XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Efeitos da Morfologia Urbana na Resiliência Térmica e na Eficiência Energética de Edificações de São Paulo no contexto da Mudança Climática

Efectos de la Morfología Urbana en la Resiliencia Térmica y la Eficiencia Energética de las Edificaciones en São Paulo en el Contexto del Cambio Climático

Effects of Urban Morphology on Thermal Resilience and Energy Efficiency of Buildings in São Paulo in the Context of Climate Change

Clima e Planejamento Urbano / *Clima y Planificación Urbana / Climate and Urban Planning*

Novaes, Gabriel Bonansea de Alencar
Mestre, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, gabriel.novaes@usp.br

Monteiro, Leonardo Marques
Doutor, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, leo4mm@usp.br

Resumo

Entendendo que a morfologia da cidade pode trazer impactos às condições microclimáticas nas áreas urbanas, o objetivo desta pesquisa é caracterizar os efeitos termoenergéticos que diferentes composições morfológicas podem trazer às edificações, buscando verificar a hipótese de que, em contextos de estresse térmico por calor, uma cidade compacta com maior variabilidade de alturas e geometrias das edificações pode trazer efeitos positivos ao desempenho termoenergético das edificações. Esta verificação deverá ser feita por meio da avaliação comparativa de simulações termodinâmicas de uma edificação comercial envolta em variantes de possíveis cenários morfológicos de uma área urbana consolidada do centro expandido da cidade de São Paulo, variando as geometrias, alturas e disposições das edificações do entorno, submetida a modelos microclimático alinhados à situação climática atual e ao cenário SSP 5-8.5 do AR6 do IPCC para o final do século XXI.

Palavras-chave: Morfologia Urbana. Desempenho Térmico. Eficiência Energética. Mudança Climática.

Resumen

Entendiendo que la morfología de la ciudad puede impactar las condiciones microclimáticas en las áreas urbanas, esta investigación tiene como objetivo caracterizar los efectos termoenergeticos que diferentes composiciones morfológicas pueden generar en las edificaciones. Se busca verificar la hipótesis de que, en contextos de estrés térmico por calor, una ciudad compacta con mayor variabilidad en las alturas y geometrías de las edificaciones puede generar efectos positivos en el desempeño termoenergético de los edificios. Esta verificación se realizará mediante la evaluación comparativa de simulaciones termodinámicas de un edificio comercial rodeado por variantes de posibles escenarios morfológicos en un área urbana consolidada del centro expandido de São Paulo, variando las geometrías, alturas y disposiciones de las edificaciones del entorno, considerarando modelos alineados a la situación climática actual y con el escenario SSP5-8.5 del AR6 del IPCC para finales del siglo XXI.

Palabras clave: Morfología Urbana. Desempeño Térmico. Eficiencia Energética. Cambio Climático.

Abstract

Understanding that the morphology of a city can impact microclimatic conditions in urban areas, this research aims to characterize the effects that different morphological compositions may have on buildings from a thermo-energetic perspective. It seeks to verify the hypothesis that, in contexts of heat-related thermal stress, a compact city with greater variability in building heights and geometries can have positive effects on the thermo-energetic performance of buildings. This verification will be conducted through a comparative evaluation of thermodynamic simulations of a commercial building surrounded by variants of possible morphological scenarios in a consolidated urban area in São Paulo's expanded city center, varying the geometries, heights, and arrangements of the surrounding buildings, considering models aligned with the current climatic situation and with the SSP5-8.5 scenario of the IPCC's AR6 for the late 21st century.

Keywords: Urban Morphology. Thermal Performance. Energy Efficiency. Climate Change.

Apresentação e justificativa

A mudança climática global tem provocado alterações substanciais nas condições climáticas em escala global ao longo das últimas décadas e com um potencial de trazer alterações ainda mais substanciais nos futuros de médio e longo prazo (IPCC, 2022). Nesse contexto, os fenômenos de aquecimento urbano podem acentuar os impactos da mudança climática e ser potencializados por seus eventos associados, já que abrangem uma variedade de processos microclimáticos nas cidades que elevam as temperaturas do ar (DUARTE, 2015).

Estudos indicam que a diversidade na configuração urbana, especialmente em climas tropicais como o brasileiro, pode gerar variações significativas nas condições microclimáticas (TALEGHANI et al., 2015), pois a configuração do espaço urbano tem implicações na exposição solar, na circulação de ventos e na emissão de radiação de onda longa durante a noite, desempenhando um papel essencial no acesso à luz solar, radiação e ventilação, tanto nos espaços abertos quanto nos ambientes internos das construções.

Paralelamente, a adaptação bioclimática de uma construção depende de sua capacidade em proporcionar conforto térmico aos ocupantes, assegurando um desempenho termoenergético satisfatório em sua operação e isso está diretamente ligado a uma série de parâmetros físicos que sofrem interferências significativas da configuração do ambiente urbano, que gera impactos sobre a edificação, desde as mudanças na incidência solar e sombreamento devido ao mascaramento do céu até as alterações nas direções e velocidades dos ventos (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011).

Em resumo, a morfologia urbana exerce influência na eficiência energética das edificações, pois, ao considerar as relações entre alturas, formas, concentrações, distanciamentos e disposições das edificações, podemos entender como estas características urbanas afetam o ambiente interno das edificações, permitindo buscar soluções que auxiliam na criação de edifícios mais resilientes e eficientes. Dessa forma, entender como o planejamento urbano pode contribuir para melhorar as condições térmicas é decisivo na busca para proporcionar maior conforto e eficiência energética, além de aumentar a resiliência da cidade e de suas construções diante dos cenários climáticos futuros, reduzindo a dependência de climatização artificial e o consumo energético em edifícios (KRÜGER, MINELLA e RASIA, 2011).

Desta forma, este trabalho foca no conjunto de possíveis impactos que a morfologia urbana pode exercer na resiliência térmica e na eficiência energética das edificações, em um contexto

de adensamento urbano e verticalização, comparando o contexto climático atual e um contexto de estresse térmico – em especial pelo calor – no cenário SSP 5-8.5 do AR6 do IPCC de mudança climática global (IPCC, 2022).

Questão central e objetivo

Entendendo que a morfologia da cidade pode trazer impactos às condições microclimáticas em áreas urbanas, o objetivo desta pesquisa é caracterizar os possíveis efeitos que diferentes composições morfológicas podem trazer às edificações do ponto de vista termoenergético em um cenário de verticalização e adensamento da cidade e em contextos de estresse térmico, especialmente por calor, e, por consequência sobre sua resiliência e sua eficiência energética no contexto das mudanças climáticas globais.

Metodologia e processo de simulação

Para investigar os potenciais impactos que distintas morfologias urbanas podem acarretar na interação com as edificações, especialmente em seu desempenho termoenergético, a metodologia deste trabalho mescla uma abordagem teórica com a avaliação de dados empíricos, integrando o desenvolvimento de modelos parametrizados e a análise estatística.

As simulações serão realizadas com o *software Rhinoceros* 3D, com *os plugins Grasshopper* e *Ladybug Tools*, fazendo uso do motor de cálculo do *EnergyPlus*. Esta combinação possibilita a parametrização de modelos para realizar diversas simulações de um mesmo modelo, variando parâmetros específicos para analisar os impactos destas variações nos resultados do desempenho termoenergético da edificação estudada (LEME, 2023).

Neste contexto, para compreender o efeito sobre o desempenho termoenergético das edificações, diferentes simulações são conduzidas para uma mesma edificação comercial de lajes corporativas, replicada em um modelo de simulação paramétrico que gera diferentes variantes do entorno urbano, abrangendo diversas disposições, dimensões e alturas das edificações, representando configurações urbanas presentes em diferentes áreas do centro expandido de São Paulo. Assim, enquanto a edificação estudada mantém suas características,

o seu entorno é variado em distintos cenários de adensamento e verticalização, representando menores e maiores condições de verticalização e adensamento. Por esta razão, os modelos geométricos representam áreas urbanas consolidadas de ocupação formal, densamente construídas, predominantemente de uso misto, variando de baixa a grande verticalização e entre edifícios espaçados entre si e edifícios geminados. Para reduzir os impactos nos resultados, os modelos terão topografia aproximadamente plana e não conterão áreas vegetadas, corpos d'água e praças ou grandes espaços urbanos abertos.

Já as características construtivas e materiais dos modelos, bem como aspectos internos da edificação (iluminação, equipamentos, etc.), serão delineadas pelas referências da Classificação A do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica (INMETRO, 2017), considerando suas propriedades físicas dos materiais de acordo com a ABNT NBR 15.220-2 (ABNT, 2013).

Por fim, para compreender os impactos da mudança climática, os modelos são submetidos a simulações em dois contextos: a situação climática atual (com o uso de um arquivo climático histórico da cidade de São Paulo) e outro refletindo o modelo microclimático resultante do *downscale* do cenário SSP 5-8.5 do AR6 do IPCC para São Paulo para os anos de 2099/2100.

Assim, a estrutura metodológica do trabalho busca estabelecer uma ligação entre a fundamentação teórica e os dados empíricos derivados das simulações termoenergéticas, proporcionando uma compreensão holística acerca de como distintas manifestações de morfologia urbana podem influenciar o desempenho térmico e energético das edificações.

Forma e critérios de avaliação dos resultados e a Análise de Sensibilidade

Utiliza-se a abordagem por Análise de Sensibilidade, que viabiliza a condução de experimentos por meio de um modelo de simulação de forma controlada, através da perturbação do modelo, variando alguns de seus parâmetros de entrada, e a identificação da variação resultante nos resultados de interesse (WESTPHAL, 2007). A análise de sensibilidade possibilita a manipulação dos parâmetros de entrada do modelo, sendo sua aplicação no contexto de simulações de desempenho de edifícios examinada em detalhes por LEME (2023).

A ideia é estressar as variáveis da morfologia entre os diferentes modelos, congelando todas as demais, como forma de mensurar o impacto específico da morfologia sobre a edificação. Ou seja, são alteradas apenas as variáveis que se deseja avaliar: as dimensões e as alturas das edificações do entorno da edificação analisada, e estas serão as únicas variáveis a impactar os resultados das simulações. As demais variáveis do próprio edifício e do entorno (materiais, orientação, vias, etc.), que não serão avaliadas, são consideradas variáveis de ruído, e são mantidas constantes entre os diferentes modelos (LEME, 2023).

Os resultados da presente pesquisa serão fundamentados na análise comparativa dos desempenhos da edificação, considerando o conforto térmico dos usuários e a estimativa do consumo energético da edificação, ambos suscetíveis a variações substanciais entre os modelos. A avaliação do conforto térmico dos usuários será conduzida com base nos critérios estabelecidos pelo Modelo Adaptativo (ANSI/ASHRAE, 2020) e a eficiência energética da edificação calculada de acordo com a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) do PBE Edifica – Programa de Etiquetagem de Edificações (INMETRO, 2022).

Desta maneira, serão analisados os resultados dos diferentes modelos para percentuais de horas ocupadas em conforto térmico no ano, considerando a avaliação da temperatura operativa interna em comparação com a temperatura prevalecente média externa, no Modelo Adaptativo (ANSI/ASHRAE, 2020), e os valores de consumo energético anual resultantes dos modelos, medidos em kWh/ano.

Hipótese e resultados esperados

Este projeto busca verificar a hipótese de que, em contextos de estresse térmico – especialmente por calor –, que devem ser cada vez mais comuns e mais intensos em função das mudanças climáticas globais, a morfologia urbana pode impactar o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações, e que, na condição de verticalização e adensamento da cidade, uma cidade compacta com maior variabilidade de alturas e geometrias das edificações pode trazer efeitos positivos ao desempenho termoenergético das edificações.

Referências

ANSI/ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRARE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2021.

DUARTE, D. H. S. **O Impacto da Vegetação no Microclima em Cidades Adensadas e seu Papel na Adaptação aos Fenômenos de Aquecimento Urbano – Contribuições a uma Abordagem Interdisciplinar**. São Paulo: 2015.

INMETRO. **INI-C - Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência ENergética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - Portaria Inmetro 309/2022**. Rio de Janeiro: 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **IPCC's Sixth Assessment Report – AR6 Synthesis Report: Climate Change.** 2022. Disponivel em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 20 novembro 2022.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. **Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil**. Elsevier - Building and Environment, 46, 2011. 621-634.

LEME, C. C. **Definição de estratégias de conforto termo-luminoso para aplicação em etapa inicial do processo de projeto de microapartamentos**. São Paulo: 2023.

TALEGHANI, M. et al. **Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands**. Elsevier - Building and Environment, Delft, 83, 2015. 65-78.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Florianópolis: 2007.