

Rede de Sensores para avaliação de variáveis meteorológicas em áreas verdes urbanas: desenvolvimento e aplicações

Sensor network for the evaluation of the meteorological variables in urban green areas: development and applications

Jô Vinícius Barrozo Chaves¹ 

Lia Toledo Moreira Mota² 

Admilson Írio Ribeiro³ 

Regina Márcia Longo⁴ 

Daniel Braga Barros⁵ 

José Ricardo Alves⁶ 

Palavras-chave:

Uso e Ocupação do Solo
Monitoramento Ambiental
Áreas Verdes
Rede de Sensores

Resumo

A construção de ambientes urbanos pouco sustentáveis, muitas vezes, implica em impactos negativos no clima e no conforto ambiental, devido às interferências climáticas comuns em ambientes altamente construídos e impermeabilizados. Nesse sentido, uma das formas de mitigação dos impactos ambientais e microclimáticos negativos consiste na criação e ampliação de áreas verdes no ambiente urbano. Assim, a análise da influência das áreas verdes no meio ambiente urbano é de fundamental importância para a avaliação de seu impacto no microclima urbano. Essa análise pode ser realizada por meio do monitoramento de variáveis meteorológicas. Nesse sentido, o emprego de instrumentos e metodologias de aquisição de informação podem contribuir positivamente para essa análise, como forma de subsídio para a tomada de decisões relacionada ao planejamento urbano. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma rede de sensores, cujos elementos principais são nós-sensores para avaliação de variáveis meteorológicas em áreas verdes urbanas, visando analisar e discutir a influência de áreas verdes no comportamento dos parâmetros de concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar. Os nós-sensores propostos e desenvolvidos possibilitaram a coleta adequada dessas variáveis. A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que a área verde (área de preservação permanente - APP) contribuiu positivamente com essas variáveis na parcela da área de estudo localizada em Campinas (SP), apresentando menor temperatura e concentração de CO₂ e aumento da umidade do ar. Porém, para a parcela de Paulínia (SP), pôde-se observar pouca influência da APP. Foram identificadas, ainda, influências nessas variáveis exercidas por áreas rurais e parques, contribuindo para a redução dos parâmetros meteorológicos, mas com diferentes interações com a concentração de CO₂, podendo apresentar possível aumento ou auxiliar na redução de CO₂ no ar.

Keywords

Land Uses
Environmental Monitoring
Green Areas
Sensors Network

Abstract

The urban environment is often responsible for negative impacts on the climate and environmental comfort, due to the common climatic interference in highly built and waterproofed environments. One of the ways of mitigating negative environmental and microclimate impacts is the use of green areas in the urban environment. Thus, aiming at the analysis of environmental quality parameters of urban regions, it is essential to monitor the influence of green areas on different meteorological variables. In this sense, the use of information acquisition instruments and methodologies can positively contribute to this analysis, which can support decision-making related to urban planning. Thus, this work aims to develop a sensor network with sensor nodes to assess meteorological variables in urban green areas, aiming to analyze and discuss the influence of green areas on the behavior of CO₂ concentration, temperature and air relative humidity parameters in an urban environment. The proposed and developed sensor nodes enabled the adequate collection of these variables and, based on the results obtained, it was possible to observe that the green area (permanent preservation area - PPA) contributed positively to these variables in the portion of the study area located in Campinas (SP), presenting lower temperature and CO₂ concentration and increased air humidity. However, for the portion of Paulínia (SP), it was possible to observe little influence from the PPA. Influences on these variables, exerted by rural areas and parks, were also identified, contributing to the reduction of meteorological parameters, but different interactions were identified with the CO₂ concentration, which may present a possible increase or assist in the reduction of CO₂ in the air.

¹ Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas, SP, Brasil. jovb.chaves@gmail.com.

² Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas, SP, Brasil. lia.moreira.mota@gmail.com.

³ Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas, SP, Brasil. rmlongo@uol.com.br.

⁴ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Sorocaba, SP, Brasil. admilson.irio@unesp.br.

⁵ Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas, SP, Brasil. danielb@puc-campinas.edu.br.

⁶ Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC, Campinas, SP, Brasil. ricardoalves@puc-campinas.edu.br.

INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos e mudanças de conceitos socioeconômicos do último século impactaram diretamente nas alterações na cobertura do solo (CHOAY, 1965). Dessa forma, houve consequências ambientais que passaram a interferir na estabilidade climática, elevando o nível de poluição atmosférica, o qual está relacionado à geração excessiva de Gases de Efeito Estufa - GEE, desencadeando o fenômeno do aquecimento global (HOUGHTON; HACKLER, 2001; ROSEIRO; TANKAYANAGUI, 2004).

Nesse contexto, áreas urbanas podem ser caracterizadas como ambientes agressivos em decorrência da impermeabilização do solo, baixo índice de vegetação, tráfego intenso e significativa presença de indústrias. Além disso, essas áreas estão associadas a altos níveis de poluição atmosférica, vinculados às atividades econômicas, correspondendo a ambientes com baixa qualidade do ar e com constante emissão de poluentes na atmosfera. Impactos físicos ao meio ambiente também são identificados nessas áreas, interferindo diretamente no microclima e conforto ambiental, devido à ocorrência de eventos como ilhas de calor e “Canyons” urbanos, desencadeados pelo ambiente impermeabilizado e dificuldade da troca de temperatura e acesso a correntes de vento (STEWART; OKE, 2012; SAMPAIO et al., 2007).

Nos últimos anos, medidas de mitigação e monitoramento ambiental têm sido desenvolvidas e implementadas para melhorar a qualidade ambiental urbana (WMO, 2018). Dentre essas mitigações dos impactos ambientais, identifica-se a utilização de áreas verdes, caracterizadas por espaços livres, vegetação nativa, áreas permeáveis, podendo auxiliar na reposição de aquíferos, ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APPs), parques, praças e unidades de conservação urbanas (BRASIL, 2006). As áreas verdes podem, dessa forma, influenciar positivamente o comportamento das variáveis meteorológicas do microclima urbano, a partir do aumento de sombreamento local, albedo proporcionado pelas folhas e absorção de CO₂ (AMBRIZZI; ARAUJO, 2014; BOWLER et al., 2010).

No campo do monitoramento da qualidade ambiental, é imprescindível a análise da influência das áreas verdes em diferentes variáveis meteorológicas. Nesse sentido, o emprego de instrumentos e metodologias de aquisição de informação podem contribuir positivamente, podendo subsidiar tomadas de decisões relacionadas ao planejamento urbano

(LIU et al., 2017. CASTALDO et al., 2017).

Dentre as formas de coleta de informações em áreas urbanas, identifica-se o emprego de tecnologias de sensoriamento eletrônico, as quais têm ganhado destaque em decorrência do seu custo-benefício e da possibilidade de realização de medidas in-loco de forma simples, podendo ser aplicadas com estruturas fixas ou com auxílio de automóveis e coletas móveis de parâmetros meteorológicos. (WMO, 2018; SOEIRA, 2018; PULIAFITO, 2013).

No entanto, as aplicações de monitoramento necessitam de esforços que busquem a multidisciplinariedade para possibilitar a utilização e desenvolvimento dos medidores e sensores eletrônicos em estações meteorológicas para realização de coletas de grande volume de dados e análises por períodos suficientes para compreensão meteorológica de regiões específicas (CARMINATI et al., 2019; TUROLLA et al., 2019; PIOPPI et al., 2020; RASHID; REMANI, 2015).

Assim, esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma rede de sensores, composta por nós-sensores para avaliação de variáveis meteorológicas em áreas verdes urbanas, visando analisar e discutir a influência de áreas verdes no comportamento dos parâmetros de concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar. Os nós-sensores propostos tiveram como principais requisitos a possibilidade de monitoramento de diversas variáveis meteorológicas, o baixo-custo construtivo e a capacidade de armazenamento dos dados coletados. Outro atributo pertinente aos nós-sensores desenvolvidos, consiste na possibilidade de incorporação de diferentes sensores (expansão do nó sensor) capazes de coletar outras variáveis de interesse do usuário.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento dos nós-sensores.

Para o estudo meteorológicos, foram selecionados os parâmetros de umidade relativa do ar (U_{ar}), temperatura do ar (T_{ar}) e concentração de dióxido de carbono (CO₂) para a propor o desenvolvimento dos nós-sensores. É importante definir que os nós-sensores são elementos de uma rede de comunicação responsáveis por coletar dados de um determinado ambiente, processar e comunicar essas informações. Dessa maneira, os nós sensores são partes constituintes de uma rede de sensores. Neste trabalho, foi proposta uma rede de sensores cabeada, composta por dois nós-

sensores (Figura 1), para o monitoramento das grandezas citadas anteriormente, uma vez que as tecnologias de redes sem fio de baixo custo (um dos focos deste trabalho), após testadas em campo, não se mostraram adequadas para a transmissão robusta e eficaz dos dados coletados em ambiente outdoor e com a presença de obstáculos (especialmente a presença de edificações e muitas árvores).

Nesse trabalho, foram desenvolvidos dois nós-sensores, sendo um para monitoramento da T_{ar} e da U_{ar} (Figura 1A) e outro para o monitoramento da concentração de dióxido de carbono (Figura 1B). Os parâmetros U_{ar} e T_{ar}

foram coletados a partir do sensor DHT22 (Figura 1A), que possui, precisão de $\pm 2\%$ para a umidade e $\pm 0,5^\circ\text{C}$ para a T_{ar} (AOSONG ELECTRONICS, 2020). Foram, também, realizadas as medidas de concentração de CO_2 , utilizando o sensor MG811 (Figura 1B), que permite a identificação de até 10.000 partes por milhão (ppm) do gás (PARALLAX, 2010).

Além desses sensores, os nós-sensores foram constituídos por placas protoboard, microprocessadores (Arduino Nano V3 ATMEGA 328 Ch340), adaptadores de cartão SD, cartão SD para armazenamento de dados e bateria para alimentar o sistema.

Figura 1 – Nós-sensores desenvolvidos para o monitoramento da T_{ar} e da U_{ar} (A) e para o monitoramento da concentração de dióxido de carbono(B).



1) Protoboard

2) Adaptador de SD

3) Cartão SD (Armazenador de Dados)

4) Microprocessador

5 A) Sensor DHT22

5 B) Sensor MG811

6 A) Bateria 9V

6 B) Bateria 11V

Fontes: Os autores (2020).

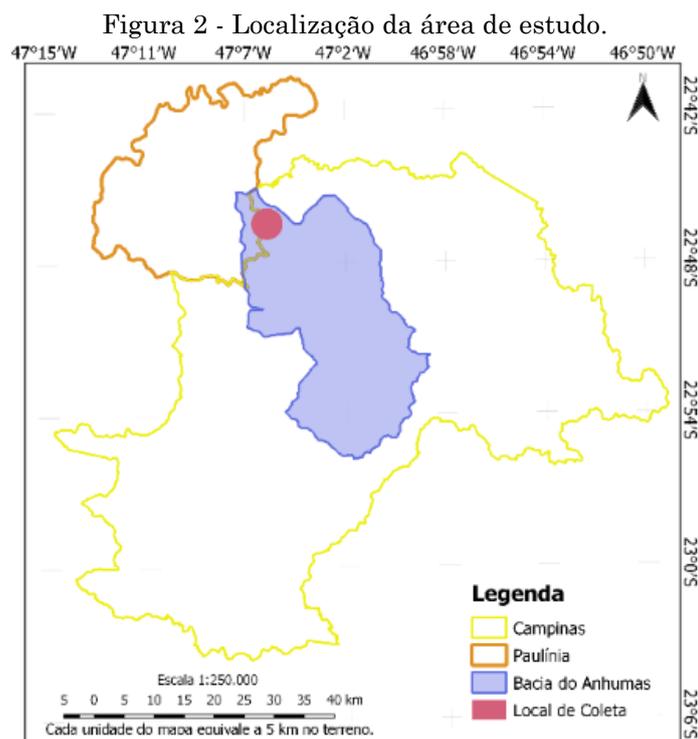
Além disso, foi desenvolvido um código em linguagem C, implementado no microprocessador Arduino, que permitiu o processamento dos dados coletados, o acionamento de chaves de contato para ativação dos nós-sensores, a realização da coleta de dados em intervalos de cinco segundos entre cada coleta e a geração de alerta de erro de coleta a partir do acionamento de um LED (*light emitting diode*) de cor vermelha.

Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho foi delimitada ao redor de uma APP localizada a Noroeste da bacia hidrográfica do rio Anhumas, marcada pela divisa dos municípios de Campinas e

Paulínia (SP) (Figura 2). A região encontra-se próxima à foz do rio Atibaia, na transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica, contendo terrenos compostos por Argissolos, com influência de diabásio, fragmentos de Mata Atlântica e extensa ocupação urbana (GOMES et al., 2004 apud FRANCISCO, 2006).

O clima local é representado pelas características típicas de zonas tropicais de baixa altitude, inverno seco e verão chuvoso com junho sendo o mês mais frio. A temperatura local varia a valores abaixo de 18°C no inverno e valores acima de 24°C no verão, se caracterizando como clima mesotérmico de inverno seco (Cwa) (FRANCISCO, 2006; JACOMAZZI, 2015).



Fontes: Os autores (2020).

A área foi delimitada e tratada com o auxílio do Software ArcGIS 10.3.1, a partir de ortofotos extraídas do Satélite CBERS 4a. Os mapas temáticos foram trabalhados em projeção geográfica plana SIRGAS 2000 UTM 23 sul. Foi inserido um ponto central dentro da APP e, a partir dessa localização, se expandiu um raio de 1.150 metros para demarcar a área de interesse, nas latitudes 22°45,8 e 22°47,1 Sul e longitudes 47°5,1 e 47°6,3 Oeste.

A caracterização da área experimental de estudo foi construída a partir da metodologia de Zonas Climáticas Locais – LCZ (Stewart e Oke, 2012). Essa classificação teve como objetivo determinar os tipos de áreas consolidadas com influência sobre variáveis meteorológicas. Dessa forma, foram identificadas as LCZs (Tabela 1) com características de florestas (LCZ-A), Corpos D'água (LCZ-G), Solo Exposto e Área Rural (LCZ-Cd), Zona Industrial (LCZ-8d) e Área Residencial (LCZ-3₂).

Tabela 1 - Informações detalhadas das LCZs identificadas.

Tipo	LCZ	Nomenclatura Stewart e Oke (2012)	Características
Solo Exposto	Cd	Arbustos (C); Plantação rasteira (D).	Mescla de vegetação rasteira, atividade agrícola, arborização espaçada e vazios urbanos
Atividades Comerciais e Industriais	8d	Estruturas altas e espaçadas (8); Plantação Rasteira (d).	Mescla de ambiente construído com espaçamento entre estruturas com altura de 15 metros e solo exposto
Residencial	3 ₂	Construções baixas e densas (3); Construções de altura mediana e densas (2).	Mescla de ambientes construídos (7 a 8 metros) com pouco espaçamento e baixa largura de vias
Floresta	A	Floresta densa	Arborização fechada
Corpo D'água	G	Água	Rios e Lagos

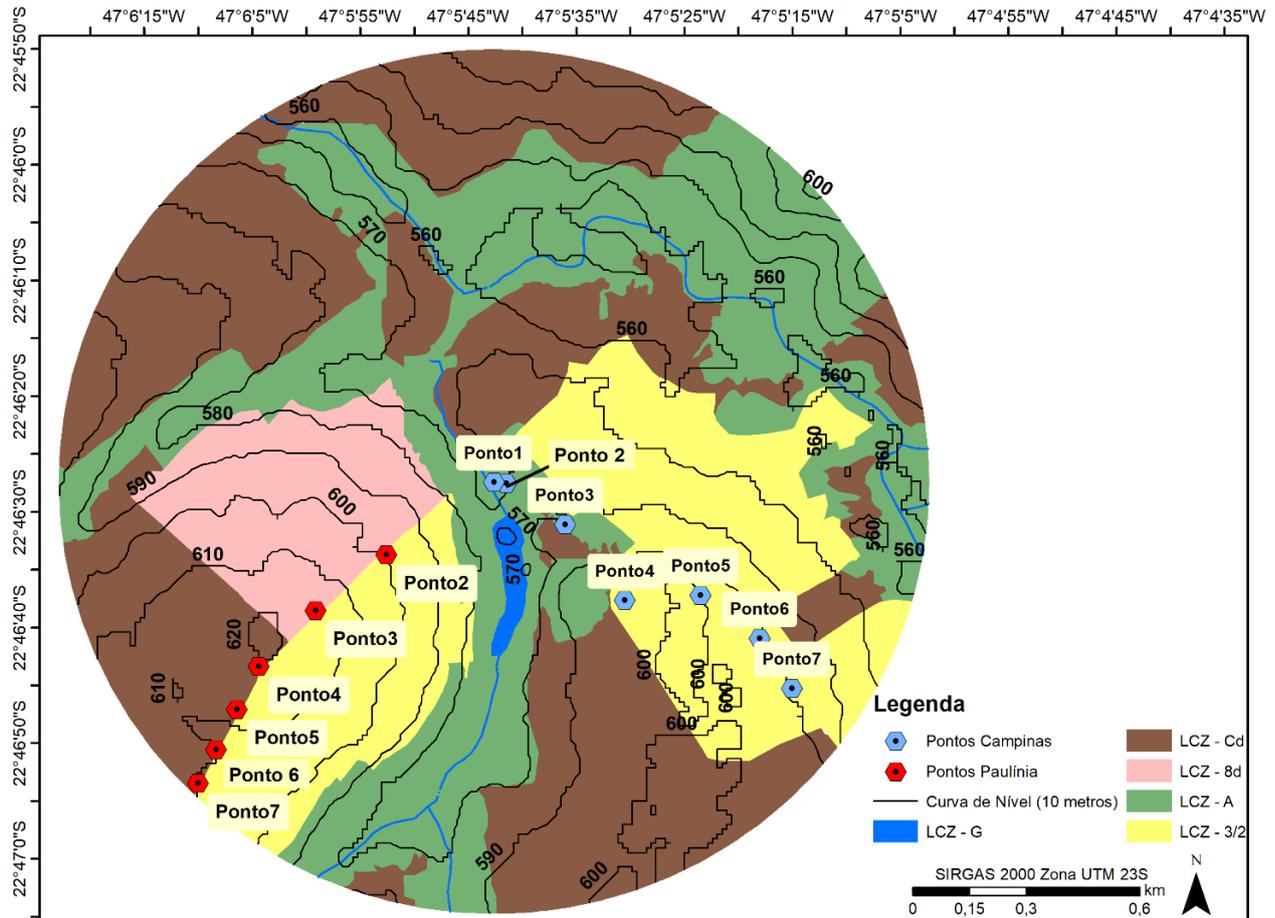
Fontes: Os autores (2020).

Distribuição dos pontos de coleta de dados

A distribuição dos pontos de coleta de dados foi realizada na parcela inferior da área de estudo (Figura 3), devido à facilidade de acesso, sendo instalados em locais públicos. Assim, a distribuição dos pontos de coleta utilizou o Ponto 1 como comum entre os dois municípios em que

foram feitas as coletas e 6 pontos adicionais e distintos para cada município (Campinas e Paulínia). Esses pontos foram posicionados de forma que se afastassem da APP e se introduzissem em morfologias diversas, com características distintas e, conseqüentemente, com possíveis diferentes influências com relação às variáveis meteorológicas monitoradas.

Figura 3 - Distribuição de pontos de coleta.



Fontes: Os autores (2020).

As coletas de dados foram realizadas nos dias 18 e 19 de julho de 2019, para a parcela de Campinas, e 27 de agosto de 2019 em Paulínia, sendo que todos os dias estavam com características de céu limpo e ensolarados. As coletas foram realizadas em dois períodos diferentes, sendo o matutino entre as 10:00hs e 11:30hs, buscando o momento com maior exposição da radiação solar, e o vespertino entre as 14:00hs e 16:00hs, possibilitando a coleta de dados nos momentos mais quentes do dia, permitindo analisar a contribuição das áreas verdes com o ambiente estudado (MOREIRA, 2015; LANDSBERG, 1956).

Para assegurar que a coleta de dados fosse feita dentro dos períodos estipulados e para reduzir a diferença de tempo entre as medições realizadas em cada um dos pontos de coleta,

optou-se pela aplicação da metodologia de coleta móvel com os nós-sensores, a partir do uso de um automóvel para a locomoção de ponto-a-ponto. A coleta em cada ponto teve a duração de três minutos e três minutos de adaptação do sensor a cada troca de localização ao transitar entre os pontos. Em cada ponto foi coletado uma amostra a cada 5 segundos, totalizando 36 amostras em cada ponto de coleta, o que atende aos requisitos da inferência estatística.

Análise de dados

A análise dos dados foi realizada após a apuração e corte de outliers utilizando o método do 1º e 3º quartil como referência para identificação de dados com anomalias, para garantir a confiabilidade do banco de dados. Os

parâmetros de T_{ar} e U_{ar} não apresentaram outliers, enquanto a concentração de CO_2 apresentaram alterações, podendo estar associadas ao pico de fluxo de automóveis, vento e/ou agricultura e outras interferências não mapeáveis na região, assim, havendo a necessidade de exclusão conforme o método aplicado (MARTINS, 2014).

Para a análise de dados, optou-se pela utilização do coeficiente de correlação de Spearman para compreender se há ou não correlação entre o comportamento dos parâmetros estudados e a distância da APP, possibilitando, assim, interpretações e análises mais robustas sobre a região em estudo (NESBITT, 2019; BRINDLEY et al., 2019). Destaca-se que se trata de um coeficiente não-paramétrico, adequado para a aplicação em análise, uma vez que é amplamente utilizado para funções monótonas (preservação da ordem-crescente ou decrescente).

Na espacialização dos resultados foi utilizado o método de Inverse Distance Weighting (IDW), sendo desenvolvido dentro de sistema de informações geográficas (SIG), o qual foi escolhido em decorrência da distribuição dos pontos não serem aleatórias e posicionados de forma retilínea devido a acessibilidade da região a áreas públicas, não permitindo a

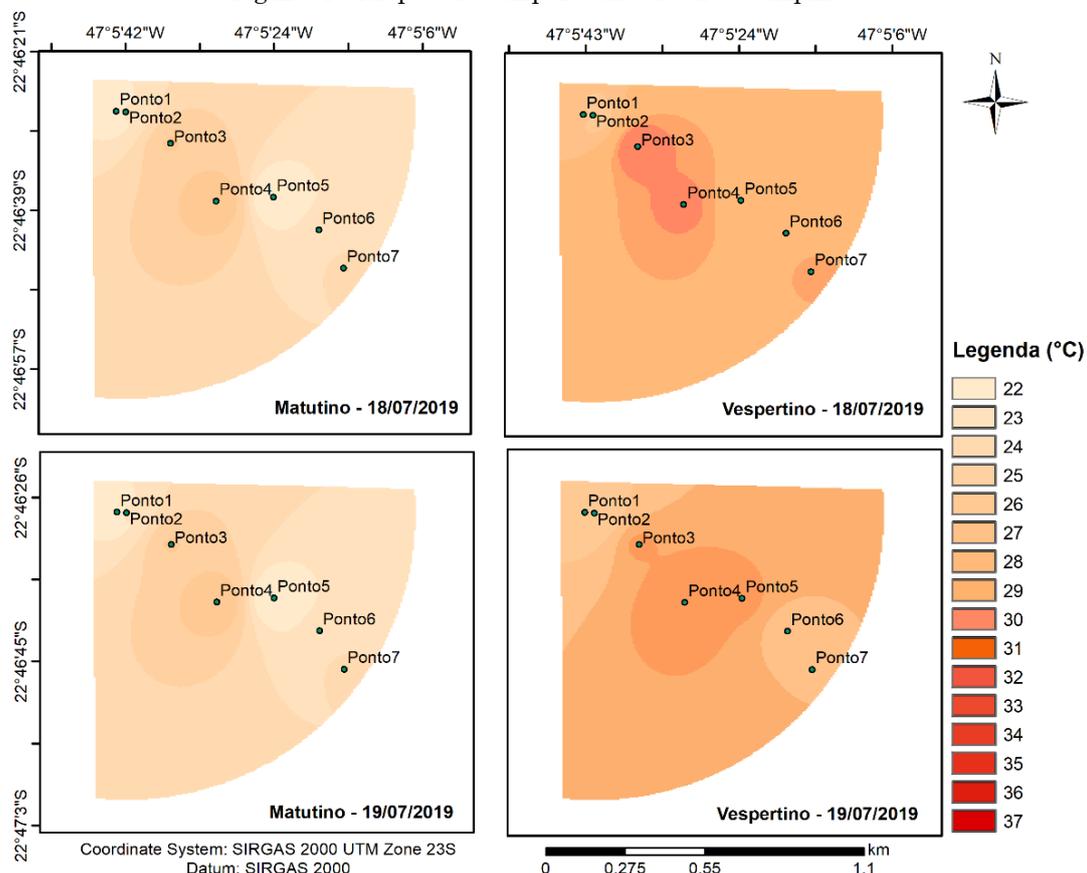
implementação de modelos robustos como a krigagem. O IDW consiste na relação de vizinhos, onde, assimila-se as características dos objetos próximos para estimar o comportamento ao seu redor, possibilitando espacialização dos parâmetros estudados (DEBIAZI; SOUZA, 2017; LIU et al., 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

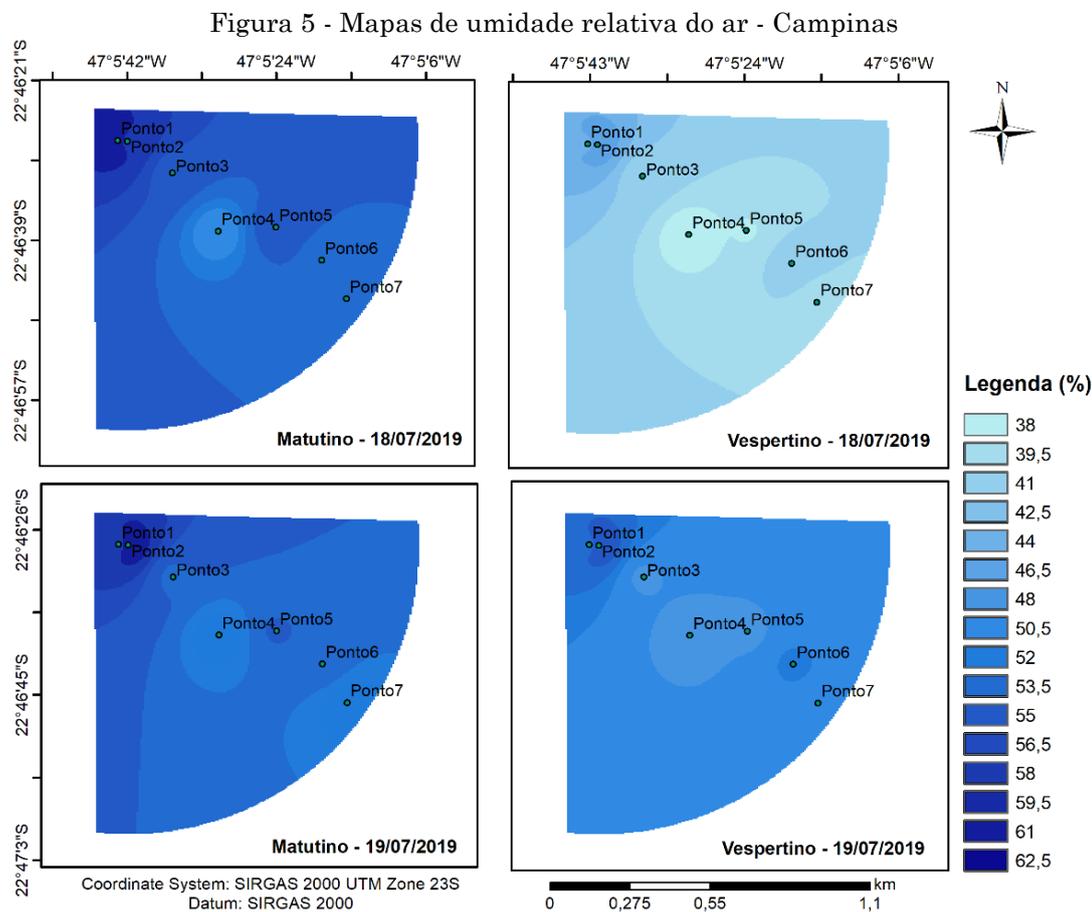
Analisando resultados obtidos relativos à T_{ar} e U_{ar} na parcela de Campinas nota-se que os locais mais quentes foram os pontos 3 e 4, enquanto os pontos 1 e 2 com menor temperatura, localizados próximo à APP (Figura 4). Ao comparar essas duas regiões nas Figuras 4 e 5, é possível observar o comportamento inversamente proporcional entre os parâmetros, ou seja, quando há o aumento da temperatura, observa-se a queda da umidade relativa do ar. Além disso, as maiores temperaturas foram registradas no período vespertino, enquanto que os maiores valores de umidade relativa do ar foram registrados no período matutino (Figura 5).

Figura 4 - Mapas de temperatura do ar - Campinas.



De forma geral, identifica-se o mesmo comportamento de T_{ar} (Figura 4), no período matutino, nos dias 18 e 19 de julho, enquanto para horário da tarde, observa-se comportamentos similares, tendo o foco de temperatura mais elevada próximo da região do

ponto 4. Em relação à umidade relativa do ar (Figura 5), observou-se o comportamento similar no período da manhã, enquanto nas coletas vespertinas pôde-se observar maiores níveis de umidade no dia 19, comparado ao dia 18 de julho de 2019.



Ao observar os resultados de T_{ar} , do período vespertino, no dia 18/07/2019, observa-se temperaturas maiores nos pontos 7, 3 e 4 e temperaturas menores nos pontos 1 e 2 (mais próximos da APP). Observa-se, também, significativa diferença (2 a 5°C) da temperatura entre a região próxima à APP (1 e 2) e dos demais pontos. Esse mesmo comportamento também pode ser observado na U_{ar} , onde os maiores valores foram coletados nos pontos 1 e 2, evidenciando, novamente, a relação inversamente proporcional existente entre os parâmetros. Sendo assim, destaca-se que a presença da APP influencia os parâmetros de T_{ar} e U_{ar} , uma vez que os pontos 1 e 2 apresentaram as menores T_{ar} e as maiores U_{ar} .

As temperaturas elevadas baixa umidade apresentadas pelos pontos 3 e 4 não eram esperadas, devido à caracterização da região, composta pela proximidade à APP, áreas rurais e com pouco ambiente construído. No entanto,

segundo Hüb *et al.* (2014) e Liu *et al.*, (2017), a resposta dada pelo sensor pode ter sido influenciada pela exposição direta do sensor aos raios ultravioletas, ainda que por três minutos de coleta. Assim, o ideal seria encapsular/proteger o nó-sensor com materiais que tenham alto índice de refletância e com aberturas para evitar a radiação direta.

Analisando os dados coletados no dia 19/07/2019 (Figura 4 e 5), pode-se identificar o mesmo comportamento em ambos os períodos de coleta (matutino e vespertino), porém com características de um dia mais quente. Dessa forma, observa-se um maior distanciamento dos valores de T_{ar} e U_{ar} nos pontos 1 e 2 em relação aos demais pontos de coleta. O pico de temperatura no ponto 4 se manteve apenas no período matutino, enquanto, no período vespertino, pode-se observar que os pontos afastados da APP mantiveram comportamentos similares.

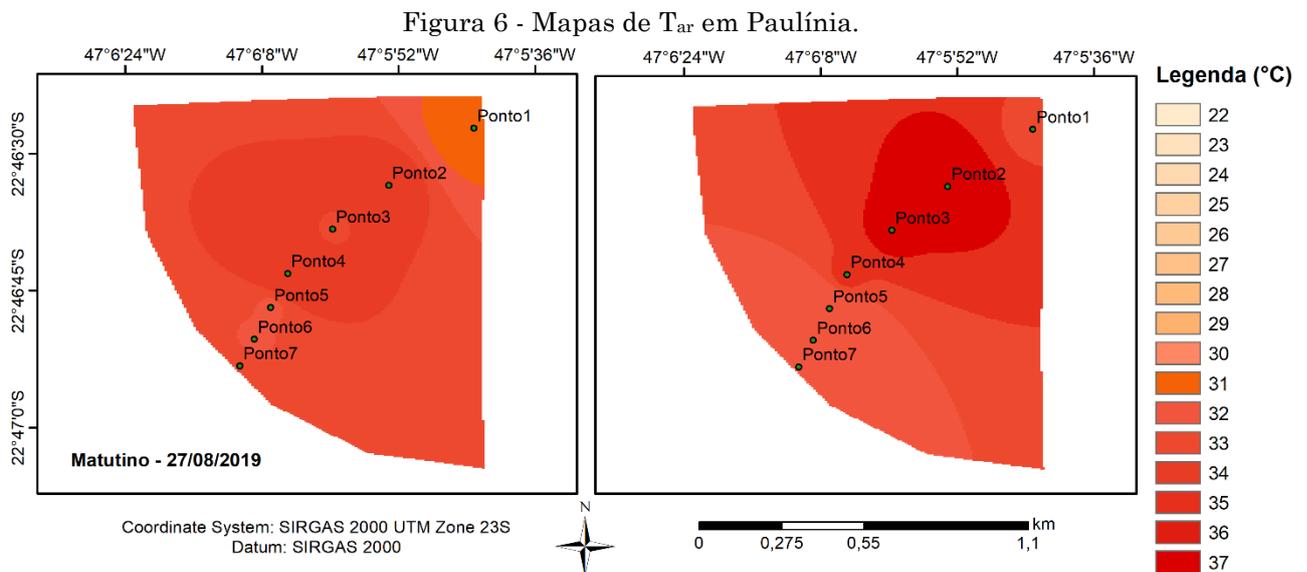
Os pontos 6 e 7 (área construída) apresentaram valores não esperados de T_{ar} , tendo apresentado temperaturas relacionadas aos pontos 1 e 2 (mais próximos à APP). Nesse sentido, estudos indicam possíveis interações associadas à direção e velocidade do vento, podendo impactar na temperatura do ar, destacando, dessa forma, a necessidade da consideração, também, desses parâmetros (PULIAFITO *et al.*, 2013).

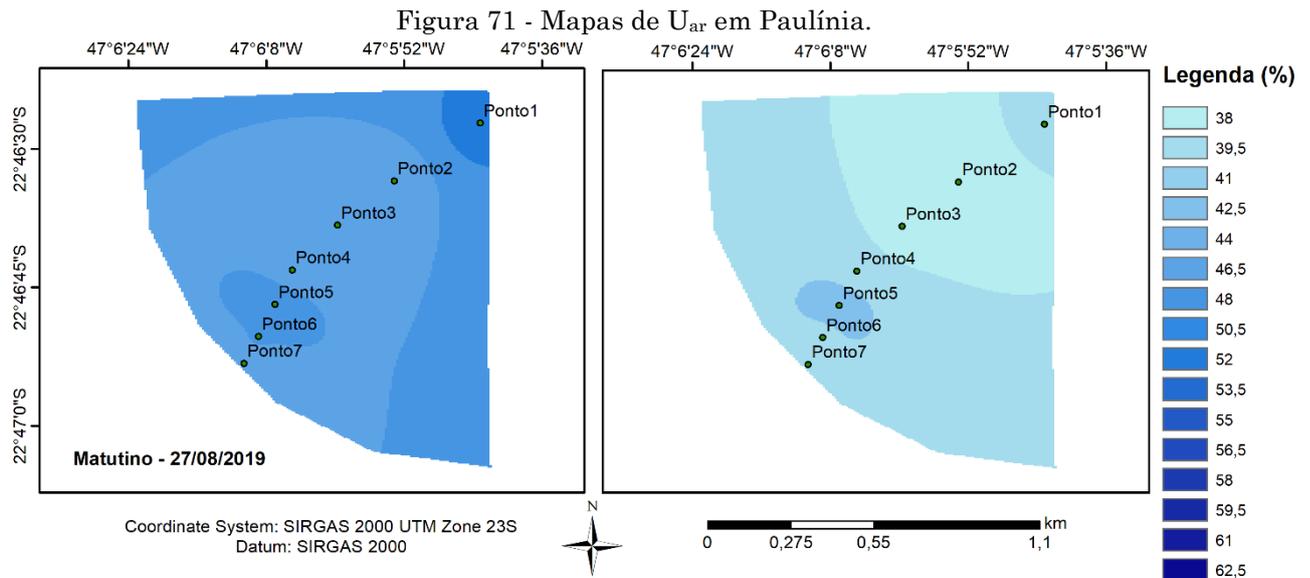
Na região do ponto 5, foram identificadas características semelhantes com os pontos 1 e 2 no período matutino (temperaturas menores e umidade elevada). Para o período vespertino, o ponto 5 apresentou dados de temperatura semelhantes aos dos pontos com características mais quentes, sem vegetação e com áreas construídas.

Ao analisar os dados referente a Paulínia (27/08/2019) observa-se (Figura 6) quatro diferentes comportamentos de temperatura. O primeiro no ponto 1, localizado na APP, caracterizado com menor temperatura entre todos os pontos de coleta no período matutino, enquanto a coleta vespertina apresentou

comportamento semelhante ao dos pontos 5, 6 e 7, localizados próximos à área com atividade agrícola e estrada com grande fluxo de veículos. Foi identificado nos pontos 2, 3 e 4, localizados entre áreas mais construída e sob influência de uma área demarcada para atividades agrícolas, as regiões com maiores valores de T_{ar} e menores de U_{ar} .

Além disso, pode-se observar ponto 5 um comportamento diferente entre o período matutino e vespertino. Essa região possui características similares aos pontos 6 e 7, com proximidade a uma via expressa com fluxo de automóveis de médio e grande porte, condomínio à direita e área agrícola à esquerda. As medidas coletadas no ponto 5 apresentaram semelhanças com os pontos 6 e 7 no período matutino com a média de 33 a 34°C de T_{ar} e U_{ar} de, aproximadamente, 46%. Porém, às 15:00, os dados coletados no ponto 5 se comportaram de forma diferente e se aproximando das características verificadas no ponto 1. Esse pode estar associado à ocorrência de ventos, assim, evidenciando a necessidade de monitoramento dessa variável (PULIAFITO *et al.*, 2013).





A região dos pontos 6 e 7 (Figura 6 e 7) envolve um misto de vegetação, atividade agrícola, fluxo constante de veículos de médio e grande portes e condomínios. Dessa forma, para essa área, esperava-se níveis mais elevados de temperatura, porém, os parâmetros apresentaram o melhor resultado da região de Paulínia (temperaturas menores e umidades maiores). Isso pode ser justificado pela influência de ventos e ausência do fenômeno de “Canyon” urbano nessa área. De fato, para a região dos pontos 5, 6 e 7, em decorrência de sua proximidade com áreas rurais, o fenômeno de Canyon não acontece da mesma forma como nos demais pontos de Paulínia, podendo, assim, reduzir a quantidade de calor armazenado em asfaltos e muros, devido à atividade agrícola consolidada na região. Além disso, pela região estar associada a essa atividade e por possuir solo com vegetação rasteira, possibilita a influência de ventos, podendo, também, contribuir para a redução de temperaturas (SOEIRA, 2018; GRIMMOND; OKE, 1999).

No geral, pode-se observar que a localização da APP não teve grande efeito nos pontos instalados na parcela de Paulínia, com exceção do ponto 1, localizado ao lado da APP. Nesse sentido, nota-se que os pontos 2, 3 e 4 apresentaram níveis mais elevados de T_{ar} e menores de U_{ar} , estando possivelmente condicionados à sua localização entre condomínios e área de atividade econômica industrial. A região dos pontos 2, 3 e 4. Os pontos 1, 5, 6 e 7 apresentaram temperatura inferior às

outras regiões, o que pode ser explicado pela presença de vegetação nessa área.

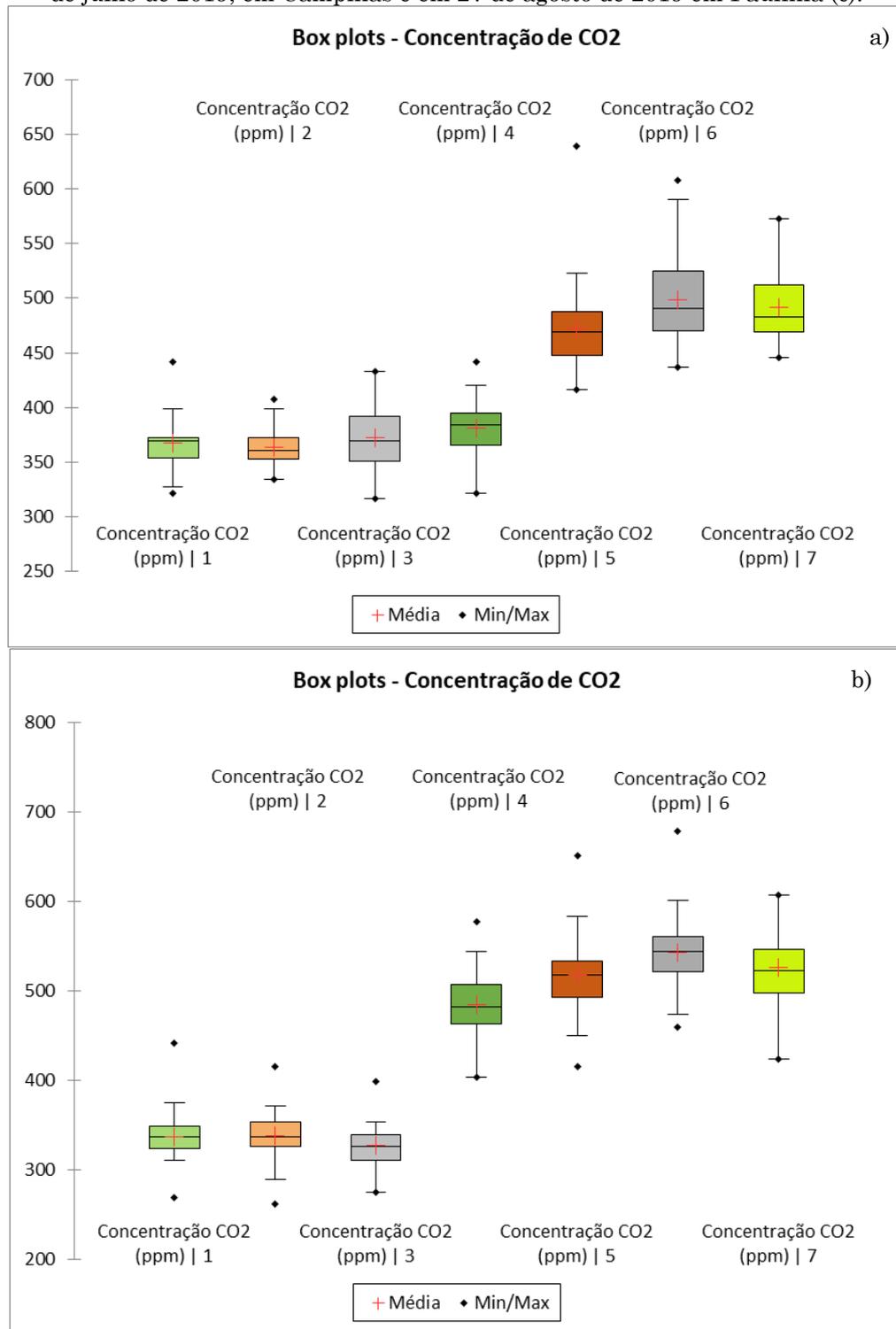
É importante destacar que os mapas ilustram (Figura 6 e 7), de forma clara, o comportamento dos pontos 5, 6 e 7, que apresentaram condições amenas de U_{ar} e T_{ar} no período vespertino, se assemelhando ao comportamento do ponto 1 ao lado da APP.

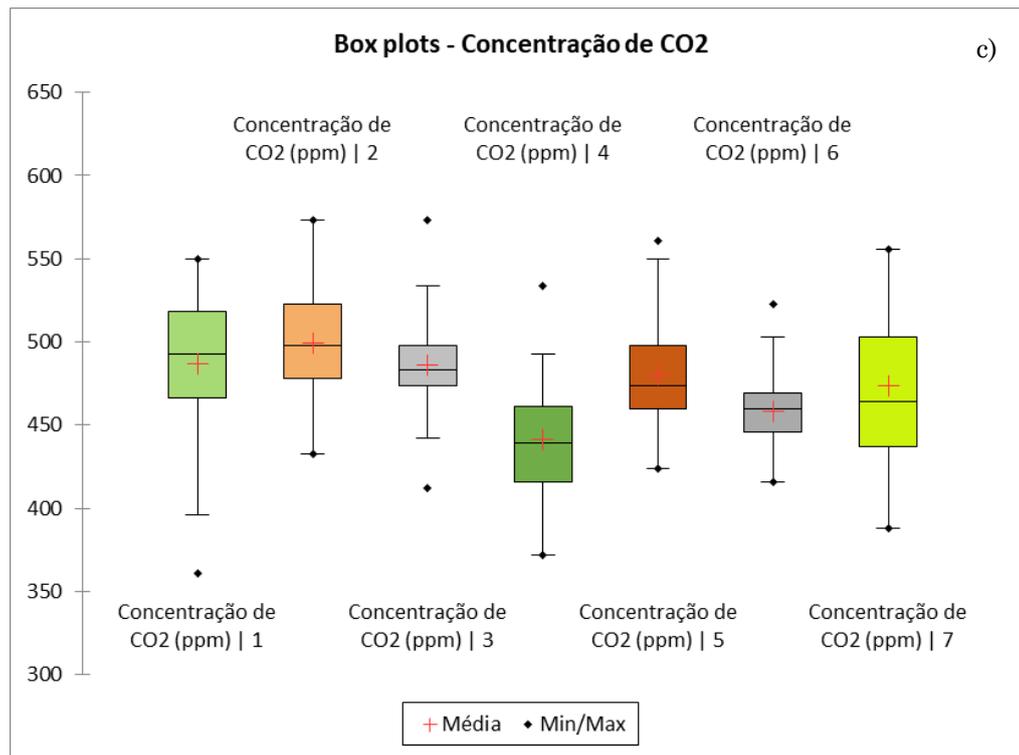
Concentração de CO_2

Os resultados referentes às coletas de concentração de CO_2 no dia 18 de julho de 2019 na parcela de Campinas (Figuras 8a e 9) possibilitaram observar, no período matutino, dois grupos distintos, sendo o primeiro com médias mais baixas, entre 350 e 400 ppm nos pontos 1,2,3 e 4, enquanto o segundo (5, 6 e 7), localizados integralmente dentro de uma área residencial ao lado da estrada, com médias de concentração variando entre 450 a 500 ppm. Sendo assim, é identificado menores concentrações estando associadas à proximidade dos pontos de coleta com a APP e as concentrações elevadas em ambientes residenciais e impermeabilizados.

Para os resultados vespertinos do 18 (Figuras 8b e 9), é possível observar características similares ao período matutino, no entanto, o ponto de coleta 4 teve um aumento de concentração de CO_2 de uma média de 400ppm, no período matutino, para cerca de 500ppm e se aproximando dos pontos distantes da APP.

Figura 8 - Gráficos Box Plot de concentração de CO₂ no período matutino (a) e vespertino (b) em 18 de julho de 2019, em Campinas e em 27 de agosto de 2019 em Paulínia (c).





Fonte: Os autores (2020).

A diferença de concentração CO₂ entre os dois períodos encontradas no ponto 4, próximo de atividades agrícolas, pode estar atrelada à diferença de temperatura e saturação de calor sobre o solo, podendo aumentar o nível de emissão de CO₂ por decomposição de matéria orgânica no solo. Dentro dessa justificativa, Landsberg (1956) e Moreira et. al (2015) destacam as 15:00 horas como sendo o horário ideal devido a temperatura estar próxima dos 30°C e umidade 60%, dessa forma, fazendo com que a ação de microorganismos e decomposição da matéria orgânica aumente, gerando maior disponibilidade de CO₂ na região estudada.

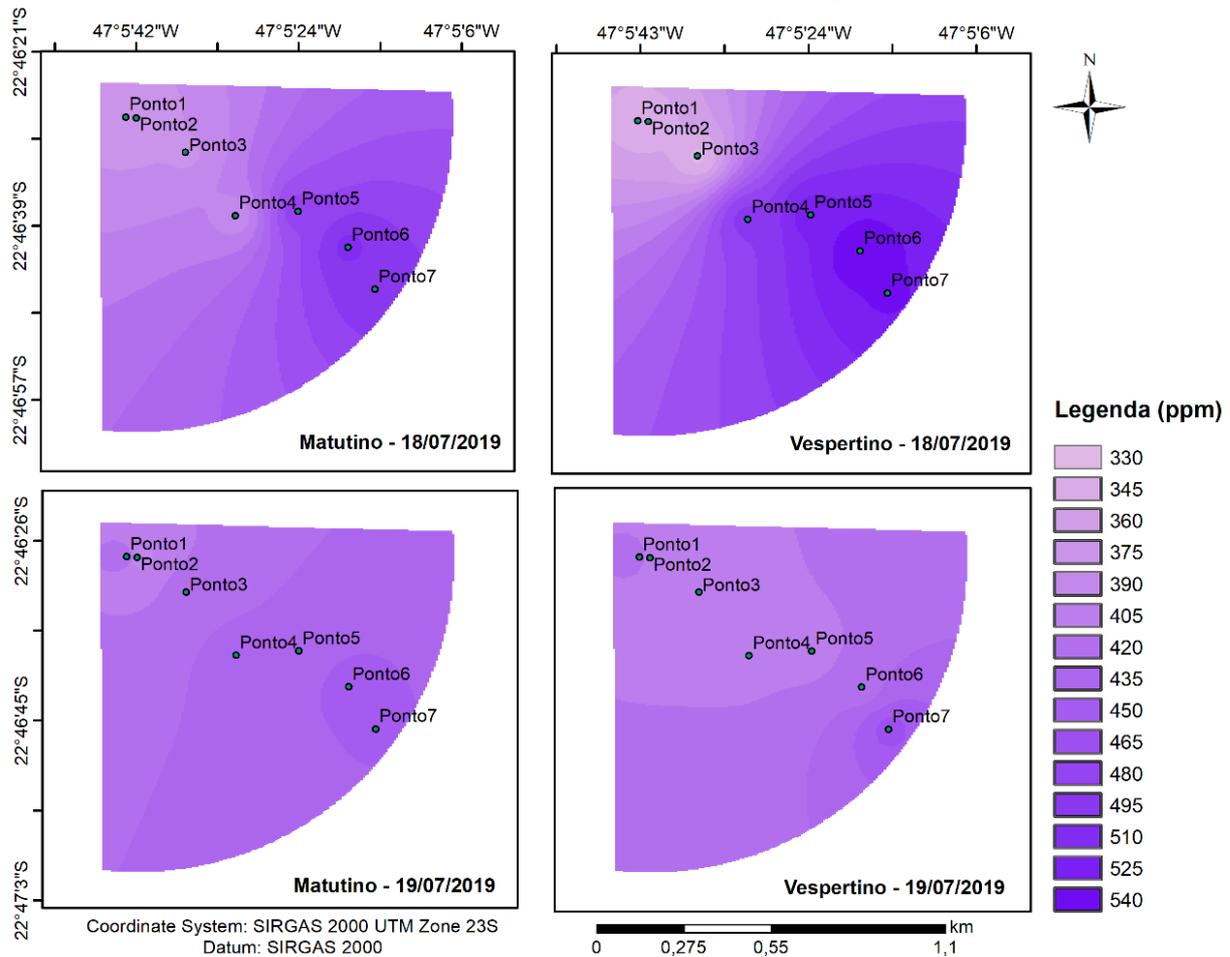
Nos resultados do dia 19/07/2019 (Figura 9), nos períodos de manhã e tarde, não foi identificada nenhuma discrepância entre os pontos de coleta, com algumas ressalvas para os dados dos pontos 6 e 7 no período que apresentaram a concentração de CO₂ ligeiramente acima dos demais pontos. No período vespertino, pode-se visualizar uma média destacadamente maior que as outras nas medidas do ponto 7. Ambos os pontos (6 e 7) têm como características principais a sua proximidade com a estrada com tráfego constante de automóveis de médio e grande portes, corroborando para o resultado.

No âmbito geral, em Campinas, se identificou no dia 18 (Figura 9) níveis maiores de CO₂, com destaque principal para os pontos 5, 6 e 7 localizados próximos a estrada com fluxo constante de veículos de médio e grande porte.

Ao analisar os resultados de Paulínia (Figuras 8c e 10) observou-se níveis de concentração de CO₂ mais próximos entre si. No entanto, nota-se valores menores de CO₂ nos pontos 5, 6 e 7, se comparados aos pontos 1, 2 e 3. Apesar do contato próximo dos pontos 5, 6 e 7 com fluxos intenso de veículos, o que poderia elevar o teor de CO₂, não sofreu com o aumento excessivo de CO₂ devido à proximidade com áreas rurais, as quais podem ter contribuído para a redução da concentrações de CO₂ em decorrência da absorção de CO₂ pelos vegetais e constante ventilação (CASTALDO et al., 2017; BOWLER et al., 2010).

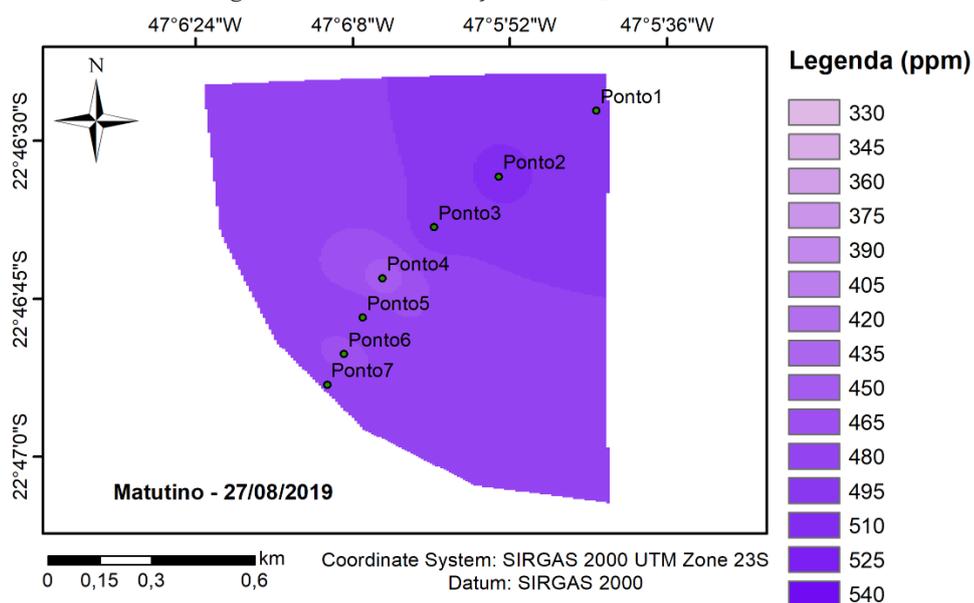
Pode-se destacar, ainda, que os níveis de CO₂ foram mais elevados em Paulínia do que em Campinas. Os dados coletados nos dias 18 e 19 indicaram menor concentração de CO₂ próxima às áreas verdes, onde vale a pena reiterar a interação da área agrícola perto dos pontos 5, 6 e 7, onde estavam constantemente em contato fluxo intenso de automóveis.

Figura 9 - Concentração de CO₂ em Campinas



Fonte: Os autores (2020).

Figura 10 - Concentração de CO₂ em Paulínia



Fonte: Os autores (2020).

Análise da influência da APP no comportamento das variáveis meteorológicas.

Os resultados da análise da influência da distância da APP em Campinas (Tabela 2) na T_{ar}, U_{ar} e CO₂ determinados conforme a correlação de Spearman apresentaram correlação positiva

para as variáveis de T_{ar} e CO_2 , indicando que quanto maior a distância da APP maiores são os valores desses parâmetros. Já as correlações negativas foram identificadas na U_{ar} , indicando a redução de umidade conforme os pontos se afastavam da APP e alcançavam áreas mais impermeabilizadas.

Já para a parcela de Paulínia (Tabela 2), observou-se correlação nula para a T_{ar} no período matutino, indicando não haver influência da distância da APP no comportamento dessa variável. No período vespertino a correlação foi negativa, indicando que quanto maior a distância da APP, menores

são os valores da T_{ar} . Para a umidade a correlação foi negativa no período matutino enquanto no período vespertino o comportamento foi positivo, indicando que quanto maior a distância da APP maiores são os valores da U_{ar} , ilustrando a importância das áreas agrícolas para região estudada de Paulínia.

Com relação à concentração de CO_2 , no período matutino, observa-se uma correlação negativa no período matutino, indicando que quanto maior a distância da APP, menores são os valores da concentração de CO_2 .

Tabela 2 - Correlação de Spearman

Dias Coleta	Período	Correlação de Spearman		
		Temperatura do Ar x Distância	Umidade Rel. do Ar x Distância	Concentração de CO_2 x distancia
18/jul Campinas	Matutino	0,071	-0,714	0,929
	Vespertino	0,357	-0,536	0,857
19/jul Campinas	Matutino	0,536	-0,571	0,821
	Vespertino	0,393	-0,321	0,536
27/ago Paulínia	Matutino	0	-0,143	-0,714
	Vespertino	-0,679	0,679	-

Fonte: Os autores (2020).

Análise da Rede de Sensores implementada

Para a implementação da rede de sensores, foram realizados, inicialmente, testes de campo com tecnologias sem fio de baixo custo (padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4, especificamente), uma vez que esse era um dos focos do trabalho. Estes testes evidenciaram que as tecnologias sem fio de baixo custo utilizadas não eram adequadas para a aplicação proposta, em virtude do ambiente de coleta de dados ser outdoor com a presença de obstáculos à transmissão de dados variados (edificações e vegetação de portes diferentes).

Visando viabilizar o monitoramento das grandezas citadas anteriormente, propôs-se a utilização de uma rede de sensores cabeada, a partir da implementação de dois nós-sensores distintos. A rede implementada atendeu a todos os requisitos propostos como objetivo, possibilitando o monitoramento de diversas variáveis meteorológicas, com baixo-custo construtivo e com capacidade de armazenamento dos dados coletados. Mais ainda, os nós-sensores foram desenvolvidos de modo a possibilitarem a incorporação de novos diferentes sensores (expansão do nó-sensor)

capazes de coletar outras variáveis que passem a ser de interesse do usuário.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, conclui-se que:

- Os nós-sensores propostos e implementados foram capazes de coletar adequadamente a temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentração de CO_2 , visando a avaliação dessas variáveis meteorológicas em áreas verdes urbanas.
- Foi possível, também, verificar a contribuição da APP nas variáveis coletadas na parcela de Campinas, identificando sua influência para a redução da temperatura do ar e da concentração de CO_2 e para o aumento da umidade relativa do ar nessa região.
- Para a parcela de Paulínia, a APP não demonstrou grande influência nas variáveis coletadas, porém, as áreas de atividade rural indicaram possível

contribuição para o microclima e para a concentração de CO₂.

É importante enfatizar que os nós-sensores desenvolvidos atenderam os requisitos de boa capacidade de armazenamento e baixo-custo (cerca de 75 % mais baratos que os sistemas de medição disponíveis comercialmente). Além disso, permitem expansões futuras com a incorporação de novos sensores para a medição de grandezas de interesse.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se destacar (a) a incorporação de outros sensores aos nós-sensores desenvolvidos, que permitam o monitoramento de variáveis como a direção e a velocidade do vento, (b) a realização de estudos para a verificação da influência das áreas agrícolas dessa região nas variáveis meteorológicas analisadas e na concentração de CO₂, (c) construir uma proteção/encapsulamento para os sensores DHT22 para garantir a não alteração dos dados por exposição solar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à PUC-CAMPINAS pelo suporte financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.

FINANCIAMENTO

PUC-Campinas – Bolsa de Mestrado

REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T., ARAUJO, M., **Base científica das mudanças climáticas: Contribuição do grupo de trabalho 1 do painel brasileiro de mudanças climáticas ao primeiro relatório da avaliação nacional sobre mudanças climáticas**. PBMC, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 464 pp. 2014.
- ALONZO, M. MCFADDEN, J. P.; NOWAK, D. J.; ROBERTS, D. A. Mapping urban forest structure and function using hyperspectral imagery and lidar data. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 17, p. 135-147, June 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.003>
- AOSONG ELECTRONICS. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module: DHT22 (DHT22 also named as AM2302)**. Available in: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. Access on: May, 2nd, 2019.
- BOWLER, D. E.; BUYUNG-ALI, L.; KNIGHT T. M.; PULLIN, A. S. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence.: A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, [s.l.], v. 97, n. 3, p. 147-155, Elsevier BV. September 2010. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006. **Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP**. Brasília. Diário Oficial da União, March, 29th 2006.
- BRINDLEY, P. CAMERON, R.W.; ERSOY, E.; JORGENSEN, A.; MAHESWARAN, R. Is more always better? Exploring field survey and social media indicators of quality of urban greenspace, in relation to health. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 39, p. 45-54, March 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.015>.
- CAMPINAS. Lei complementar nº 189, de 08 de janeiro de 2018. **Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico do município de Campinas**. Prefeitura Municipal. Diário Oficial do Município January, 8th 2018.
- CARMINATI, M. KANOUN, O.; ULLO, S. L.; MARCUCCIO, S. Prospects of Distributed Wireless Sensor Networks for Urban Environmental Monitoring. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 44-52, 1 jun. 2019. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. <http://dx.doi.org/10.1109/maes.2019.2916294>.
- CASTALDO, V. L. PISELLO, A. L.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLI, C.; COTANA, F. Microclimate and air quality investigation in historic hilly urban areas: experimental and numerical investigation in central italy: Experimental and numerical investigation in central Italy. **Sustainable Cities and Society**, [s.l.], v. 33, p. 27-44, ago. Elsevier BV, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.017>
- CHOAY, F. O Urbanismo: Utopias e Realidades, uma Antologia. 7^aed. São Paulo. **Perspectiva**, 2013.
- DEBIAZI, P. R.; SOUZA, L. C. L. Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o

- ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 215-232, October/ December 2017. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400194>
- FOLEY, J.A. DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. T.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; PETER, SNYDER, P. K.; Global consequence of land use. Washington. **Science**, v. 309, p. 570-574, July, 22nd 2005. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- FRANCISCO, C. E. S. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**, 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Pós-Graduação - IAC, Campinas, 2006.
- HÄB, K.; RUBBELL, B. L.; A, MIDDEL. Sensor lag correction for mobile urban microclimate measurements. **Urban Climate**, [s.l.], v. 14, p. 622-635, December, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.003>
- HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L. **Carbon Flux to the Atmosphere from Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850 to 1990**. ORNL/CDIAC-131, NDP-050/R1. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. 2001. <https://doi.org/10.3334/CDIAC/lue.ndp050.2008>
- GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. **Journal of Applied Meteorology: American Meteorological Society**, Vancouver, v. 38, p.1262-1292, September 1999. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1262:APOUAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1262:APOUAD>2.0.CO;2)
- JACOMAZZI, M. A. **Avaliação de cenários para elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana Estudo de caso: bacia do ribeirão das Anhumas em Campinas SP**. 2015. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2015.
- KONONOVA, M. M. **Humus of virgin and cultivated soils**. In J. E. Gieseking (Ed.), Soil components, v.1, p.110. p475-526, 1975. https://doi.org/10.1007/978-3-642-65915-7_8
- LANDSBERG, H.E. **The climate of towns. 1956** In: Thomas Jr., W.L. (Ed.), Man's Role in Changing the Face of the Earth. Univ. Chicago Press, Chicago, pp. 584-606.
- LIU, L.; LIN, Y.; LIU, J.; WANG, L.; WAND, D.; SHUI, T.; CHEN, X.; WU, Q.; Analysis of local-scale urban heat island characteristics using an integrated method of mobile measurement and GIS-based spatial interpolation. **Building and Environment**, v. 117, p. 191-207, May 2017. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.013>
- MARTINS, M.E.G. Quartis. **Revista de Ciência Elementar**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 1-3, 30 dez. 2014. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2014.268>.
- MOREIRA, P. S. P.; DALACORT, R.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, R. J.; CARVALHO, M. A. C.; BARBIERI, J. D. Ciclo diário de variáveis meteorológicas nos biomas do estado de mato grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Tangará da Serra, v. 17, n. 1, p.173-188. 2015. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41159>
- NESBITT, L.; MEITNER, M. J.; GIRLING, C.; SHEPPARD, S. R. J.; LU, Y. Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional green equity in 10 US cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 181, p. 51-79, January. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.007>
- OKE, T. R. **Instruments and Observing Methods Report: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. 81. ed. Canadá: World Meteorological Organization, 51 f. 2006.
- PARALLAX. **CO₂ Gas Sensor Module (#27929)**. Available: <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/2082898.pdf>. Access on: May, 28th 2019.
- PIOPI, B.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. L. Data collected by coupling fix and wearable sensors for addressing urban microclimate variability in an historical Italian city. **Data In Brief**, v. 29, p. 105322, abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105322>.
- PULIAFITO, S. E.; BOCHACA, F. R.; ALLENDE, D. G.; FERNANDEZ, R. Green Areas and Microscale Thermal Comfort in Arid Environments: a case study in mendoza, argentina: A Case Study in Mendoza, Argentina. **Atmospheric and Climate Sciences**, [s.l.], v. 03, n. 03, p. 372-384, 2013. <https://doi.org/10.4236/acs.2013.33039>.
- RASHID, B. REHMANI, M. H. Applications of wireless sensor networks for urban areas: a survey.: A survey. **Journal Of Network And Computer Applications**, [s.l.], v. 60, p. 192-219, jan. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2015.09.008>

- ROSEIRO, M. N. V.; TAKAYANAGUI, A. M. M. Meio ambiente e poluição atmosférica: O caso da cana-de-açúcar. *Saúde*, Vol. 30 (1-2), p. 76-83, 2004.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, [s.l.], v. 34, n. 17, p. 1-7, September, 13th 2007. American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>
- SOEIRA, M. R. C. **A relação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar em diferentes zonas climáticas locais**. 2018. 115f. Dissertação (Mestrado em sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- TAVARES, R. L. M. **Emissão de CO₂ e atributos físicos, químicos e manejo microbiológicos do solo em sistemas de manejo de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado - Faculdade de Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 100p. 2014.
- TUROLLA, A. MAURO, M. D.; MEZZERA, L.; ANTONELLI, M.; CARMINATI, M. Development of a Miniaturized and Selective Impedance Sensor for Real-Time Slime Monitoring in Pipes and Tanks. **Sensors And Actuators B: Chemical**, [S.L.], v. 281, n. 1, p. 288-295, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2018.10.107>.
- WMO. **Guide to Climatological Practices - Volume I. Measurement of meteorological Variables**. Secretariat of the World Meteorological Organization (WMO), Geneva, 8 ed. 2018.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Jô Vinícius Barrozo Chaves, Lia Toledo Moreira Mota, Regina Márcia Longo, elaboraram a metodologia. Jô Vinícius Barrozo Chaves, Lia Toledo Moreira Mota, José Ricardo Alves, Daniel Braga Barros, esquematizaram, planejaram e construíram os nós-sensores. Jô Vinícius Barrozo Chaves, realizou a caracterização da área de estudo, coleta de dados em campo e aplicação de métodos estatísticos. Jô Vinícius Barrozo Chaves; Mota, Lia Toledo Moreira Mota, Admilson Írio Ribeiro redigiram 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.