MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE URBANÍSTICA[1]

ROMERO, Marta Adriana Bustos

(1) UNB, bustosromero@gmail.com

RESUMO

O urbano requer olhares que considerem as mudanças climáticas, para tanto é necessário que as características da malha urbana, a rugosidade, a geometria, o uso e ocupação do solo sejam partes essenciais na análise da relação entre o ambiente climático urbano e o grau de comprometimento ambiental do espaço habitado. Posto em que ainda faltam medidas de adaptação e mitigação para promover a resiliência climática no urbano, o presente artigo visa avaliar alguns aspectos do ambiente térmico urbano de Brasília. A cidade projetada por Lucio Costa propiciava uma vastidão de lições para o planejamento urbano resiliente ao calor extremo, mas a cidade, inaugurada em 1960, cresce, se adensa e se deteriora e, para a maioria, somente restam as periferias com ambientes pobres e sem qualidade urbana. Avaliamos a distribuição intra-urbana da temperatura de superfície e da vegetação, utilizando imagens satelitais e técnicas de sensoriamento remoto para gerar mapas temáticos. A observação do tecido urbano mostra a tendência de maiores valores de temperatura de superfície associada a características morfológicas tais como taxa de ocupação do solo, ausência de vegetação e sombra e superfícies predominantemente impermeabilizadas.

Palavras-chave: Temperatura de superfície e vegetação; técnicas de sensoriamento; Brasília; ilha de calor; crescimento urbano.

ABSTRACT

Urban issues require approaches that consider climate change, for which the characteristics of the urban fabric, including its texture, geometry, use, and land occupation, must become essential parts in the analysis of the relationship between the urban climate environment and the degree of environmental commitment to the inhabited space. Adaptation and mitigation measures to promote climate resilience in the urban environment are still lacking; this article aims to address some aspects involving urban thermal environment in Brasília. The city designed by Lucio Costa provided a vast number of lessons for urban planning to be resilient to extreme heat, but the city, inaugurated in 1960, grows, densifies and deteriorates, and, for the majority of its residents, only the peripheries of poor environments and without urban quality are available. We evaluated the intra-urban distribution of surface temperature and vegetation by using satellite images and remote sensing techniques to generate thematic maps. Urban fabric analysis shows a trend towards higher surface temperature values associated with morphological characteristics such as land occupation rate, absence of vegetation and shade, and predominantly impermeable surfaces.

***Keywords**: Surface temperature and vegetation; sensing techniques; Brasilia; heat island; Urban growth.*

---

[1] ROMERO, Marta Adriana Bustos. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E QUALIDADE URBANÍSTICA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. **Anais**... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-8. DOI 10.46421/sbqp.v9i.8234

1 INTRODUÇÃO

O urbano requer olhares que considerem as mudanças climáticas, para tanto é necessário que as características da malha urbana, a rugosidade, a geometria, o uso e ocupação do solo sejam partes essenciais na análise da relação entre o ambiente climático urbano e o grau de comprometimento ambiental do espaço habitado.

Um dos fenômenos mais destacados na climatologia urbana é a ilha de calor urbana (ICU), caracterizada por áreas urbanas mais quentes em relação as áreas rurais circundantes (OKE, 1987; LOMBARDO, 1985; GARTLAND, 2010). Quando se observa em uma cidade, ou fração de cidade, o fenômeno de ICU caracteriza-se então, uma condição microclimática em que a temperatura do ar está mais elevada, a umidade relativa do ar está mais baixa e existe alteração na velocidade dos ventos, no regime de chuvas, entre outros fenômenos.

As descrições pioneiras de Lombardo (1985) das ilhas de calor comparavam um urbano e um rural que não existem mais. O clima urbano, produzido a partir de uma nova realidade rural, sofreu uma reestruturação, devido a uma profunda alteração da paisagem; a IC diurna quase não tem diferença com a temperatura da noite, especialmente na região Norte do Brasil, devido à profunda transformação do solo.

Assim, o fenômeno das ICU decorre do adensamento urbano, caracterizado por geometrias que barram os ventos e aumentam a taxa de absorção do calor, o aumento do albedo (dada a constante impermeabilização do solo), e a ação antrópica de remoção de vegetação com consequente redução da evapotranspiração que, por sua vez, representa uma diminuição significativa da umidade relativa do ar (ROMERO et al. 2019).

Nesse contexto, há necessidade de um olhar atencioso para a configuração espacial da estrutura urbana (as dimensões dos edifícios, os espaços livres e o tamanho das vias e ruas), da cobertura urbana (construída, pavimentada, vegetada, presença d´água, solo descoberto), do tecido urbano (materiais construtivos e naturais) e do metabolismo urbano (calor, poluição devidas às atividades humanas).

Para que a vegetação possa contribuir no microclima, deve atender o efeito de massa e é necessário que a área verde tenha um volume significativo na escala da cidade e que a cobertura vegetal represente no mínimo 30% da superfície urbanizada.

Vale ressaltar que cada tipo de espaço cria diferentes situações climáticas locais, as quais devem ser analisadas de forma conjunta para garantir uma melhor qualidade urbana local. Os cânions urbanos influenciam o conforto, a percepção espacial do usuário, a promoção do sombreamento e o impacto da radiação solar. (Romero, 2011). Além disso, abrigam as reflexões da radiação solar, e geralmente restringem o livre movimento do ar, fatores relevantes para a compreensão da percepção ambiental.

Nesse contexto, as cidades sustentáveis apresentam-se essenciais para a qualidade futura da vida humana (ROMERO et al., 2019). Posto que o clima é um fator que impacta diretamente na qualidade de vida, torna-se imprescindível compreender as várias escalas do clima e sua relação com o espaço construído, incorporando conhecimentos multidisciplinares, entre os quais devem ser citadas as ferramentas de análise.

Com base nessas premissas, apresentamos inicialmente uma caracterização da área urbana do Distrito Federal (DF) para, posteriormente, abordar questões relativas aos indicadores e diferenças na distribuição intraurbana do verde urbano. Na escala da cidade, será analisada a distribuição da temperatura de superfície e da vegetação para exemplificar as diferenças climáticas que se verificam no desigual espaço dessa cidade.

2 ESTRUTURAS URBANAS

O exame do desempenho ambiental de estruturas urbanas e dos espaços abertos, nas suas diferentes escalas, é complexo, abrangendo elementos que possuem variabilidade espacial, temporal e sazonal. Bonduki (1997) nos lembra que a intensidade das características de urbanização, em todo o mundo, gerara dois grandes problemas: a questão urbana e a questão ambiental. O desempenho influencia decisivamente a qualidade e quantidade de uso, tornando necessário, portanto, o conhecimento das condições de conforto nesses espaços, das características do verde urbano, assim como do microclima e do clima local. E também relevante conhecer as respostas humanas a essas condições.

A variedade e complexidade das cenas urbanas e da vegetação influem no comportamento da energia. As diferenças intraurbanas geralmente se manifestam espacializadas em regiões de calor e frio, que, às vezes, podem ser maiores que a diferença de temperatura urbano-rural.

Embora cada tipo de espaço crie diferentes situações climáticas locais que devem ser analisadas de forma conjunta para garantir uma melhor qualidade urbana local, em geral, o construído cresce, se adensa e se deteriora, e todo o calor absorvido pela estrutura urbana fica retido e dificilmente é reenviado para a atmosfera, provocando, ao se converter em calor sensível, um aumento da temperatura urbana.

3 AS CARACTERISTICAS BIOCLIMATICAS DO PLANO PILOTO

O lugar de Brasília foi escolhido para sede do governo principalmente por suas condições climáticas (Romero, 2011); de fato, as características bioclimáticas do Plano Piloto desenvolvido pelo urbanista Lucio Costa propiciaram uma vastidão de lições para o planejamento urbano resiliente ao calor extremo. Porém, o crescimento desordenado tem alterado sensivelmente o clima do DF. Se as intenções iniciais foram cuidadosas em relação ao sítio, esse cuidado não acompanhou o que veio a seguir.

Com a crescente expansão urbana da capital do país, desde a inauguração em 1960, condomínios fechados e assentamentos irregulares ditam uma nova morfologia e novas diferenças térmicas intraurbanas: a cidade não se identifica mais apenas pela forma e função modernistas. Resultados de nossos estudos apontam uma dependência espacial da temperatura de superfície, independente da variabilidade das estações climáticas. No tecido urbano, a tendência de maiores valores de temperatura de superfície está associada às características morfológicas; já nas áreas periféricas do Plano Piloto, outras condições foram identificadas, tais como a elevada taxa de ocupação do solo, a ausência de vegetação e sombra e a preponderância de superfícies predominantemente impermeabilizadas.

Dessa forma, grande parte das Regiões Administrativas - RAs[2] - sofrem hoje as consequências do modelo de desenvolvimento semelhante ao resto do país: poluição, excesso de veículos automotivos individuais, aumento da distância casa/trabalho, concentração de usos, degradação ambiental, violência, dentre outros.

A fim de avaliar a distribuição intra-urbana da temperatura de superfície e da vegetação, utilizou-se imagens satelitais e técnicas de sensoriamento remoto para gerar mapas temáticos.

3.1 Verde Urbano

A forma como fabricamos o urbano é um dos principais motores da mudança climática. O excessivo avanço do urbano no território fragmenta a paisagem, exerce pressão sobre os ecossistemas, tornando essenciais as políticas de mitigação dos efeitos das mudanças do clima. Isto fica muito evidente no espaço que abriga a capital da República. Em Brasília, atualmente, percebem-se algumas diferenças no clima após mais de sessenta anos de urbanização acelerada.

O Distrito Federal foi construído no segundo maior bioma do país, o Cerrado. Já na área urbana, a escassez de vegetação é um fator de diferenciação entre as RAs, que afeta de forma negativa as condições de vida nessas áreas periféricas. Nelas, nota-se a carência de áreas verdes, seja na fase de elaboração do plano urbanístico, de implantação ou no momento da fixação da população. Para a maioria, somente restam as periferias de ambientes pobres e deteriorados.

Nas nossas pesquisas, identificamos o uso de materiais que contribuem para o aquecimento do espaço público (baixo albedo, alta reflexibilidade da radiação solar, alta emissividade), além de pouca permeabilidade do solo e vegetação, observando-se o aumento da temperatura local e a incapacidade dos materiais de liberar, durante a noite, todo o calor absorvido ao longo do dia, acumulando, assim, calor para o dia seguinte. A vegetação mitiga indiretamente, por meio da evapotranspiração, o ganho de calor das superfícies e do ar adjacente, devido à troca de calor; já o sombreamento reduz, de forma direta, a conversão de energia radiante em calor sensível e diminui a temperatura de superfície.

Em sintonia com os fenômenos citados anteriormente, a absorção da radiação de onda longa pelas folhas é mais lenta que a das superfícies dos arredores e, por isso, as pessoas nas áreas verdes tem menos pressão do calor radiante. O Observatório Territorial do Governo do DF (GDF-SEDUH, 2021) publicou um indicador de cobertura arbórea-arbustiva da ocupação urbana efetiva, consolidando 31,76 m²/hab. O Plano Piloto apresenta a maior extensão de cobertura arbórea-arbustiva e a RA Varjão, a menor. Dividindo essa extensão por número de habitantes, o Park Way alcança o primeiro lugar com 736,34 m²/hab e o Varjão está no último, com 4,73 m²/hab, ambos valores bastante distantes da média do DF.

[2] Atualmente existem 33 RAs, em uma área total de 5.779.999 km² com o terceiro maior núcleo urbano do país com 3.015.268 habitantes (IBGE, 2019).

4 Figura 1 - Exemplo de áreas residências: (A) Parkway, (B), e Varjão.



Fonte: LaSUS, Foto Valmor Filho.

As áreas verdes podem ser espaços apenas gramados, sem atividade fotossintética significativa, porém a existência dessas áreas possibilita que, em algum momento, a vegetação surja no local. Quando não há previsão do verde, a existência futura de vegetação está comprometida, pois o solo está construído ou pavimentado.

É preocupante que uma das consequências geradas pelo fenômeno da ilha de calor urbana se verifica justamente nas regiões com solo exposto. Nesses lugares, assim como no centro das cidades, existe concentração de ar quente, dificultando a evaporação e reduzindo o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados.

3.2 Mudanças Climáticas

O centro urbano brasiliense possui uma dimensão metropolitana com padrão de crescimento que, com variada gama de configurações urbanas, já ultrapassa as fronteiras do Distrito Federal. A conurbação costurada pela expansão perfila-se em direção oeste, a caminho de Goiânia, passando por Anápolis. No eixo sudoeste, criado pela construção do metrô, o crescimento da mancha urbanizada não foi aproveitado e restaram tecidos urbanos de baixa densidade e com grandes vazios, o que implica uma dependência crescente do automóvel. O superpovoamento acelerado reorientou o planejamento urbano no DF uma vez que atingiu a área metropolitana e rural de Brasília. Faltou equilíbrio entre densidade demográfica e capacidade de suporte ecológico do território.

A desolada paisagem tropical das pobres periferias urbanas não oferece nenhum elemento de mitigação à incidência da energia solar (mesmo com o desconforto térmico agravado em decorrência das mudanças climáticas). Como já mencionamos, o crescimento desordenado tem alterado sensivelmente o clima do DF (GDF/SMA/IBRAM, 2016).

O processo de aumento da massa construída na área tombada é preocupante; verificamos acelerada tendência à produção descontrolada de elementos construtivos deformadores de uma paisagem urbana concebida como cidade parque que, como tal, deveria estar sendo preservada. Verificam-se transformações nas estruturas físicas na área tombada onde existe uma importante e intencional relação a ser considerada entre as áreas verdes e a massa edificada, talvez mais decisiva do que a clássica proporcionalidade entre áreas verdes e número de habitantes[3].

[3] Lucio Costa nas superquadras, com uma moldura de vegetação em todo o entorno forma um cinturão verde de 20 metros de largura em cada quadra, concentrou as residências em altura, retirou as

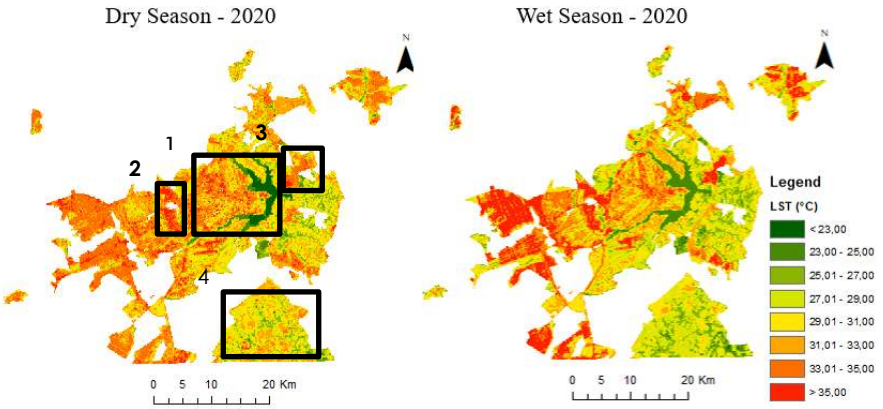
A massa de vegetação implantada, dentro e no entorno de Brasília garante a ventilação natural, principal estratégia sustentável arquitetônica passiva de qualidade do ar que favorece a salubridade, o conforto ambiental e a eficiência, sem que, para tanto, sejam necessários artifícios que consomem energia.

Os dados indicam um Brasil mais quente; a intensificação do calor é evidente, em quase todas as latitudes, com uma variação gradual no aumento das temperaturas médias de 1°C a 6°C até 2100, comparadas com os registros do final do século XX. Com certeza, não serão suficientes as estratégias de mitigação das mudanças climáticas, que incluem a formação de uma rede de vegetação arbórea com parques urbanos e vias arborizadas na cidade, criando um efeito oásis durante as ondas de calor (ao diminuir as temperaturas de superfície pelo sombreamento), aumentando as perdas de calor (por evaporação) e, em consequência, diminuindo o armazenamento de calor no tecido urbano.

3.3 Distribuição da Temperatura de superfície e Índice de Vegetação

A temperatura de superfície foi observada a partir de imagens do satélite Landsat8, os mapas foram processados de acordo com as estações climáticas, Figuras 2 e 3, (Werneck, Romero, Celuppi, Gobo, 2024). As imagens de satélite coletadas repetidamente para medir a temperatura da superfície podem mostrar como as diferentes partes da cidade se desviam das condições médias. As manchas urbanas residenciais periféricas, potencialmente mais quentes que as áreas do Plano Piloto e áreas residenciais no entorno do Lago Paranoá. Nas regiões altamente impermeabilizadas, áreas com solo exposto, aeroporto e nas áreas cultivadas também ocorrem variações termais atingindo temperatura de superfície acima de 35 °C. O Lago Paranoá destaca-se pela temperatura mais amena.

Figura 2 – Distribuição espacial da temperatura da superfície terrestre - LST: (1) Plano Piloto; (2) Guará: (3) Itapoá e Paranoá, áreas urbanas em processo de consolidação.



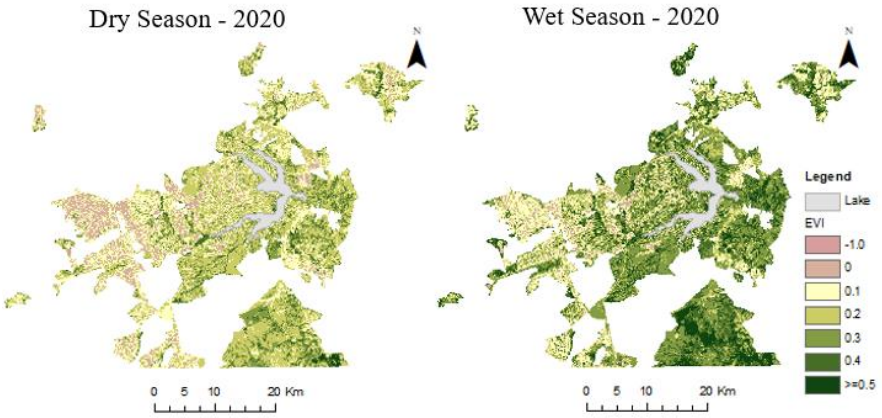
Fonte: Werneck et al, 2024

Já na faixa do infravermelho próxima, a vegetação reflete muita energia, em função da estrutura celular das folhas. Conhecendo esse comportamento espectral, é possível distinguir uma vegetação sadia, que apresenta alta absorção da energia

construções do nível do solo pelo recurso aos pilotis, dando assim origem a extensos espaços públicos onde mesmo sem um arranjo paisagístico formal, existe uma serie de lugares verdes criados pelos espaços convergentes dos próprios edifícios e seus recuos obrigatórios.

eletromagnética na região do espectro visível, capturada pela clorofila destinada à fotossíntese. O índice de vegetação por diferenças normalizadas (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) é comumente utilizado como indicador da existência e qualidade da vegetação no ambiente urbano.

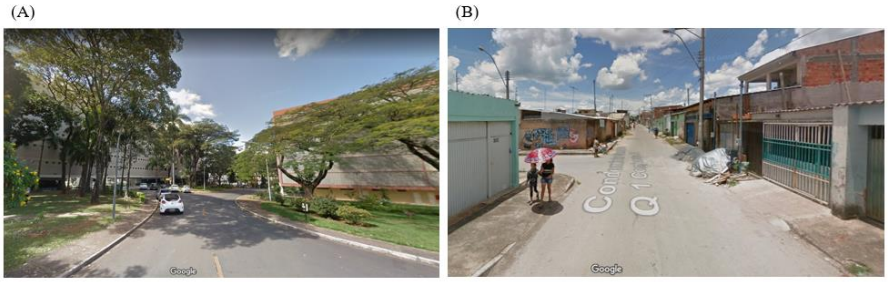
Figura 3 – Distribuição espacial do Índice de Vegetação – EVI



Fonte: Werneck et Al, 2024

No Plano Piloto é possível identificar um contraste entre as arborizadas superquadras da Asa Sul e o Eixo Monumental, com variação de temperatura de superfície da ordem de 6 °C. Já a paisagem das periferias urbanas pobres não oferece nenhum elemento de sombreamento, como mostra a Figura 4, que compara a vegetada Asa Sul com a RA Itapoá, ocupação irregular de terras de alta densidade, que não apresenta nem árvores nem superfícies vegetadas.

Figura 4 – Verde urbano no Plano Piloto – Asa Sul (A) e no Itapoá



Fonte: Werneck et Al, 2024

O exame do desempenho ambiental de estruturas urbanas e dos espaços abertos nas suas diferentes escalas é complexo, abrangendo elementos, além do verde urbano, que possuem variabilidade espacial, temporal e sazonal. O desempenho influencia decisivamente a qualidade e quantidade de uso dos ambientes urbanos, (ROMERO, 2011).

CONCLUSÕES

Foram discutidos fatores associados ao campo térmico do Distrito Federal de Brasília com base nas características bioclimáticas do Plano Piloto desenvolvido pelo urbanista Lucio Costa, que propiciavam uma vastidão de lições para o planejamento urbano resiliente ao calor extremo, mas que não se mostram suficientes para resistir o crescimento desordenado que tem alterado sensivelmente o clima do DF.

A massa de vegetação implantada dentro e no entorno de Brasília, tem um significado e relevância para a preservação como espaço *non aedificandi* a ser garantido, principalmente face às pressões para expansão da própria mancha da área tombada, tanto internamente, quanto no seu entorno imediato.

Destacamos que as diferenças térmicas intraurbanas devem ser compreendidas no estudo do clima urbano. Para avaliar a distribuição intra-urbana da temperatura de superfície e da vegetação, utilizamos imagens satelitais e técnicas de sensoriamento remoto para gerar mapas temáticos. A partir dessas informações realizamos uma análise exploratória de dados espaciais.

Observando o tecido urbano, a tendência de maiores valores de temperatura de superfície está associada a características morfológicas tais como elevada taxa de ocupação do solo, ausência de vegetação e sombra e superfícies predominantemente impermeabilizadas. Essas condições foram identificadas principalmente nas áreas periféricas do Plano Piloto. As simulações computacionais permitiram visualizar o impacto direto das variáveis urbanas na qualidade ambiental das áreas urbanas.

Nesse sentido, nossas pesquisas contribuem para refletir sobre métodos de visualização de informações espacializadas na escala da cidade, aumentado as possibilidades de aplicação do conhecimento de climatologia urbana e na tomada de decisões de planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

BONDUKi, N. Habitat: **As práticas bem sucedidas em Habitação, Meio Ambiente e Gestão Urbana nas cidades brasileiras**. São Paulo, Studio Nobel, 1997.

LYNCH, Kevin. **Imagem da Cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

PANERAI, Philippe. **Análise urbana**. Coleção Arquitetura e Urbanismo. Editora UnB, 2006.

ROHINTON, M. E. **An Urban Approach to Climate-Sensitive Design**. Strategies for the Tropics. Spon Press. Taylor and Francis Group, New York, 2005.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília. 1.ed. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

ROMERO, M. A. B. Baptista, G. M. de M.; Lima, E. A. de; Werneck, D. R.; Vianna, E. O.; Sales, G. de L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2019. Disponível: http://repositorio.unb.br/handle/10482/34661

SEMA-DF. Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal. 2016. Mudanças Climáticas no DF e RIDE. Disponível: https://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Nota-T%C3%A9cnica-Mudan%C3%A7as-Clim%C3%A1ticas-no-DF-e-RIDE.pdf

WERNECK D. R.; ROMERO M. A. B; CELUPPI M. C.; GOBO J. P. A.: Urban Expansion Coupled with Climate Change: The Scenario of Federal District of Brazil. In: Mukunda Mishra; Andrews José de Lucena; Brij Maharaj. (Org.). **Climate Change and Regional Socio-Economic Systems in the Global South**. 1ed.Singapore: Springer, 2024, v. 1, p. 71-86.