

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

EFEITOS DE ALTERAÇÕES PAISAGÍSTICAS EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS URBANAS: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO NOROESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO

JOÃO PEDRO O. KRIZEK¹, LUCIANA CAVALCANTI M. SANTOS²

¹ Graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas, Membro do Grupo de Pesquisa Interdisciplinar em Meio Ambiente, Ensino, Tecnologia e Cidade (AMBIENTEC), Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São Paulo, jpokrizek@gmail.com.

² Doutora em Ecologia, Líder do AMBIENTEC, Professora Efetiva, Coordenadora de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do IFSP, Câmpus Pirituba, luciana.santos@ifsp.edu.br.
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 2.05.02.00-1 Ecologia de Ecossistemas

RESUMO: Considerando que as cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas, faz-se necessário o monitoramento do grau de exposição das cidades às mudanças de temperatura. Com o uso de geotecnologias, aqui evidenciamos que as temperaturas de superfície registradas para a paisagem da Região Noroeste do Município de São Paulo sofreram um drástico aumento no decorrer dos últimos trinta anos e que o aumento de temperatura de superfície foi fortemente correlacionado a mudanças na estrutura paisagística. Nossos resultados evidenciam que uma importante consequência ambiental da crescente urbanização da Cidade de São Paulo é o rápido aumento da temperatura de superfície. Tais resultados também ressaltam a importância da análise de características paisagísticas, como cobertura vegetal, para o direcionamento do uso racional, adequado e resiliente de um determinado centro urbano, a fim de se mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas grandes cidades.

PALAVRAS-CHAVE: Cidade de São Paulo; mudanças climáticas; temperatura de superfície; planejamento urbano.

EFFECTS OF LANDSCAPE CHANGE ON URBAN CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY IN THE NORTHWEST REGION OF THE CITY OF SÃO PAULO

ABSTRACT: Given that Brazilian cities are vulnerable to climate change, it is necessary to monitor the degree of exposure of cities to temperature changes. Using geotechnologies, here we show that the surface temperatures recorded for the landscape in the northwest region of São Paulo City have a drastic increase over the last thirty years. Moreover, this increase in surface temperature has been strongly correlated with changes in the landscape structure. Our results show that an important environmental consequence of growing urbanization in the City of São Paulo is the rapid increase in surface temperature. These results also highlight the importance of analyzing landscape characteristics, such as vegetation cover, to guide the rational, adequate, and resilient use of a given urban center, to mitigate the effects of climate change in large cities.

KEYWORDS: City of São Paulo; climate change; surface temperature; urban planning.

INTRODUÇÃO

A mudança climática é o maior e o mais complexo problema ambiental da atualidade (PBMC, 2016). Seus impactos já são sentidos nos centros urbanos e vêm aumentando significativamente nos últimos anos. Os principais problemas envolvendo mudanças climáticas e cidades são o aumento de temperatura, a formação de ilhas de calor, a ocorrência de inundações e a ocorrência de eventos extremos, entre outros (PBMC, 2016). Adicionalmente, mudanças na

configuração espacial da paisagem, como a urbanização, têm aumentado significativamente a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera (YANG; ZHAO, 2015).

Segundo o IPCC (2018), é esperado que, com a mudança climática, as cidades sofram eventos extremos de aquecimento, ondas de calor e estresse térmico, expondo seus habitantes a temperaturas letais. Portanto, de acordo com uma publicação do Ministério do Meio Ambiente, a identificação desses impactos, bem como a proposição de estratégias para mitigá-los, deve ser desenvolvida rapidamente dentro da comunidade acadêmica para o subsídio de elaboração e implementação de políticas públicas locais, regionais e nacionais (SILVERWOOD-COPE *et al.*, 2011).

No contexto da mudança climática, Nobre *et al.* (2010) ressaltam que a Região Metropolitana de São Paulo é uma das realidades climáticas urbanas mais críticas e insuficientemente estudadas no Brasil. Além disso, diversos trabalhos indicam que o local pode ser extremamente vulnerável às mudanças climáticas (e.g., Locosselli *et al.*, 2020).

Perante o exposto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência da configuração e dinâmica espaço-temporal da paisagem nas mudanças climáticas na Cidade de São Paulo, tendo como recorte espacial sua Região Noroeste, entre os anos de 1989 e 2018.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo. Considerando a abrangência da Cidade de São Paulo, a área de estudo do presente trabalho compreendeu apenas uma de suas regiões – a saber, a Região Noroeste do município. Essa área foi selecionada por concentrar grande porcentagem das áreas verdes da cidade em meio a uma mancha urbana em expansão. Por exemplo, a subprefeitura de Perus, que abriga grande parte da Região Noroeste da cidade, é a que apresenta o segundo maior índice de cobertura vegetal do município (247,24 m²/habitante), enquanto outros bairros, como Pirituba e Brasilândia, apresentam elevados adensamentos residenciais (LOURENÇO *et al.*, 2016).

Mapeamento e caracterização da paisagem. Para o mapeamento e a caracterização espaço-temporal da paisagem da área de estudo, foi utilizada uma imagem CBERS-4/PAN (Tab. 1) para o ano de 2018 e uma imagem Landsat-5/TM (Tab. 2) para o ano de 1989, adquiridas no site do DGI/INPE. As datas foram escolhidas com base na disponibilização de dados de sensoriamento remoto para a área de estudo. Para ambas as imagens (2018 e 1989), utilizando-se o sistema de informação geográfica *Spring*, foi realizado o processamento digital, aplicando-se técnicas como a elaboração de composições coloridas, contraste linear, análise por componentes principais e fusão de imagens. Por fim, foi produzido um mapa do uso e cobertura da terra para a área de estudo nos dois anos considerados, utilizando essas imagens processadas e aplicando técnicas qualitativas (fotointerpretação) e quantitativas (classificação supervisionada). Todos os mapas reproduzidos foram gerados no módulo *Scarta* do *Spring*.

TABELA 1. Características das bandas espectrais do satélite CBERS-4/PAN usadas para mapeamento e caracterização da paisagem em 2018.

Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
(B1) Pancromática	0,51 – 0,85 µm	5 m			
(B2) Verde	0,52 – 0,59 µm				
(B3) Vermelho	0,63 – 0,69 µm	10 m	26 dias	60 km	8 bits
(B4) Infravermelho próximo	0,77 – 0,89 µm				

TABELA 2. Características das bandas espectrais do satélite Landsat-5/TM usadas para mapeamento e caracterização da paisagem em 1989.

Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
(B1) Azul	0,45 – 0,52 µm				
(B2) Verde	0,50 – 0,60 µm				
(B3) Vermelho	0,63 – 0,69 µm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
(B4) Infravermelho próximo	0,76 – 0,90 µm				

Cálculo da temperatura de superfície. No presente estudo foram utilizadas imagens Landsat-5/TM e Landsat-8/TIRS, bandas do infravermelho termal, para a estimativa da temperatura da superfície na área de estudo, nos anos de 1989 e 2018, respectivamente (Tab. 3).

TABELA 3. Características das bandas espectrais termais usadas para o cálculo da temperatura de superfície nos anos de 1989 e 2018.

Data	Satélite	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal	Área imageada	Resolução radiométrica
14/8/1989	Landsat-5/TM	(B6) Infravermelho termal	10,4 – 12,5 μm	120 m	16 dias	185 km	8 bits
30/8/2018	Landsat-8/TIRS	(B10) Infravermelho termal 1	10,3 – 11,3 μm	30 m*	16 dias	185 km	12 bits

* Apesar de a resolução espacial original das bandas do TIRS ser de 120 m, no presente trabalho optou-se por utilizar a banda 10 de uma imagem TIRS ortorretificada de 30 m de resolução espacial.

O cálculo da radiância é um passo fundamental para transformar os dados brutos das imagens de vários sensores em uma escala radiométrica comum. Desse modo, para a conversão dos números digitais (ND) em radiância foi utilizada a equação 1 (USGS, 2019):

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

em que,

L_{λ} - radiância espectral, Watts/($\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$);

M_L - fator multiplicativo de redimensionamento específico por banda;

Q_{cal} - valor quantizado calibrado pelo pixel, ND;

A_L - fator de redimensionamento aditivo específico por banda.

Após a transformação dos ND das bandas do infravermelho termal em radiância, aplicou-se a equação 2, com a finalidade de obter os valores de temperatura de superfície:

$$T = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (2)$$

em que,

T - temperatura efetiva no satélite, K;

K_1 - constante de calibração 1 específica da banda termal;

K_2 - constante de calibração 2 específica da banda termal;

L_{λ} - radiância espectral, Watts/($\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$).

Após esse procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto, gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Todos os cálculos foram realizados a partir da criação de algoritmos em LEGAL (e.g. KRIZEK; SANTOS, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alterações paisagísticas. De acordo com os dados obtidos, as áreas urbanizadas e as regiões de vegetação arbórea foram os dois alvos predominantes na área de estudo em ambas as datas. A área total de vegetação arbórea sofreu uma redução de 21% ao longo do intervalo de tempo considerado, ocupando, em 1989, 39% da área total da paisagem (Fig. 1A) e somente 30,8% em 2018 (Fig. 1B). Essa diminuição pode ser explicada, pelo menos em parte, pela expansão da área urbana, que sofreu um aumento de 10% em relação a sua área total em 1989, correspondendo, no ano mencionado, a 42,4% da paisagem (Fig. 1A) e, no ano de 2018, a 46,8% (Fig. 1B). Simultaneamente, a área total de vegetação rasteira, em 2018, sofreu uma expansão de 52% em relação à área apresentada em 1989, quando correspondia a 12,8% da paisagem (Fig. 1A); em 2018, esse número subiu para 19,5% (Fig. 1B). Essa transformação da fitofisionomia na borda dos fragmentos vegetais é uma das principais consequências do processo de urbanização e do efeito de borda. Para mais detalhes acerca das alterações paisagísticas ocorridas na área de estudo, consultar Krizek e Santos (2020).

Alterações na temperatura de superfície. Na Fig. 1C observa-se a temperatura de superfície para a paisagem no ano de 1989. A menor temperatura de superfície obtida na paisagem foi de 4,2 $^{\circ}\text{C}$ e a maior temperatura de superfície apresentou o valor de 25,7 $^{\circ}\text{C}$. A área urbanizada apresentou preponderantemente temperaturas entre 14 $^{\circ}\text{C}$ e 18 $^{\circ}\text{C}$. As áreas de vegetação, por sua vez, apresentaram, no geral e preponderantemente, temperaturas menores de 14 $^{\circ}\text{C}$.

A distribuição da temperatura de superfície calculada para o ano de 2018 (Fig. 1D) apresentou um comportamento diferente, registrando, no geral, temperaturas maiores que as encontradas no ano de 1989. Em 2018, a menor temperatura de superfície obtida na paisagem foi de 16,0 $^{\circ}\text{C}$ e a maior temperatura de superfície apresentou o valor de 36,6 $^{\circ}\text{C}$. Grande parte da área urbanizada apresentou

temperaturas no intervalo de 26 °C a 30 °C. Outra parte da área urbanizada, formada por microrregiões adjacentes às áreas de vegetação, apresentou, preponderantemente, temperaturas um pouco mais baixas, no intervalo de 22 °C a 26 °C – o mesmo intervalo de temperatura para grande parte das áreas de vegetação. As regiões centrais das áreas vegetadas, mais afastadas do perímetro urbano, entretanto, apresentaram temperaturas ainda mais baixas, na faixa de 18 °C a 22°C. Diferentemente do ano de 1989, pouquíssimos pontos da paisagem apresentaram temperaturas entre 16 °C e 18 °C, e nenhum ponto apresentou temperatura de superfície menor que 16 °C.

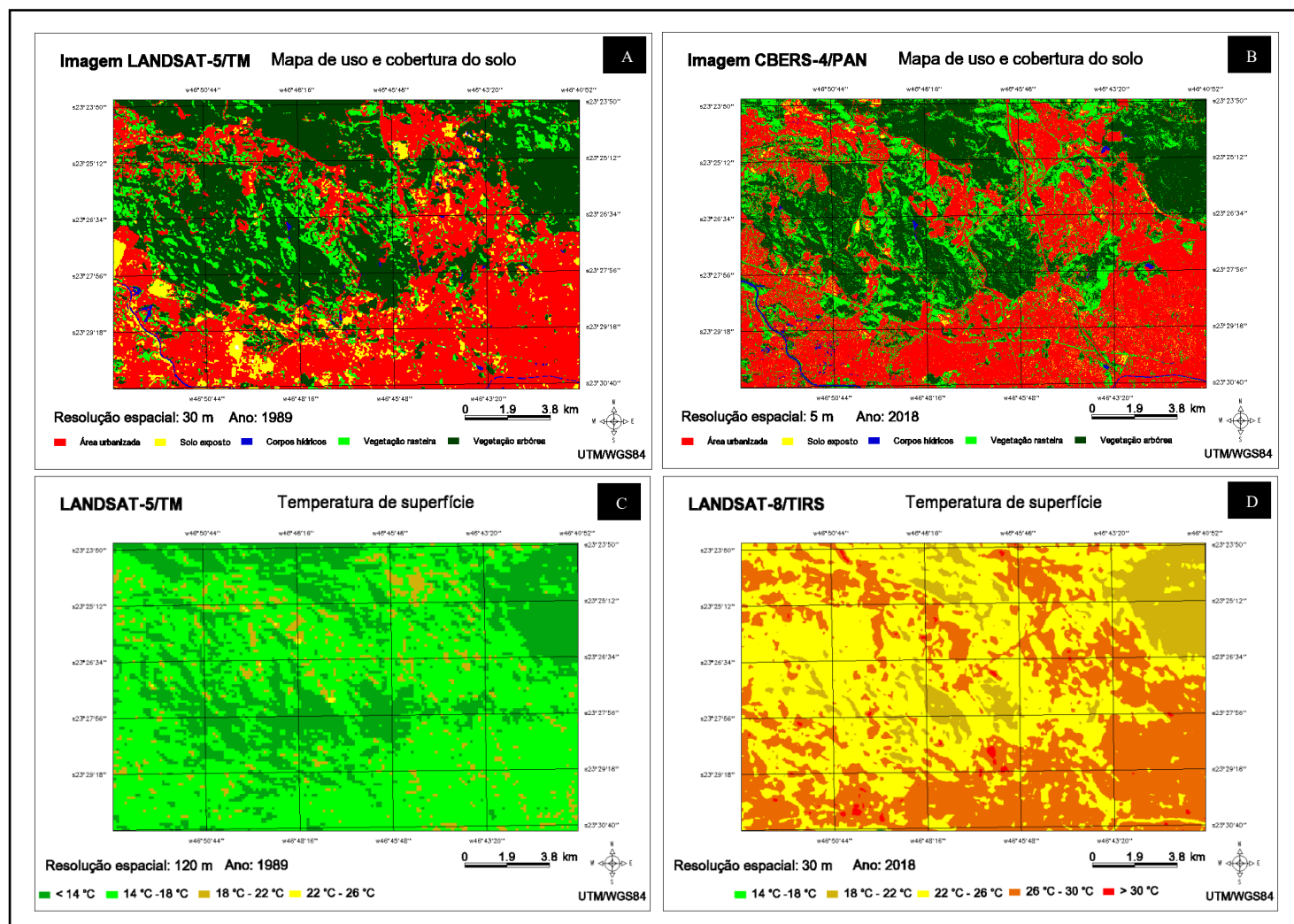


FIGURA 1. A) Mapa de uso e cobertura do solo para a área de estudo no ano de 1989. B) Mapa de uso e cobertura do solo para a área de estudo no ano de 2018. C) Mapa de distribuição de temperatura de superfície para a área de estudo no ano de 1989. D) Mapa de distribuição de temperatura de superfície para a área de estudo no ano de 2018.

A constatação de que a classe “área urbanizada” apresenta temperaturas mais elevadas resulta da substituição de superfícies naturais, como vegetação e solo exposto, por materiais, como asfalto e concreto, que reduzem a cobertura vegetal e alteram radicalmente as propriedades radiativas e térmicas da paisagem estudada. Esse resultado evidencia que a presença da vegetação contribui para a diminuição da temperatura de superfície, o que resulta em sua função de conforto térmico no contexto da elevação da temperatura devido às mudanças climáticas. Além disso, o presente trabalho confirma que as maiores temperaturas de superfície se concentram em lugares com menor quantidade de vegetação arbórea e maior densidade de construções. Grande parte da paisagem estudada sofreu um aumento em sua temperatura de superfície de 5 °C a 15 °C nos últimos trinta anos. As diferenças de temperatura encontradas para a área de estudo são da mesma ordem de grandeza que as encontradas

por Price (1979), que mostrou também que, para muitas cidades na região de Nova Iorque, as temperaturas foram de 10 °C a 15 °C mais quentes que as áreas rurais no entorno. Ademais, os resultados obtidos no presente trabalho mostram que o padrão de temperatura é fortemente correlacionado ao tipo de cobertura de solo, o que foi verificado também por Roth *et al.* (1989) ao analisar dados obtidos por sensores a bordo de satélites.

CONCLUSÕES

A área total de vegetação arbórea sofreu redução na área de estudo ao longo dos últimos trinta anos. Essa diminuição foi acompanhada pela expansão da área urbana e por um aumento na área total de vegetação rasteira, sobretudo nas bordas dos fragmentos. Em consonância com tais alterações paisagísticas, as temperaturas de superfície registradas para a paisagem sofreram um drástico aumento no decorrer dos últimos trinta anos. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que uma consequência ambiental da urbanização e da diminuição de áreas de vegetação arbórea na Região Noroeste da Cidade de São Paulo é o aumento da temperatura de superfície urbana. Os resultados também ressaltam a importância da análise de características, como cobertura vegetal, para o direcionamento do uso racional, adequado e resiliente de uma determinada paisagem.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização das imagens e do SPRING; ao IFSP – Câmpus São Paulo; ao IFSP – Câmpus Pirituba e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: **Global warming of 1.5 °C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: World Meteorological Organization, 2018.
- KRIZEK, J. P. O.; SANTOS, L. C. M. Mudanças na paisagem da Região Noroeste da Cidade de São Paulo nos últimos 30 anos: urbanização, fragmentação e efeito de borda. **Anais do 11º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia**, Presidente Epitácio, 2020. Disponível em: <http://ocs.ifsp.edu.br/index.php/conict/xiconict/paper/view/7062/2130>. Acesso em jul. 2021.
- KRIZEK, J. P. O.; SANTOS, L. C. M. Protocolo metodológico para obtenção dos valores de reflectância e de NDVI de imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 869-880, 2021.
- LOCOSSELLI, G. M. *et al.* Intra-annual oxygen isotopes in the tree rings record precipitation extremes and water reservoir levels in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 743, 2018.
- LOURENÇO, L. F. A. *et al.* Metrópoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 113-130, 2016.
- NOBRE, C. A. *et al.* **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. INPE; UNICAMP; USP; IPT; UNESP, 2010.
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: PBMC; UFRJ, 2016.
- PRICE, J. Assessment of the urban heat island effect through the use of a satellite data. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1554-1557, 1979.
- ROTH, M. *et al.* Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, p. 1699-1720, 1989.
- SILVERWOOD-COPE, K. O. *et al.* **Mudanças climáticas**. Brasília: MMA, 2011.
- USGS – United States Geological Survey. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Sioux Falls: EROS, 2019.
- YANG, X.; ZHAO, L. Diurnal Thermal Behavior of Pavements, Vegetation, and Water Pond in a Hot-Humid City. **Buildings**, v. 6, n. 2, p. 1-12, 2016