

O efeito de resfriamento causado pela arborização como uma solução para o aquecimento urbano: um estudo de caso em Teresina, estado do Piauí, Brasil

The cooling effect from afforestation as a solution to urban heating: a case study in Teresina, Piauí state, Brazil

El efecto de enfriamiento de la forestación como solución al calentamiento urbano: un caso de estudio en Teresina, estado de Piauí, Brasil

Recebido: 02/10/2020 | Revisado: 07/11/2020 | Aceito: 09/11/2020 | Publicado: 14/11/2020

Thaís Rodrigues Ibiapino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6595-1136>

Universidade Paulista, Brasil

E-mail: thais.ibiapina@hotmail.com

Irenilza de Alencar Nääs

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0663-9377>

Universidade Paulista, Brasil

E-mail: irenilza@gmail.com

Resumo

Áreas verdes nos centros urbanos podem contribuir para o controle térmico das “ilhas de calor urbanos”. Dentro de um contexto de mudanças climáticas, com o crescente aumento das temperaturas, climas mais secos e ondas de calor cada vez mais frequentes, as áreas verdes assumem uma importância cada vez maior, visto que são capazes de criar um efeito de resfriamento que pode se estender por suas áreas próximas. Este estudo analisa dentro do “polo de saúde” da cidade de Teresina, uma área com uma densidade urbana alta, como a arborização da região afeta o aspecto térmico da região selecionada. Parâmetros climáticos foram medidos (temperatura geral, sensação térmica, umidade relativa do ar, velocidade do vento) em pontos selecionados dentro de uma área delimitada, iniciando pelas extremidades ao centro desta área, todos os pontos possuíam diferentes orientações e exposição ao sol. Foi averiguado que nas áreas onde a arborização era existente as temperaturas eram mais baixas tanto na sombra como em exposição ao sol. Apesar das condições climáticas locais, em particular da baixa velocidade do vento, a exposição ao sol e a geometria urbana são os fatores principais que influenciam nas temperaturas encontradas. O efeito de resfriamento

causado pela arborização urbana pode ser mais bem compreendido com medições adicionais em diferentes épocas do ano na mesma região.

Palavras-chave: Conforto térmico; Ilhas de calor; Orientação solar.

Abstract

Green areas in urban centers can contribute to the thermal control of “urban heat islands.” Within the context of climate change, with rising temperatures, drier climates, and increasingly frequent heat waves, green areas are becoming progressively important, as they can create a cooling effect that might extend into its surrounding areas. This study analyzes within the “health pole” of the city of Teresina, an area with a high urban density, how the afforestation of the region affects the thermal aspect of the selected region. Climatic parameters were measured (ambient temperature, thermal sensation, the relative humidity of the air, wind speed) at selected points within a defined area, starting at the ends of the center of this area, all points had different orientations and exposure to the sun. It was found that in areas where afforestation existed, temperatures were lower in both shade and areas exposed to the sun. Despite local climatic conditions, in particular the low wind speed, solar exposure, and urban geometry are the main factors that influence the found temperatures. The cooling effect caused by urban afforestation can be better understood with additional measurements at different times of the year in the same region.

Keywords: Thermal comfort; Heat islands; Solar orientation.

Resumen

Las áreas verdes en los centros urbanos pueden contribuir al control térmico de las “islas de calor urbanas”. En un contexto de cambio climático, con temperaturas crecientes, climas más secos y olas de calor cada vez más frecuentes, las áreas verdes cobran cada vez más importancia, ya que son capaces de crear un efecto de enfriamiento que puede ser extenderse a sus áreas circundantes. Este estudio analiza dentro del “polo de salud” de la ciudad de Teresina, una zona de alta densidad urbana, cómo la forestación de la región afecta el aspecto térmico de la región seleccionada. Se midieron parámetros climáticos (temperatura general, sensación térmica, humedad relativa del aire, velocidad del viento) en puntos seleccionados dentro de un área definida, comenzando en los extremos en el centro de esta área, todos los puntos tenían diferentes orientaciones y exposición al sol. Se encontró que en las áreas donde existía la forestación, las temperaturas eran más bajas tanto en la sombra como en la exposición al sol. A pesar de las condiciones climáticas locales, en particular la baja velocidad

del viento, la exposición al sol y la geometría urbana son los principales factores que influyen en las temperaturas encontradas. El efecto de enfriamiento causado por la forestación urbana se puede entender mejor con mediciones adicionales en diferentes épocas del año en la misma región.

Palabras clave: Confort térmico; Islas de calor; Orientación solar.

1. Introdução

A expansão crescente das áreas urbanas é frequentemente associada com as mudanças do clima local e o desgaste do meio ambiente; as “ilhas de calor urbano” e o aumento da poluição sonora e do ar são alguns dos problemas que as grandes cidades precisam enfrentar, uma vez que causam impactos negativos na qualidade de vida dos habitantes e na sustentabilidade urbana (Patz, 2005). Os problemas urbanos podem também ser intensificados dentro do contexto do aquecimento global; em que, ao aumento esperado nas temperaturas do planeta de maneira global (IPCC, 2007) pode se somar o efeito térmico urbano (Alcoforado, 2009), contribuindo assim com o aumento na poluição e nas temperaturas locais (Stone e Norman, 2006). Observando mais estes aspectos, a frequência e a intensidade das ondas de calor em áreas urbanas através da combinação das “ilhas de calor” e o aquecimento global tendem ao aumento das temperaturas, impactando as condições de vida nos centros urbanos densamente populados (Alcoforado, 2009).

A presença de arborização nos espaços urbanos pode contribuir para minimizar esses efeitos, criando um resfriamento das áreas e provendo um ambiente com mais qualidade (Georgi & Zafiriadis, 2006). Outro benefício causado pela presença de arborização e áreas verdes urbanas estão relacionados a redução da poluição do ar, assim como a redução dos ruídos, trazendo benefícios a saúde do homem, além de economizar energia (Wong & Baldwin, 2016)

Cada vez mais as melhorias ecológicas e sociais que as áreas verdes trazem as tornam um fator importante de preservação dentro das áreas urbanas (Mirzaei & Haghghat, 2010). O uso de arborização e áreas verdes como maneira de diminuir o calor precisa de medições adicionais e periódicas para obtenção dos benefícios esperados, pois dependem muito das características de cada área urbana, suas disposições geográficas e o tipo de espaços verdes presentes (Tan et al., 2016).

A influência das áreas verdes nos ambientes urbanos depende de uma variedade de fatores, como o tamanho e estrutura da vegetação, estações e horários do dia, visibilidade do

céu, a condição climática predominante onde as áreas verdes estão integradas (Upmanis,1999).

A influência de áreas verdes urbanas, no que diz respeito as temperaturas, tem sido muito apresentada por diversos autores e os espaços verdes urbanos maiores são conhecidos por terem uma importância bioclimática dentro dos parâmetros térmicos das áreas urbanas (Jauregui,1997), no entanto os efeitos de áreas verdes urbanas menores, não menos importantes, geralmente estão em menor evidência.

Na cidade de Teresina/PI, os espaços verdes localizados na região com maior densidade urbana são de menor porte, apresentando-se como praças, mesmo com a pequena área possuem um uso intenso, principalmente por pedestres. Estes usuários são vulneráveis as condições de calor e sendo assim é importante determinar o efeito potencial dessas áreas verdes no que diz respeito as temperaturas do meio, o principal fator a se observar é a contribuição dessas áreas na diminuição das condições de calor frequentes. Os efeitos de resfriamento resultam através da influência das áreas verdes no perfil atmosférico regional, afetando assim o controle humano no seu balanço de produção de calor, através especificamente da temperatura do ar, sensação térmica, velocidade do vento e umidade do ar (Andrade & Ribeiro, 2007).

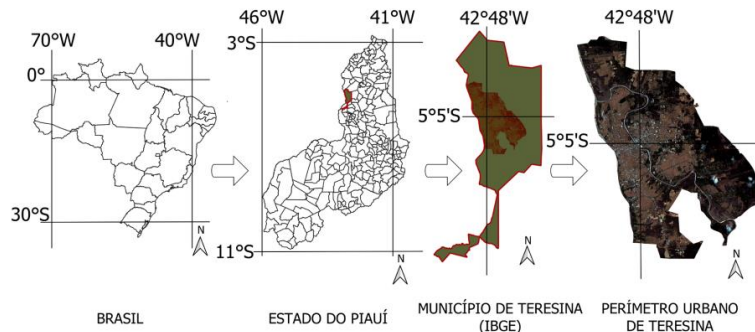
Nesse trabalho, a performance térmica de algumas edificações do polo de saúde, localizado no centro da cidade de Teresina, e suas influências nos parâmetros climáticos locais são investigados. Este é um tópico considerado importante no contexto da diminuição das temperaturas nas “ilhas de calor urbano”.

2. Metodologia

Teresina é uma cidade com pouco mais de 860 mil habitantes no nordeste do Brasil, localizadas à 5° 5' 20" S, 42° 48' 7" W e 72m de altitude (Figura 1), com um clima característico tropical semiúmido com duas estações características: o período das chuvas (verão e outono) e o período seco (inverno e primavera). De janeiro a maio, devido às chuvas, o clima é quente e úmido (porém pode ocorrer neblinas pela manhã); de junho a agosto o clima começa a ficar mais seco com noites relativamente frias; de setembro a dezembro o clima se torna mais quente e abafado, podendo começar a ocorrer algumas pancadas de chuva em novembro. Quente a maior parte do ano, Teresina possui temperatura média em torno dos 27°C, com mínimas de 22°C e máximas de 40°C (INMET, 2020). Estas oscilações são amenizadas pela contribuição dos ventos que tornam o clima mais agradável. A qualidade do

ar de Teresina é considerada boa, exceto no período mais seco, quando a umidade relativa do ar cai, e há ocorrências de queimadas em diversas regiões da cidade.

Figura 1. Localização geográfica de Teresina.



Source: Terceiro et al. (2018).

O estudo foi desenvolvido durante o período de altas temperaturas e alta umidade do ar, de 19 a 22 de março de 2019. Este trabalho é baseado em medidas de temperatura superficial infravermelha, temperatura ambiente e umidade relativa na fachada e na frente de algumas edificações, caracterizando a metodologia como qualitativa. Também foram levantados parâmetros do clima que influenciam no conforto ambiental e seu balanço na produção de calor, sendo eles a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e sensação térmica e como estes fatores se relacionam.

As medidas foram registradas observando um período bem específico de temperaturas, condições de umidade e incidência solar, em sua prioridade sobre condições de céu limpo. A razão para escolha do período são os altos índices de temperatura e umidade, o que ocasionam a formação das ilhas de calor.

2.1 Área de estudo

A capital piauiense possui completa rede de prestação de serviços de saúde, constituída por diversos hospitais, clínicas, policlínicas, unidades mistas, centros e postos de saúde, pertencentes ao Estado, ao Município e à iniciativa privada, o que torna a capital um importante centro de atendimento médico.

Teresina é a terceira capital no Brasil que mais investe em saúde. Por essas características, aliadas à sua localização geográfica (Figura 1), diversas pessoas vindas de diversos estados se deslocam para Teresina em busca de serviços de saúde, chegando a

representar 40% do atendimento médico dos hospitais públicos (PMT, 2013). De acordo com estatísticas da prefeitura, são 634 estabelecimentos de saúde, sendo oito hospitais, 181 clínicas médicas e 170 consultórios, empregando 15 mil pessoas, boa parte desses estabelecimentos se concentram no centro da cidade. O bairro Centro compreende a área contida no seguinte perímetro: partindo do eixo do Rio Parnaíba sob a Ponte João Luís Ferreira, segue, pela ponte e pela Av. Miguel Rosa até o encontro com a Av. Joaquim Ribeiro; daí, em direção oeste, prossegue, até o eixo do Rio Parnaíba e, por este, retorna ao ponto de partida. O bairro Centro concentra a maioria dos estabelecimentos de saúde do município e partindo desta observação foi delimitada uma área para estudo, onde se encontram os principais estabelecimentos públicos e privados do setor. A Figura 2 mostra a área delimitada para o estudo.

Figura 2. Mapa de delimitação de área no Polo de saúde Centro.



Fonte: Os autores.

2.2 Medidas de temperatura superficial

As medidas foram feitas em 20 pontos diferentes da área delimitada. As medições ocorreram na parte externa das edificações a uma distância sempre de 3 m da calçada principal da edificação, foram levados em consideração a presença de arborização, orientação solar das edificações, temperatura do ar, sensação térmica, umidade do ar e velocidade do vento no período. A Figura 3, mostra os pontos selecionados para medição.

Durante as medições foram observados como variáveis, temperatura e umidade do ar, insolação local, velocidade do vento e sensação térmica. As medições se concentrarão no horário de 13h às 14h, horário local. O equipamento utilizado para a medição foi uma câmera infravermelho térmica portátil da Testo® (Testo 882, Testo Instruments, Lenzkirch, Alemanha), com 3.5" LCD (320 x 240) pixels, resolução de 160 x 120 pixels, e sensibilidade

espectral de 7.8 μm a 14 μm (faixa de comprimento de onda térmica infravermelho) As imagens termográficas foram analisadas utilizando o software Testo IRSoft®. Resultados foram obtidos, inserindo os dados de temperatura e umidade, assim como emissividade e reflexibilidade dos materiais das fachadas para gerar os relatórios sobre a temperatura superficial das fachadas dos edifícios.

As temperaturas e umidade relativa ambientais utilizadas foram obtidas a partir dos dados do ambiente (Weather, 2019). Todas as medidas foram registradas a uma distância de 3 m da calçada principal da edificação, todos os dados obtidos se referem as condições externas, como visto anteriormente. Foi registrada a orientação solar da edificação, bem como a quantidade de sombreamento existente na fachada. O processamento dos dados foi realizado com o software IRSoft®.

Para a análise dos dados foram levados em consideração:

- Arborização existente nas proximidades da edificação
- Exposição solar da edificação
- Orientação da edificação
- Condições climáticas locais na data da medição

Para as medições foram utilizadas seguindo as especificações de materiais de construção a emissividade de 0,94 como prioritária nas construções, pois todas tinham fachadas em alvenaria, tijolo. Para a data de 22/03/2019, onde foi feita a melhor aferição, encontramos umidade do ar em 70%, ventos N de 3 m/s, temperatura ambiente de 31° e sensação térmica de 38° no horário de 14:01h (Weather.com, 2019). As condições de vento durante as medições não estavam variando, permanecendo o valor encontrado na estação meteorológica.

3. Resultados e Discussão

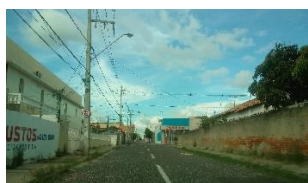
3.1 Arborização existente nas proximidades das edificações

Devido à alta densidade demográfica da região delimitada a presença de arborização é pontual, como pode-se ver na Figura 3. Pode-se também indicar a situação do bairro Centro em suas proximidades as zonas com apenas 16 áreas verdes públicas, visto que não há arborização significativa nas proximidades das edificações, somente um corredor verde na

Avenida Frei Serafim. Devido à alta densidade urbana da região e a pouca presença de arborização a incidência solar é alta para a região.

Figura 3. Arborização existente (ou inexistente) próxima as edificações.





P14 – Medclínica



P17 – Bionuclear



P20 – Oncoclínica



P15 – Cardiografos



P18 – Clínica Lucídio Portela

Fonte: Os autores.

3.2 Orientação das edificações e extremos de temperatura

Em termos de conforto térmico as fachadas voltadas para o Leste são as mais favorecidas, diferente das do Oeste, pois estas recebem a insolação mais acentuada durante o período da tarde (meio dia ao pôr do sol). Temos então a distribuição das edificações de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição das fachadas de acordo com orientação solar.

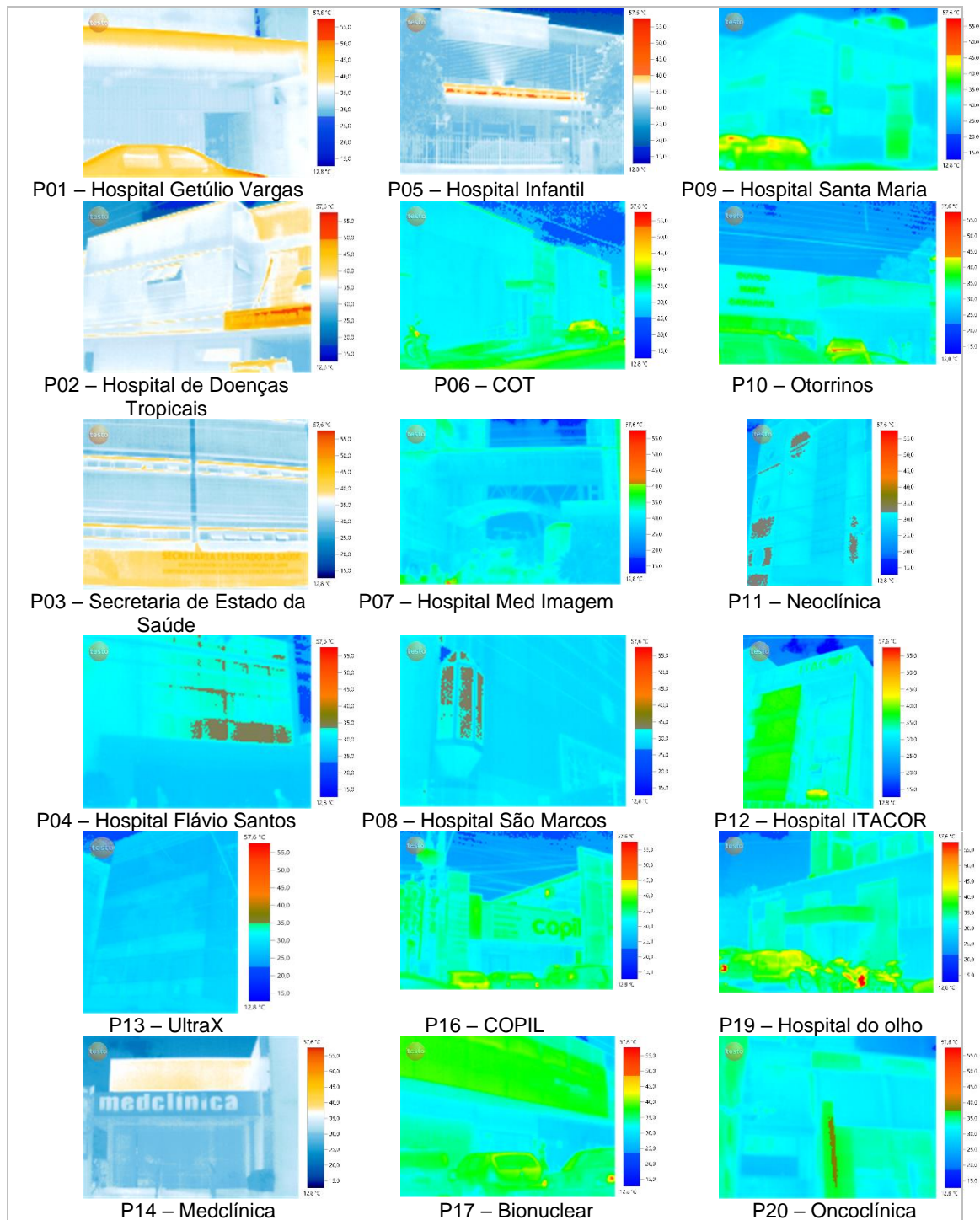
Fachadas de acordo com orientação solar				
Norte P01 – Hospital Getúlio Vargas	Leste P05 – Hospital Infantil	Leste P09 – Hospital Santa Maria	Leste P13 – UltraX	Sul P17 - Bionuclear
Oeste P02 – HDIC	Sul P06 – COT	Leste P10 – Otorrinos	Oeste P14 – MedClínica	Sul P18 – Lucidio Portela
Oeste P03 – Secretaria da Saúde	Sul P07 – Med Imagem	Oeste P11 – Neoclínica	Sul P15 – Cardiografos	Sul P19 – Hospital do olho
Leste P04 – Hospital Flávio Santos	Oeste P08 – Hospital São Marcos	Oeste P12 – ITACOR	Oeste P16 - COFIL	Sul P20 - Oncoclínica

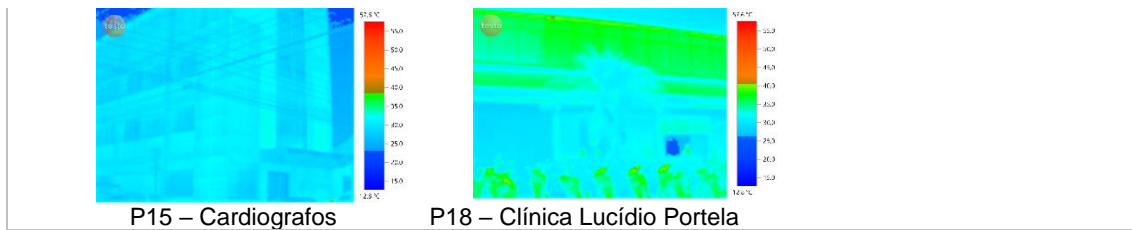
Fonte: Os autores.

Para as medidas foram utilizadas seguindo as especificações de materiais de construção a emissividade de 0,94 como prioritária nas construções, pois todas tinham fachadas em alvenaria, tijolo. Para a data de 22/03/2019, encontrou-se umidade do ar de 70%, ventos de 3

m/s, temperatura ambiente de 31°C e sensação térmica de 38°C no horário de 14:00h. O mapeamento da área consiste em uma distribuição e observação dos estabelecimentos médicos mais relevantes da região e os seus principais corredores de fluxo. As imagens da câmera térmica se encontram na Figura 4.

Figura 4. Arborização existente (ou inexistente) próximo as edificações.

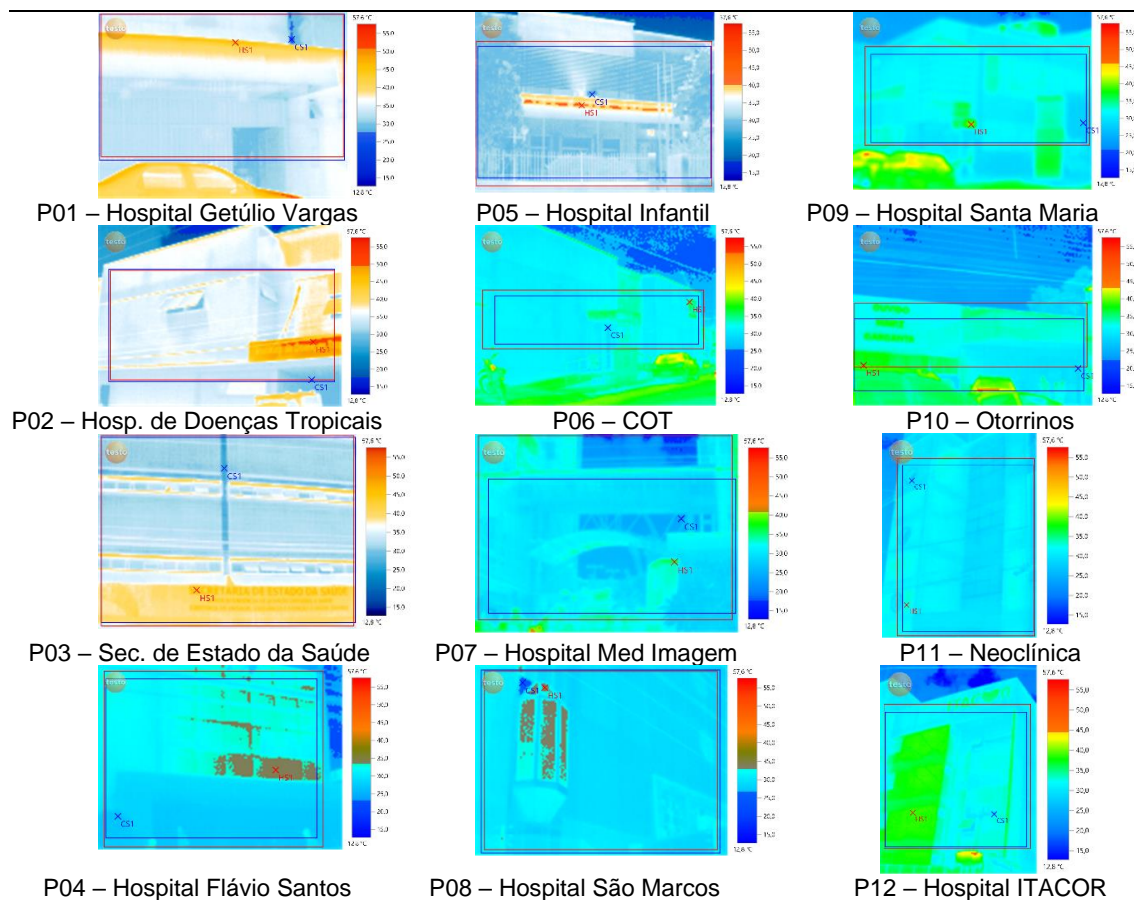


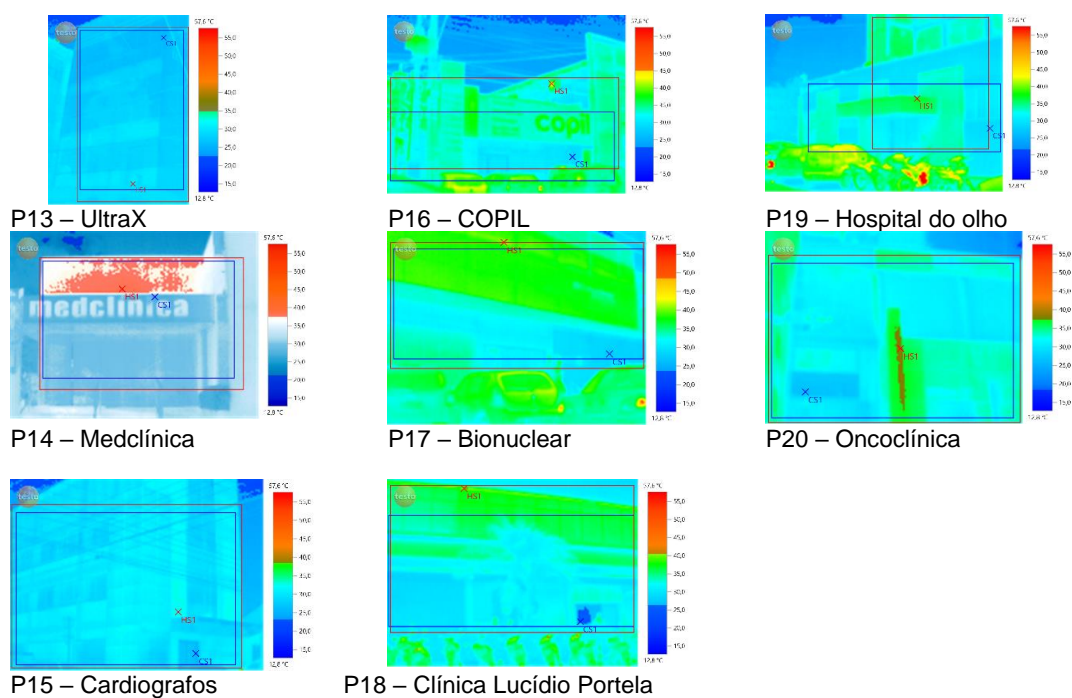


Fonte: Os autores.

As relações entre o espaço externo e as fachadas das edificações demonstram com clareza a influência que as edificações causam no meio e nas pessoas, como vemos nas imagens. Tem-se a variação de temperatura da foto com infravermelho, onde azul seriam as zonas de temperatura mais fria e vermelho as zonas de temperatura mais quente, ao lado das imagens podemos verificar as temperaturas mínimas e máximas da câmera. Em uma análise dos extremos, tem-se a diferenciação dos pontos de temperatura máxima (HOT SPOT – HS) da edificação e de temperatura mínima (COLD SPOT – CS) da edificação, através de área delimitada (Figura 5).

Figura 5. Registro de medidas de HOT SPOT e COLD SPOT.





Fonte: Os autores.

Como um dos fatores determinantes para a análise final temos ainda as temperaturas mínimas e máximas das imagens acima identificadas na Tabela 2 para cada edificação.

Tabela 2. Medida de temperaturas superficiais nas fachadas dos edifícios.

Pontos	Orientação	Temp. Máx.	Temp. Min.	Temp. Amb.	Sensação
P 01	Norte	50,9°	27,8°	31°	38°
P 02	Oeste	49,6°	17,7°	31°	38°
P 03	Oeste	45°	26,5°	31°	38°
P 04	Leste	33,4°	23,2°	31°	38°
P05	Leste	40,0°	18,2°	31°	38°
P06	Sul	53,3°	25,4°	31°	38°
P07	Sul	40,8°	17,7°	31°	38°
P08	Oeste	32,9°	26,8°	31°	38°
P09	Leste	45,9°	20,9°	31°	38°
P10	Leste	43,2°	22,3°	31°	38°
P11	Oeste	32,2°	17,8°	31°	38°
P12	Oeste	44,5°	12,4°	31°	38°
P13	Leste	34,9°	22,5°	31°	38°
P14	Oeste	37,5°	21,2°	31°	38°
P15	Sul	38,5°	23,1°	31°	38°
P16	Oeste	45,1°	22,8°	31°	38°
P17	Sul	48,6°	23,8°	31°	38°

P18	Sul	40,5°	26,3°	31°	38°
P19	Sul	71,0°	21,7°	31°	38°
P20	Sul	37,4°	18,4°	31°	38°

Fonte: Os autores.

Na Figura 6, pode-se identificar como essas temperaturas se distribuem. Tais valores comprovam que a forma urbana e o uso e ocupação do solo, a existência ou não de arborização local, assim como áreas verdes contribuem com o aumento da temperatura, favorecendo a formação de microclimas urbanos, concordando com Morakinyo et al. (2013).

A vegetação pode contribuir para a diminuição e adaptação com relação as consequências negativas relacionadas ao clima em um futuro próximo (Shimoda, 2003), assim como as árvores consomem o CO₂ são também capazes de reduzir o consumo de energia através da diminuição das temperaturas, isso pode ser percebido com a presença de áreas verdes (Abreu-Harbich et al., 2015).

Figura 6. Mapa da temperatura superficial máxima.



Fonte: Os autores.

4. Considerações Finais

Pode-se concluir deste estudo, em especial em relação à temperatura máxima local, que a proximidade com a área verde local pode criar efeitos de resfriamento nas edificações próximas, seguindo o fluxo dos ventos dominantes, no caso de Teresina seriam Sudeste. A presença de arborização teve um impacto menor para as áreas mais afastada e maior para a mais próxima, confirmando assim a importância desses espaços verdes para áreas com grande densidade urbana.

Quando observamos os dados para uma amostra tão pequena no centro da cidade de Teresina/PI, já se pode inferir a importância dessas medições para a resolução e implementação de medidas preventivas a formação de microclimas urbanos.

Neste trabalho, o estudo realizado foi uma etapa inicial para gerar parâmetros mais profundos seguindo a metodologia apresentada. Recomenda-se que, para os trabalhos futuros, sejam realizadas mais medições. Sendo assim, haverá uma percepção mais apurada das condições em que a região se apresenta, e a eficácia da metodologia. Conseqüentemente, maior embasamento para a implementação da metodologia utilizada.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pela bolsa de doutorado recebida.

Referências

Abreuy-Harbach, L. V., et al. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics, *Landscape Urban Planning*, 138, 99-109.

Andrade, P., et al. (2007). Integration of statistics and geographic information systems: The R/Terralib case. VII Brazilian Symposium on Geoinformatics, Campos do Jordão: Brazil, 2007. <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/geoinfo@80/2006/07.11.14.01/doc/P74.pdf>

Alcoforado M. J. et al. (2009). The example of Lisbon (Portugal). *Landscape Urban Planning*, 90(1-2), 56-65.

Georgi, N. J., & Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*, 9, 195-209.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (2020). Consulta dados meteorológicos da estação convencional. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODI5MDA=>>

IPCC- International Panel in Climate Change (2007). Synthesis Report. Geneva: IPCC. ISBN 2-9169-122-4 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

Jauregui, E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3821-3831.

Mirzaei, P. A., Haghghat, F (2010). Approaches to study urban heat island – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10), 2192-2201.

Morakinyo, T. E., et al. (2013). Comparing the effect of trees on thermal conditions of two typical urban buildings. *Urban Climate*, 3, 76-93.

Patz, J. A., et al (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310–317.

PMT (2015). Prefeitura Municipal de Teresina. Recuperado de <<https://semdec.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2016/06/Guia-do-Investidor-2013-2015-28-de-junho-2016-OK2.pdf>>

Shomida, Y. (2003). Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment. *Building Research & Information*, 31, 222-230.

Stone B., & Norman, J. M (2006). Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. *Atmospheric Environment* 40(19), 3561-3573.

Tan, Z., et al. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy Buildings*, 114, 265-274.

Terceiro, A. D. S. et. al. (2018). Paisagem urbana em Teresina: Implicações da distribuição espacial da densidade populacional. *Gaia Scientia*, 12(1).

Upmanis, H., & Chen, D (1999). Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban e park temperature differences: A case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden.

Wong, I., & Baldwin, A. N (2016). Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region, *Building Environment*, 97, 34–39.

Weather (2020). Weather.com. Recuperado de < <https://weather.com/>>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Thaís Rodrigues Ibiapino– 70%

Irenilza de Alencar Nääs – 30%