diminuiu mais rapidamente ao longo do tempo, pois a sua taxa de redução (-0,0035 pp/dia ou -1,28 pp/ano) é significativamente menor em à taxa correspondida por Colombo (-0,0033 pp/dia ou -1,20 pp/ano).

A diferença na média de umidade às 13 horas (13,78%) indica que Curitiba sofreu mais influência da urbanização em relação a Colombo, por conta da sua maior quantidade de ilha de calor que acaba gerando um microclima mais seco, além de ser um gatilho para a formação de incêndios florestais urbanos.

Nunes *et al.* (2005), em seu estudo de estimativa de umidade relativa às 13 horas para nove municípios do Paraná, chegaram a valores mínimos que variaram de 14,60 a 19,80%, valores máximos de 99,40 a 100% e médios variando de 57,28 a 69,74%. O município mais próximo de Curitiba e Colombo que foi analisado é o de Pinhais, que obteve os maiores valores mínimo (19,80%), máximo (100%) e médio (69,74%) de umidade às 13 horas.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3 que compara os resultados obtidos pelos dois municípios.

GRÁFICO 10 - UMIDADE RELATIVA DO AR ÀS 13 HORAS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

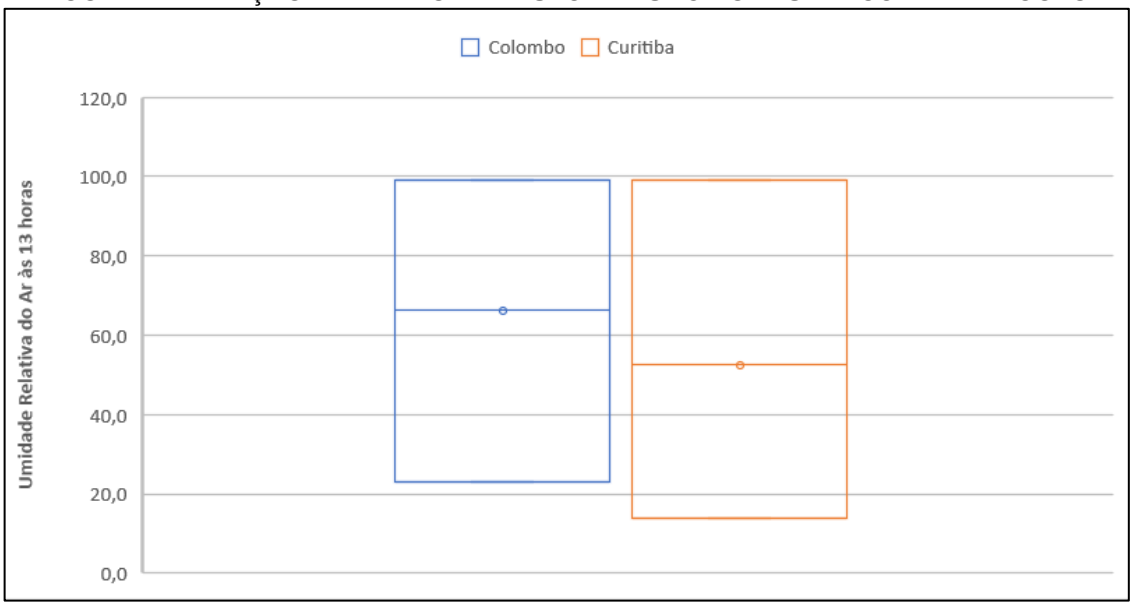
5.5 RAZÃO DE MISTURA

A razão de mistura também foi padronizada para às 13 horas de cada dia. Colombo apresentou valores que variaram de 1,965 (abril/2019) a 39,695 g de vapor d'água/kg de ar seco (fevereiro/2019). Curitiba obteve valores que variaram de 3,217 (junho/2017) a 16,936 g de vapor d'água/kg de ar seco (outubro/2018).

O valor médio de razão de mistura para às 13 horas obtido por Curitiba foi de 10,067 e de Colombo foi de 11,808 g de vapor d'água/kg de ar seco. O desvio padrão e a variância de Colombo foram de 3,180 e 10,110 g de vapor d'água/kg de ar seco, e de Curitiba o desvio padrão foi de 2,769 e a variância 7,666 g de vapor d'água/kg de ar seco. O teste de médias ($8{,}14.10^{-52} < 0{,}05$), revelou que há uma diferença significativa entre as médias dos dois municípios.

No GRÁFICO 11, é possível observar a variação da razão de mistura às 13 horas dos dois municípios, além dos valores médios obtidos por Curitiba e Colombo.

GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DA RAZÃO DE MISTURA ÀS 13 HORAS EM CURITIBA E COLOMBO



FONTE: A Autora (2021)

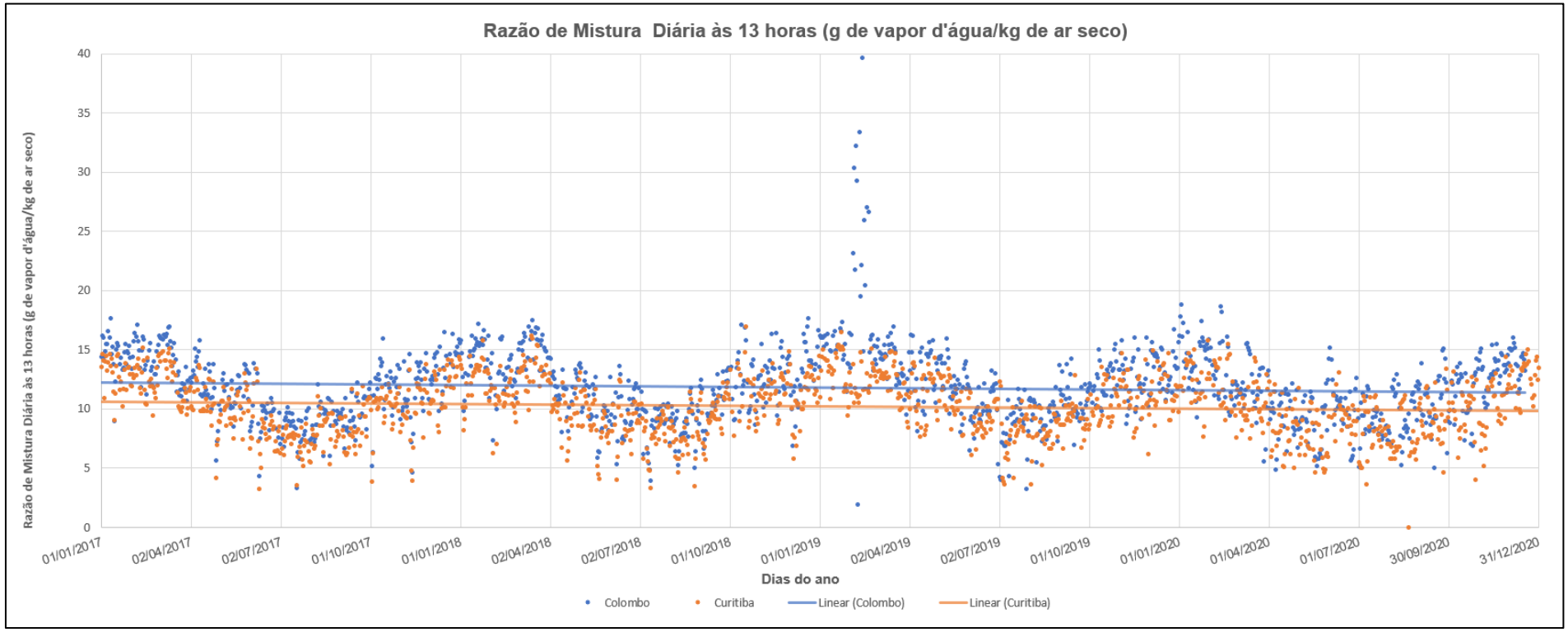
A função de regressão linear de Curitiba (y = -0,0006x + 34,423) e a de Colombo (y = -0,0006x + 39,458), mostraram que a razão de mistura dos dois municípios diminuiu com a mesma intensidade conforme indicado pela sua taxa de redução (-0,0006 g de vapor d'água/kg de ar seco/dia ou -0,22 g de vapor d'água/kg de ar seco/ano).

No GRÁFICO 12, é possível notar que a razão de mistura de Colombo foi afetada pelos *outliers* de temperatura máxima registradas em fevereiro/2019, chegando a valores acima de 20 g de vapor d'água/kg de ar seco.

De acordo com Barbieri *et al.* (2013), a razão de mistura, por ser uma variável meteorológica conservativa, possibilita dimensionar com maior exatidão o acréscimo ou a diminuição no teor de vapor d'água presente na atmosfera. No gráfico da razão de mistura de Curitiba e Colombo, nota-se que ambos os municípios seguiram comportamentos semelhantes de dispersão e oscilação, ao contrário do observado no da umidade relativa às 13 horas, que mostrou volatilidade e valores significativamente acima destes da razão de mistura analisada também às 13 horas.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3 comparando todos os resultados obtidos pelos dois municípios.

GRÁFICO 12 - RAZÃO DE MISTURA DIÁRIA ÀS 13 HORAS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

5.6 PRECIPITAÇÃO

A precipitação foi analisada mensalmente. No GRÁFICO 13, é possível observar que as linhas de tendência de Curitiba e Colombo declinaram e Colombo ficou abaixo de Curitiba no final de 2020.

Em 2017, Colombo apresentou índices maiores de precipitação, quando comparado a Curitiba, que variaram de 10,8 (julho) a 297,2 mm (dezembro). Em Curitiba, os índices variaram de 5,6 (julho) a 230,8 mm (outubro).

Em 2018, Colombo obteve precipitações que variaram de 15,6 a 333,6 mm, sendo o mês de maior estiagem em abril e o mais chuvoso em outubro. Em Curitiba as precipitações que variaram de 4,2 a 366,6 mm, sendo a menor em julho e a maior em janeiro. Neste caso, Curitiba registrou precipitações significativas também em março (328 mm) e outubro (279 mm), como pode ser observado no gráfico.

Em 2019, os índices pluviométricos em ambos os municípios foram maiores em relação ao ano anterior, por conta da distribuição de chuvas em vários meses. Em Curitiba os índices variaram de 12,2 a 285,6 mm; sendo a menor em julho e a maior em fevereiro, e em Colombo de 39 a 423,8 mm, sendo a menor precipitação registrada em julho e a maior concentrada no mês de janeiro, embora em maio o volume de chuva tenha sido significativamente alto também (281,8 mm).

No ano de 2020, em Colombo as precipitações variaram de 24,2 (maio) a 176,8 mm (janeiro), e em Curitiba os índices variaram de 14,6 (março) a 211,8 mm (novembro).

Na TABELA 1, é possível observar e comparar os volumes acumulados de precipitação em cada mês dos anos de 2017 a 2020 em Colombo e Curitiba.

TABELA 1 – VOLUME DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADO MENSALMENTE EM COLOMBO E CURITIBA NO PERÍODO DE 2017 A 2020

	COLOMBO	CURITIBA
Mês/ano	**Precipitação mensal (mm)**	
jan/17	232	204,6
fev/17	72,4	89,8
mar/17	118,4	49,6
abr/17	93,4	73,6
mai/17	99	104,4
jun/17	139,4	182,4

	COLOMBO	CURITIBA
Mês/ano	**Precipitação mensal (mm)**	
jul/17	10,8	5,6
ago/17	91,2	96,8
set/17	44,4	43,4
out/17	272	230,8
nov/17	120,6	134,2
dez/17	297,2	171,8
jan/18	302,8	366,6
fev/18	109,8	97,8
mar/18	258,6	328
abr/18	15,6	22,6
mai/18	24,6	26,4
jun/18	104,8	91
jul/18	15,8	4,2
ago/18	34,8	47
set/18	65	66,8
out/18	333,6	279
nov/18	57,4	72,6
dez/18	83,4	84,2
jan/19	423,8	197,4
fev/19	195	285,6
mar/19	76,4	65,6
abr/19	147,2	119,2
mai/19	281,8	246,2
jun/19	60,8	74,2
jul/19	39	12,2
ago/19	67	50,2
set/19	100,6	136,6
out/19	76,4	90,8
nov/19	130	99
dez/19	53,8	70,6
jan/20	176,8	208,6
fev/20	112,2	110,8
mar/20	33	14,6
abr/20	35,6	21,2
mai/20	24,2	26,6
jun/20	107,6	143,8
jul/20	42,8	31,4
ago/20	154,2	136,4
set/20	37	45
out/20	111,2	121
nov/20	129	211,8
dez/20	151,4	166,2

A média mensal obtida por Colombo foi de 120,1 mm e o desvio padrão de 94,9 mm, enquanto a média de Curitiba foi de 115,8 mm e o desvio padrão 88,1 mm. O teste de médias (0,819 > 0,05), revelou que não há diferença entre as médias obtidas pelos dois municípios.

A função de regressão linear de Curitiba (y = -0,0183x + 910,17) e a de Colombo (y = -0,0344x + 1614,1), mostraram que o volume de precipitação em Colombo diminuiu mais rapidamente, pois a sua taxa de redução anual (-0,0344 mm/mês ou -0,41 mm/ano) é menor em relação à taxa de Curitiba (-0,0183 mm/mês ou -0,22 mm/ano).

Na TABELA 2, é possível observar o volume acumulado de precipitação anual no período de 2017 a 2020. Em 2017, Colombo obteve um índice pluviométrico significativamente maior (1590,8 mm) em relação a Curitiba (1387 mm), assim como em 2019 que acumulou 1651,8 mm e Curitiba 1447,6 mm.

Em 2020, Colombo obteve o menor acúmulo de precipitação (1115 mm), justificando a declinação significativa da sua linha de tendência no GRÁFICO 13, chegando a ficar abaixo da linha de Curitiba. A diferença de acúmulo entre os municípios no final da análise foi de 205,6 mm.

TABELA 2 – ACÚMULO DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DE CURITIBA E COLOMBO DE 2017 A 2020

	Precipitação (mm)	
Ano	**Colombo**	**Curitiba**
2017	1590,8	1387,0
2018	1406,2	1486,2
2019	1651,8	1447,6
2020	1115,0	1237,4
Total	**5763,8**	**5558,2**

FONTE: A autora (2021).

No gráfico se pode notar que, Curitiba e Colombo tiveram a maior parte dos meses de todo o período um volume pluviométrico baixo e eventuais picos de precipitação em dezembro, janeiro e fevereiro (meses de verão).

Corroborando os resultados de precipitação obtidos para os dois municípios, nos estudos de Alvares *et al.* (2013), os maiores índices foram encontrados em Colombo foram de 171 mm (dezembro), 205 mm (janeiro) e 193 mm (fevereiro). Em

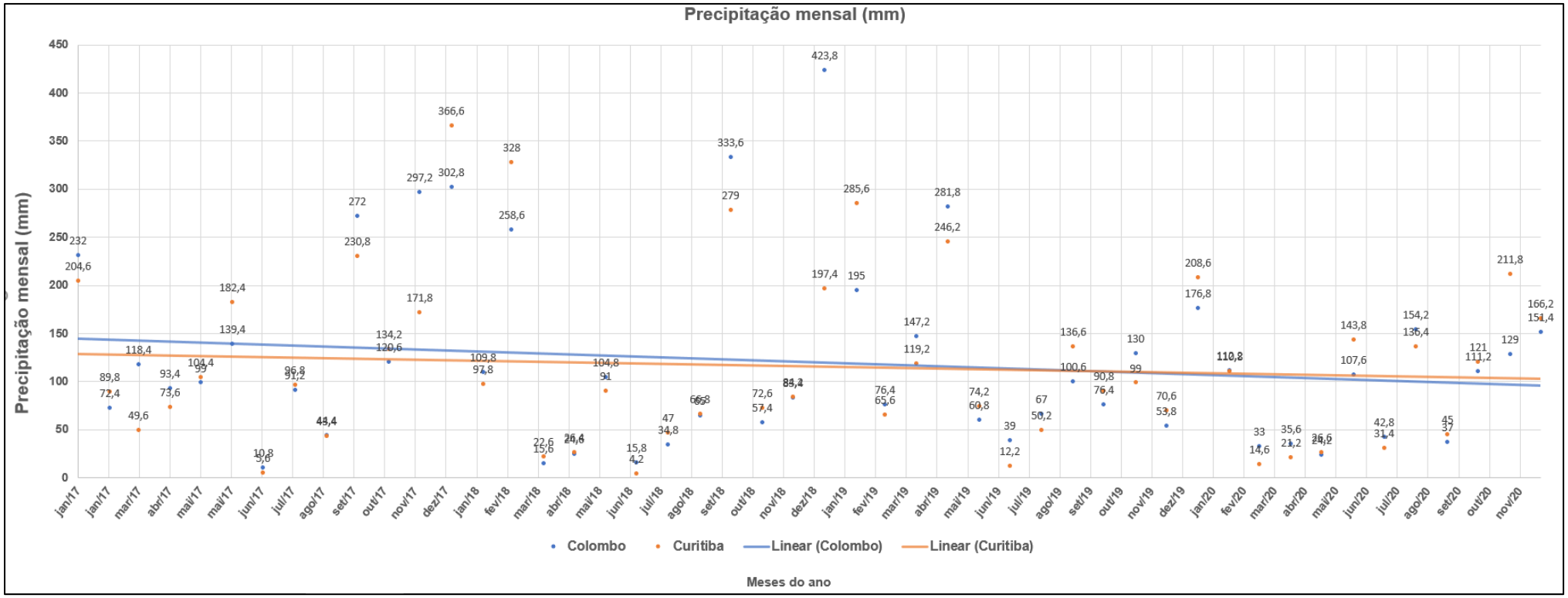
Curitiba os índices acumulados no período de verão foram de 156 mm (dezembro), 194 mm (janeiro) e 185 mm (fevereiro).

De acordo com Aquino (2010), o efeito da urbanização sobre a precipitação advém do aumento da evaporação causada pela alta temperatura, assim como da maior suspensão de particulados na atmosfera, como poluentes, facilitando o surgimento de núcleos de condensação. Como resultado, há o aumento de chuvas, que chega a 5% anualmente, e em dias com ocorrência de precipitação, esta tende a ser 10% maior em comparação às áreas rurais.

Segundo nota do Sistema Nacional de Meteorologia (SNM) (2021), a região do Paraná estava passando por uma crise hídrica durante o período analisado, causando queda na precipitação nos dois municípios. No entanto, este declínio foi menos severo em Curitiba quando comparado a Colombo, no que diz respeito à taxa de redução, o que pode ser explicado pela maior urbanização dessa cidade, em virtude da sua maior quantidade de núcleos de condensação, possibilitando a ocorrência da precipitação com uma umidade relativa menor, porém, sem deixar de lado uma possível influência de outras variáveis meteorológicas, como os ventos da direção leste e as massas de ar, já que a precipitação varia muito de maneira espacial.

No item 5.7 RESULTADOS COMPILADOS, é apresentada a TABELA 3, comparando todos os resultados obtidos pelos dois municípios.

GRÁFICO 13 - PRECIPITAÇÕES MENSAIS DE CURITIBA E COLOMBO NOS ANOS DE 2017 A 2020



FONTE: A autora (2021).

5.7 RESULTADOS COMPILADOS

Neste item é apresentada a TABELA 3 com todos os resultados de média e taxas de tendências de redução e aumento (no caso da temperatura máxima) obtidos para todas as variáveis meteorológicas estudadas de maneira resumida.

TABELA 3 – RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA TODAS AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS ANALISADAS

Variáveis	Análise Estatística e de Regressão Linear	Condição	Colombo	Curitiba
Temperatura	Média (°C)	Média	17,5	18,4
		Máxima	23,6	24,3
		Mínima	13,2	14,3
	Tendência (°C/ano)	Média	-0,11	-0,07
		Máxima	0,11	0,11
		Mínima	-0,33	-0,33
Umidade Relativa do ar	Média (%)	Média	84,7	68
		Às 13h	66,3	52,5
	Tendência (pp/ano)	Média	-0,84	-0,4
		Às 13h	-1,2	-1,28
Razão de mistura	Média (g de vapor d'água/kg de ar seco)	Às 13h	66,3	52,5
	Tendência (g de vapor d'água/kg de ar seco/ano)	Às 13h	-0,22	-0,22
Precipitação	Média (mm/mês)	Acumulado mensal	120,1	115,8
	Tendência (mm/mês/ano)	Acumulado mensal	-0,41	-0,22

5.8 DISCUSSÕES

Os resultados evidenciaram que, na análise da temperatura apesar de a temperatura média estar diminuindo para ambos os municípios, verifica-se que a temperatura máxima aumenta enquanto a mínima diminui com mais intensidade. Portanto, percebe-se que a amplitude térmica aumenta, e o efeito é o mesmo nas duas cidades. Logo, a urbanização parece não ter efeito sobre a taxa, mas sim sobre a média, visto que, Curitiba e Colombo obtiveram as mesmas taxas de tendência para

temperatura máxima e mínima, porém, as suas médias foram diferentes, com Curitiba apresentando valores maiores em todos os casos.

Em relação à umidade relativa do ar média, Colombo está diminuindo seu valor mais rapidamente, no entanto, quando se analisa o valor para às 13 horas, o comportamento se inverte com Curitiba tendo uma queda mais drástica. Logo, se pode concluir que a amplitude diária para esta variável é maior na cidade mais urbanizada - Curitiba, podendo acarretar em maior risco de incêndio.

Analisando a razão de mistura, pode-se perceber que ambos os municípios apresentam a mesma tendência de queda, se diferenciando pela média, com Curitiba apresentando um menor valor.

Para a precipitação foi constatado que, o aumento do índice de chuva está correlacionado com a urbanização, visto que, em Curitiba ocorreu uma menor diminuição dos índices em relação a Colombo, todavia, este declínio foi menos severo em Curitiba quando comparado a Colombo no que diz respeito à taxa de tendência de redução, o que pode ser explicado pela maior urbanização dessa cidade.

Apesar de se visualizar tendências distintas para todas as variáveis analisadas, a urbanização afetou os valores médios em todas as situações, com Curitiba sendo mais quente e mais seca em relação ao município vizinho.

6 CONCLUSÃO

Foi possível concluir que:

i. As estatísticas mostraram que há diferença significativa entre as médias das variáveis meteorológicas de Curitiba e Colombo, exceto pela umidade relativa média e pela precipitação. Além disso, Curitiba apresentou valores maiores em todas as análises;

ii. Na comparação do histórico de dados meteorológicos de dos municípios, foi possível observar que a urbanização exerceu influência sobre as variáveis meteorológicas, principalmente no que diz respeito a Curitiba, que se mostrou mais quente e mais seca em relação a Colombo em função da maior área urbanizada e maior quantidade de ilhas de calor;

iii. Todas as variáveis meteorológicas estudadas apresentaram uma tendência de redução em Curitiba e Colombo, exceto a temperatura máxima que apresentou uma taxa igual de aumento para os dois municípios.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. V. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2008.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728.

AQUINO, A. **Chuvas, deslizamentos e enchentes urbanas.** UFJF: Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental. 2010. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/labcaa/2010/01/05/chuvas-deslizamentos-e-enchentes-urbanas/#:~:text=Nas%20%C3%A1reas%20urbanas%2C%20a%20quantidade,comparada%20com%20as%20%C3%A1reas%20rurais.> Acesso em 21 nov. 2021.

BARBIERI, L. F. P.; CORREIA, M. F.; BRAGA, C. C.; GONÇALVES, W. A.; MOURA, M. S. B. Desempenho de método de estimativa da temperatura média diária: um estudo em áreas com forte pressão antrópica. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Campina Grande, v. 6, n. 4, p. 857 – 874, set. 2012.

BARBOSA, R.V. R.; BARBIRATO, G. M.; VECCHIA, F. A. S. Vegetação urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido. In: ENCAC-COTEDI ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7., 2003, Curitiba; **Anais...** Curitiba: PUCPR, 2003, p. 722-729.

CASTRO, A. R. C. **Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém – Pará, nos anos de 1997 e 2008.** 69 f. Dissertação (Mestrado em Geografia na área de Gestão de Recursos Naturais e Meio Ambiente) – Geografia, Universidade Federal do Pará, Belém (PA), 2009.

COX, E. P. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT.** 157 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá (MT), 2008.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental.** 2000. 296 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2000.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

DUMKE, E. M. S. D. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC).** 2007. 429 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR). 2007.

FIORIN, T. T.; ROSS, M. D. **Climatologia agrícola.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico. Rede e-Tec Brasil, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Áreas urbanizadas.** 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads> Acesso em: 17 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Curitiba.** 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>. Acesso em: 17 out. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Plano de mitigação e adaptação de às mudanças climáticas – PlanClima.** Dezembro 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos anuais.** 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos> Acesso em: 17 nov. 2021a.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Catálogo de estações automáticas.** 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos> Acesso em: 17 nov. 2021b.

HOADLEY, J.L.; RORIG, M.L.; BRADSHAW, L.; FERGUSON, S.A.; WESTRICK, K.J.; GOODRICK, S.L.; WERTH, P. Evaluation of MM5 model resolution when applied to prediction of National Fire Danger Rating indexes**. International Journal of Wildland Fire**, v. 15, p.147–154, 2006.

LABINSTRU. **Estação meteorológica da EST/UEA.** Disponível em: <https://sites.google.com/a/uea.edu.br/labinstru/home/estacao-meteorologica-da-est-uea>. Acesso em: 19 out. 2021.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR.** 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) -
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LIMA, A. P. **Análise de impactos associados à precipitação na cidade de São Carlos/São Paulo.** 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Geografia, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2012.

MARTINI, A. Estudo fenológico em árvores de rua. In: BIONDI, D.; LIMA NETO, E. M. de (Org.). **Pesquisas em arborização de ruas**. Curitiba, 2011. p. 29 - 48.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Influência da arborização de ruas na atenuação dos estremos meteorológicos no microclima urbano. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1685 – 1695, 2013.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, S. W.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do estado do Paraná.** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 2019.

NUNES, J. R. S.; SOARES, V. R.; BATISTA, A. C. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, mai./ago. 2005.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; MARTINS, K. G.; EVARISTO, G.; ANDRADE, A. R.; SILVA, C. A.; MACIEL, A.; BARBOSA, G. D. Análise da influência do uso da terra no microclima urbano: caso Irati-PR. **Floresta e Ambiente**, Saropédica, v. 22, n. 4, p. 465-471, out. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/BkjYkLcLwnF86X8fs3cpPTt/?lang=pt> Acesso em: 21 nov. 2021.

PRESTES, S. D. **Informações sobre estações meteorológicas de Curitiba e Colombo.** Mensagem recebida por: <solismar.prestes@inmet.gov.br>. 16 nov. 2021.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. **Meteorologia:** noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SCHMITZ, L. K.; MENDONÇA, F. Reestruturação urbana e conforto térmico: cenários de modelização em Curitiba-PR após a copa de 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, p. 61-81, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25795/17214>. Acesso em: 13 out. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE METEOROLOGIA (SNM). **Nota conjunta INMET/INPE/CENSIPAM.** 2021. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/NOTA_Emergencia_Hidrica_v05.pdf> Acesso em: 25 nov. 2021.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Meteorologia e climatologia florestal.** Curitiba: Os autores, 2015.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER *on demand* 08 – *Kinetic Temperature* (III): metrópoles brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,12., 2005, Goiânia. **Anais.** Goiânia: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 3911-3918.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.** 7 ed. Switzerland: CH-1211 Geneva 2, 2008. 681 p. v. 8. ISBN 978-92-63-10008-5. Disponível em: http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-474-WMO-Guide.pdf. Acesso em: 18 nov. 2021.