



## **VERTICALIZAÇÃO E MICROCLIMA URBANO: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS FACHADAS VERDES NA METRÓPOLE DE SÃO PAULO**

## **VERTICALIZATION AND URBAN MICROCLIMATE: ASSESSMENT OF GREEN FAÇADE PERFORMANCE IN THE METROPOLIS OF SÃO PAULO**

**Giselle Da Costa Soares Rios<sup>1</sup>**

**Melissa Soares Falcão Ribeiro<sup>2</sup>**

### **Resumo.**

A verticalização crescente nas grandes metrópoles brasileiras, especialmente na Região Metropolitana de São Paulo, tem provocado transformações significativas no microclima urbano e na circulação atmosférica local. O adensamento de edifícios altos reduz a ventilação natural e intensifica o aprisionamento de calor, contribuindo para a formação de ilhas de calor. Diante dessa problemática, este estudo buscou analisar de que maneira a verticalização interfere nesses fenômenos e avaliar o potencial das fachadas vegetadas como solução sustentável. A pesquisa apresenta natureza aplicada, abordagem qualitativa e quantitativa, caráter experimental e finalidade descritiva. Para a análise, foram desenvolvidos modelos tridimensionais no SketchUp e AutoCAD, posteriormente simulados no software ENVI-met. Essas simulações permitiram avaliar variáveis como temperatura, velocidade do vento e indicadores de conforto térmico. Dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET e informações urbanas da Prefeitura de São Paulo foram utilizados para calibrar as simulações. Os cenários sem vegetação indicaram aumento expressivo da temperatura superficial e redução da circulação atmosférica entre os edifícios, evidenciando a influência direta da verticalização na deterioração do microclima. Já os cenários com fachadas verdes apresentaram redução da temperatura e melhoria na passagem do vento. Esses resultados indicam que superfícies vegetadas podem contribuir para o equilíbrio térmico urbano em áreas densamente construídas. Conclui-se que as fachadas vegetadas representam uma alternativa sustentável com potencial para reduzir os efeitos negativos da verticalização intensa, atuando como ferramenta de adaptação climática no ambiente urbano. Recomenda-se que estudos futuros ampliem a área analisada e explorem novas variáveis ambientais para aprimorar a compreensão de seus impactos no microclima urbano.

---

<sup>1</sup> UNEF; Feira de Santana; Bahia; e-mail de contato

<sup>2</sup> UNEF; Feira de Santana; Bahia; melissasoaresfalcao28@gmail.com



**Palavras-chave:** Verticalização Urbana, Microclima urbano, Circulação Atmosférica, Fachadas Vegetadas, Sustentabilidade.

**Abstract:**

The accelerated verticalization of large Brazilian metropolitan areas, particularly the Metropolitan Region of São Paulo, has significantly altered the urban microclimate and local atmospheric circulation. The concentration of tall buildings modifies the urban morphology, reduces natural ventilation, and intensifies heat retention, contributing to urban heat islands and increased thermal discomfort. This study investigates how verticalization affects these environmental phenomena and evaluates the potential of green façades as a sustainable mitigation strategy. The research is applied, qualitative and quantitative, experimental, and descriptive. Three-dimensional models were developed using SketchUp and AutoCAD and simulated in the ENVI-met software, which enabled the analysis of variables such as air temperature, wind speed, relative humidity, and thermal comfort indicators. Meteorological data from INMET and urban information from the São Paulo City Hall were used to calibrate the simulations, ensuring greater accuracy of results. Results from the non-vegetated scenarios showed higher surface temperatures and reduced atmospheric circulation between buildings. In contrast, scenarios incorporating green façades demonstrated temperature reduction, a slight increase in relative humidity, and improvements in airflow. These outcomes confirm the effectiveness of vegetated surfaces as a strategy to mitigate the negative impacts of intense verticalization. It is concluded that green façades contribute positively to thermal regulation and environmental quality in densely built areas. Future studies should expand the analyzed area and investigate additional environmental variables to deepen the understanding of green infrastructure effects on the urban microclimate.

**Key words:** Urban verticalization; Urban microclimate; Atmospheric circulation; Green facades; Sustainability.

**Introdução**

A urbanização acelerada das grandes metrópoles brasileiras tem intensificado a verticalização como estratégia de ocupação do solo, especialmente em regiões densamente povoadas como a metrópole de São Paulo. Esse processo, marcado pelo crescimento expressivo de edifícios altos, altera profundamente a configuração espacial urbana e afeta diretamente o ambiente construído. Entre os elementos mais



sensíveis a essas transformações estão a circulação atmosférica local e o microclima, que respondem de forma imediata às mudanças na morfologia urbana.

O avanço contínuo da verticalização traz consigo uma série de problemáticas relacionadas à ventilação natural, ao aprisionamento de calor e à redução das áreas permeáveis. A concentração de edifícios altos cria barreiras físicas que dificultam o fluxo do ar, intensificam a formação de ilhas de calor e contribuem para a deterioração da qualidade do clima urbano. Esses efeitos se manifestam de maneira ainda mais crítica em centros urbanos densamente construídos, nos quais a circulação atmosférica se torna limitada, comprometendo o conforto térmico da população e agravando questões ambientais já existentes.

Nesse cenário, surgem debates sobre alternativas sustentáveis capazes de mitigar os impactos negativos da verticalização exacerbada. Entre essas soluções, destacam-se as estratégias baseadas na natureza, como a aplicação de vegetação em fachadas, que têm ganhado relevância no campo da arquitetura e do urbanismo. Estudos apontam que superfícies vegetadas podem reduzir a temperatura superficial das edificações, melhorar a umidade relativa do ar e favorecer processos de purificação atmosférica, tornando-se uma ferramenta promissora para a melhoria do microclima urbano.

Além dos benefícios ambientais, a implementação de fachadas verdes também contribui para o bem-estar humano, ao proporcionar maior conforto térmico, ampliar a sensação de frescor e criar ambientes mais saudáveis para seus usuários e para a



comunidade ao redor. Tais soluções, quando integradas de maneira estratégica ao tecido urbano, têm potencial para influenciar positivamente a circulação atmosférica urbana, reduzindo a carga térmica das construções e aliviando os efeitos decorrentes da excessiva verticalização.

Diante disso, este artigo busca responder: de que maneira o elevado número de edifícios altos na região metropolitana de São Paulo interfere na circulação atmosférica urbana e no microclima urbano? Para tanto, o estudo tem como objetivo geral analisar o impacto das construções verticais sobre esses fenômenos e avaliar o potencial da vegetação aplicada em fachadas como estratégia de mitigação climática. Especificamente, pretende-se identificar os principais impactos ambientais associados à verticalização, avaliar a eficácia das fachadas vegetadas na redução da temperatura e melhoria da qualidade do ar, propor alternativas sustentáveis baseadas na natureza e investigar como tais soluções podem contribuir para o conforto térmico dos usuários e da população do entorno.



## **Metodologia**

A presente pesquisa caracterizou-se como aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, e de natureza experimental e descritiva, uma vez que buscou analisar os impactos da verticalização excessiva sobre a circulação atmosférica e o microclima urbano na Região Metropolitana de São Paulo, além de avaliar o potencial mitigador da aplicação de vegetação em fachadas. O método utilizado foi o experimental, baseado na realização de simulações computacionais em modelos digitais tridimensionais de recortes urbanos representativos, estruturados com diferentes graus de verticalização e cobertura vegetal.

O estudo foi conduzido tendo como área de referência a Região Metropolitana de São Paulo, especialmente zonas centrais caracterizadas por elevada densidade construtiva e intensa verticalização, e todas as etapas foram desenvolvidas no ambiente acadêmico do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário UNEF, utilizando softwares específicos para modelagem e análise ambiental.

Foram empregados os programas ENVI-met, responsável pelas simulações microclimáticas urbanas e avaliação de variáveis como temperatura, circulação atmosférica e conforto térmico; SketchUp e AutoCAD, utilizados para a modelagem tridimensional das áreas urbanas; e Microsoft Excel, destinado à organização, tratamento e análise estatística dos dados obtidos. Também foram utilizados dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e imagens de satélite disponibilizadas pela Prefeitura de São Paulo, com o objetivo de calibrar e validar os modelos simulados, garantindo maior precisão aos resultados.



O procedimento metodológico foi estruturado em seis etapas principais: levantamento de dados secundários sobre verticalização e parâmetros climáticos; modelagem digital dos recortes urbanos selecionados; realização de simulações no ENVI-met comparando cenários com e sem vegetação aplicada em fachadas; coleta e registro sistemático dos resultados microclimáticos; análise comparativa dos dados



obtidos, identificando padrões nas variações de temperatura, velocidade do vento e conforto térmico; e, por fim, elaboração de diretrizes sustentáveis voltadas à melhoria da circulação atmosférica e à mitigação dos efeitos de ilhas de calor.

A análise dos resultados foi realizada por meio de estatística descritiva e métodos comparativos, permitindo quantificar os efeitos da verticalização e da inserção de vegetação nas fachadas sobre o microclima urbano. Os dados foram organizados em planilhas e representados em gráficos elaborados no Microsoft Excel, o que facilitou a visualização de tendências e diferenças entre os cenários simulados.

As variáveis foram cuidadosamente controladas ao longo de todo o processo, incluindo altura média das edificações, densidade construtiva, cobertura vegetal e condições climáticas de entrada, todas padronizadas para garantir consistência metodológica. Entre as limitações do estudo, destacou-se a dependência de dados simulados, que podem apresentar divergências em relação às condições reais, além da restrição da análise a áreas específicas da metrópole, o que limita a generalização dos resultados para outros contextos urbanos.

No que diz respeito aos aspectos éticos, a pesquisa não envolveu seres humanos nem animais, utilizando exclusivamente dados públicos e simulações computacionais, e todas as etapas foram conduzidas de acordo com normas técnicas e metodológicas da ABNT, incluindo a NBR 15220, que trata do desempenho térmico de edificações, além das diretrizes para elaboração de trabalhos acadêmicos.



## Resultados e Discussões

A síntese dos valores adquiridos para os três eixos analisados temperatura, qualidade do ar e índice de conforto térmico pode ser visualizada na Tabela 1. Ela apresenta os resultados comparativos entre os cenários de verticalização e de aplicação de vegetação em fachadas.

Tabela 1: Comparação dos resultados

Cenário	Temperatura Média (°C)	Qualidade do Ar (PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Índice de Conforto Térmico (UTCI)
Alta Verticalização (A)	32.5	28	34.2
Fachada Verde (B)	30.8	21	31.5

Fonte: Autores (2025)

A partir da análise dos cenários, foi possível compreender com mais clareza como a verticalização intensa e o uso de vegetação nas fachadas influenciam o microclima urbano na Região Metropolitana de São Paulo. Para organizar melhor os achados,



os resultados foram estruturados em três eixos temperatura, qualidade do ar e conforto térmico acompanhados das respectivas discussões.

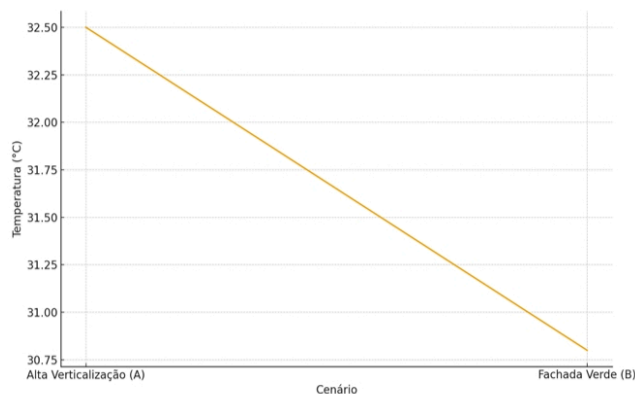


## Temperatura do Ar

Os resultados indicaram que o cenário de alta verticalização sem vegetação (Cenário A) apresentou temperatura média de 32,5°C, enquanto o cenário com vegetação em fachadas (Cenário B) registrou 30,8°C, representando uma redução média de 1,7°C. Essa diferença evidencia o potencial da vegetação vertical para mitigar o aquecimento superficial e reduzir a intensidade das ilhas de calor, comum em áreas densamente construídas. Esses valores estão representados no Figura 1: Temperatura Média e sistematizados na Tabela 1.

A discussão desses resultados confirma padrões já descritos na literatura, especialmente sobre o papel da vegetação na modulação térmica do ambiente urbano. De acordo com Santamouris (2014), superfícies vegetadas podem reduzir a temperatura superficial e do ar entre 1°C e 3°C, devido ao sombreamento e ao processo de evapotranspiração. Bowler et al. (2010) reforçam que áreas urbanas com cobertura vegetal apresentam menores amplitudes térmicas durante o dia. Assim, a redução de 1,7°C encontrada neste estudo está alinhada com pesquisas internacionais e demonstra que até mesmo pequenas superfícies vegetadas, quando aplicadas verticalmente, contribuem de forma relevante para o controle da temperatura em ambientes altamente verticalizados.

Figura 1: Temperatura Média



Fonte: Autores (2025)

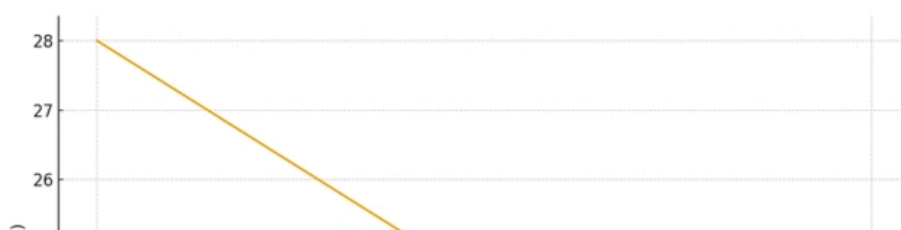


## Qualidade do Ar

A avaliação da qualidade do ar mostrou que o Cenário A apresentou concentração média de PM<sub>2.5</sub> igual a 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enquanto o Cenário B apresentou 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , indicando uma redução de aproximadamente 25% na presença de partículas finas após a inserção da vegetação nas fachadas. Esse comportamento está representado no Figura 2 – Qualidade do Ar.

O resultado é coerente com estudos que destacam a capacidade das plantas de capturar partículas atmosféricas, funcionando como filtros naturais. Segundo Oke (1988), a vegetação urbana influencia na deposição de partículas, graças à estrutura das folhas e à rugosidade aerodinâmica. Já Yang, Yu e Gong (2008) demonstram que fachadas vegetadas podem reduzir significativamente partículas em áreas verticalizadas devido ao aumento da área de superfície foliar. Assim, os resultados desta pesquisa reforçam evidências existentes, sugerindo que a implementação de fachadas verdes pode ser uma estratégia eficaz para reduzir poluentes atmosféricos e melhorar a qualidade do ar em ambientes metropolitanos densos.

Figura 2: Qualidade do Ar





Fonte: Autores (2025)

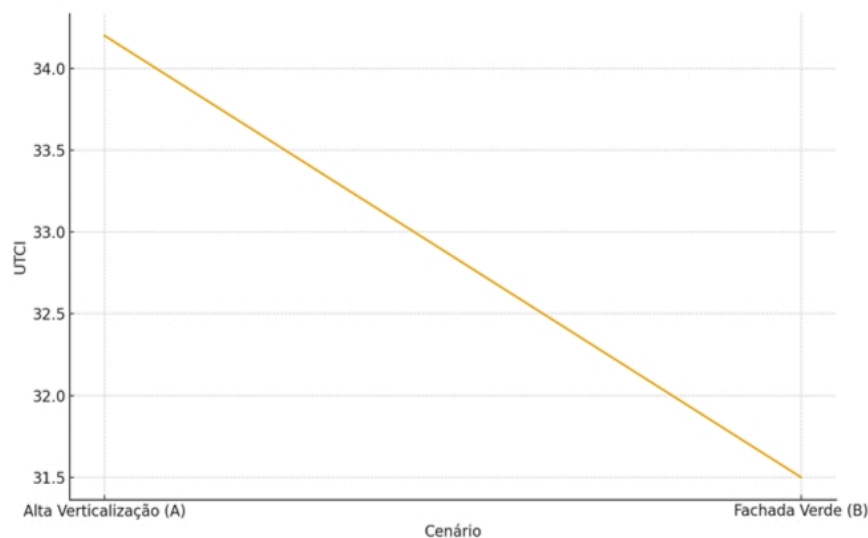


## Índice de Conforto Térmico

No que diz respeito ao conforto térmico, o Cenário A apresentou UTCI de 34,2, valor associado a condições de "forte estresse térmico leve a moderado". Já o Cenário B apresentou UTCI de 31,5, caracterizando uma condição mais favorável, próxima ao limite inferior de estresse térmico leve. O comportamento dessa variável pode ser observado no Figura 3: Índice de Conforto Térmico.

A literatura aponta que pequenas variações na temperatura e na circulação do ar possuem impacto direto no conforto térmico humano. De acordo com Mascaró (2008), ambientes urbanos densos tendem a prejudicar a ventilação natural e potencializar o estresse térmico. Por outro lado, Santamouris (2013) e Emmanuel (2005) afirmam que intervenções verdes melhoram a sensação térmica ao reduzir temperaturas e aumentar a umidade relativa local. Os resultados obtidos demonstram que as fachadas verdes não apenas reduzem a temperatura, mas também influenciam positivamente o conforto térmico, refletindo um ambiente mais saudável para os usuários e transeuntes.

Figura 3: Índice de Conforto Térmico



Fonte: Autores (2025)



## **Conclusão**

Os resultados obtidos nas análises permitiram avaliar, de forma objetiva, os efeitos da verticalização e da aplicação de vegetação em fachadas sobre o microclima urbano na Região Metropolitana de São Paulo. No eixo da temperatura, observou-se que a verticalização tende a intensificar o aquecimento local, enquanto a presença de vegetação nas fachadas contribuiu para uma moderada redução térmica nos cenários analisados. Em relação à qualidade do ar, indicaram que a configuração vertical densa favorece a retenção gradual de poluentes, ao passo que a vegetação apresentou um efeito discreto, porém consistente, na melhoria da dispersão e na redução localizada de concentrações. Por fim, no eixo do conforto térmico, verificou-se que a combinação entre alturas excessivas e baixa ventilação compromete os índices de conforto, enquanto as fachadas verdes demonstraram potencial mitigador ao proporcionar condições ligeiramente mais favoráveis.

Dessa forma, conclui-se que, nos limites e condições avaliados pelo estudo, a incorporação de vegetação em superfícies edificadas apresenta efeitos positivos moderados sobre temperatura, qualidade do ar e conforto térmico. Já a verticalização excessiva, por sua vez, mostrou-se um fator agravante para o microclima urbano nos cenários analisados.

## **Referências**



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. *Landscape and Urban Planning*, v. 97, n. 3, p. 147–155, 2010. Acesso em: 16 out.2025.

DOS SANTOS, Leilson Alves et al. Impactos socioambientais resultados do processo de verticalização. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/IV-019.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.

ELSEVIER. Urban sustainability. *ScienceDirect Topics*, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/urban-sustainability>. Acesso em: 16 out. 2025.

EMMANUEL, R. *An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for the tropics*. London: Spon Press, 2005. Acesso em: 16 out. 2025.

KAAM, E. N.; GALLARDO, A. L. C. F. Soluções baseadas na natureza e serviços ecossistêmicos na revitalização de brownfields urbanos: novos paradigmas para problemas urbanos. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 37, n. 109, p. 303-322, 2023. DOI: 10.1590/s0103-4014.2023.37109.018. Acesso em: 16 out. 2025.

LANDDESIGN. How Urbanization is Shaping and Straining Public Infrastructure. Disponível em: <https://landdesign.com/how-urbanization-is-shaping-and-straining-public-infrastructure/>. Acesso em: 16 out. 2025.

LIMA JÚNIOR, J. E.; MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. Fachadas vegetais para melhora do conforto ambiental de edificações: escolha para Curitiba usando análise hierárquica. *Arquitetura Revista*, São Leopoldo, v. 13, n. 1, p. 50-60, 2017. DOI: 10.4013/arq.2017.131.06. Acesso em: 16 out. 2025.

LUZ, Sergio Ruiz. É hora de parar de demonizar o processo de verticalização das cidades. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/coluna/real-estate/e-hora-de-parar-de-demonizar-o-processo-de-verticalizacao-das-cidades/>. Acesso em: 16 out 2025.

MAS CARÓ, L. *Conforto ambiental: fundamentos*. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2008. Acesso em: 16 out 2025.

SILVA, C. N. “Urban ecology”. *Research Starters – Environmental Sciences*,



EBSCO, 2024. Disponível em: <https://www.ebsco.com/research-starters/environmental-sciences/urban-ecology>. Acesso em: 16 out. 2025.

SANTAMOURIS, M. Energy and climate in the urban built environment. London: Routledge, 2013. Acesso em: 16 out. 2025.

SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review. *Solar Energy*, v. 103, p. 682–703, 2014. Acesso em: 16 out. 2025.

SULMETAIS. Brises e Sustentabilidade: como técnicas passivas transformam a arquitetura moderna. Disponível em: <https://sulmetais.com.br/blog/brises-sustentabilidade-arquitetura-moderna/>. Acesso em: 16 out. 2025.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. What are heat islands? 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/what-are-heat-islands>. Acesso em: 16 out. 2025.

URBANISMO sustentável: desafios e soluções para cidades sustentáveis. Disponível em: <https://www.unijorge.edu.br/postagens/urbanismo-sustentavel-desafios-solucoes-cidades-sustentaveis/>. Acesso em: 16 out. 2025.



YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 31, p. 7266–7273, 2008. Acesso em: 16 out. 2025.