

## Influência da morfologia urbana no desempenho térmico dos edifícios: um olhar no presente e em prospecções climáticas futuras

### Influence of urban morphology on the thermal performance of buildings: a look at the present and future climate prospects

### Influencia de la morfología urbana en el comportamiento térmico de los edificios: una mirada a las perspectivas climáticas presentes y futuras

*Emeli Lalesca Aparecida da Guarda, mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental, doutoranda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.*

*E-mail: emeliguarda@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-7536-4448>*

*Renata Mansuelo Alves Domingos, mestre em Engenharia Civil, doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.*

*E-mail: mansuelo.alves@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-6428-5223>*

*Martin Órdenes Mizgier, doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.*

*E-mail: martin.ordenes@ufsc.br  <https://orcid.org/0000-0002-6876-7713>*

**Para citar este artigo:** GUARDA, E. L. A.; DOMINGOS, R. M. A.; ORDENES, M. M. O. Influência da morfologia urbana no desempenho térmico dos edifícios: Um olhar no presente e em prospecções climáticas futuras. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 55-69, 2023.

DOI 10.5935/cadernospos.v23n1p55-69



**Submissão:** 2022-06-22

**Aceite:** 2022-11-18

## Resumo

As mudanças climáticas são um desafio-chave global no século XXI e o desenho urbano pode potencializar esses impactos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das mudanças climáticas nas condições térmicas internas de edificações, considerando diferentes morfologias urbanas. O processo metodológico consiste em: i) estruturação e definição de nove cenários urbanos; ii) geração dos arquivos climáticos futuros, utilizando como base o RCP4.5 e projeção climática de 2035; e iii) definição dos limites de conforto e desconforto térmico por meio do modelo adaptativo. Os resultados mostram que as mudanças climáticas irão impactar as condições interna dos edifícios, principalmente na aceitabilidade térmica dos usuários. Em Cuiabá, os cenários urbanos 1, 2 e 3 ultrapassam o limite superior em setembro, apresentando desconforto por calor no período histórico e em 2035. Em Florianópolis o mês de maio no período histórico fica abaixo do limite inferior, em 2035 se enquadra dentro da faixa de conforto, ou seja, tornando-se mais quente. Destaca-se que a influência do sombreamento, como nos cenários 1A, 2C e 3A do entorno reduz as horas em desconforto por calor e aumenta as horas em conforto térmico no módulo.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Conforto adaptativo; Cenários urbanos.

## Abstract

Climate change is a key global challenge in the 21st century and urban design can potentiate these impacts. This work aims to evaluate the influence of climate change on the internal thermal conditions of buildings, considering different urban morphologies. The methodological process consists of: i) structuring and defining nine urban scenarios; ii) generation of future climate files, using as a basis the RCP4.5 and climate projection of 2035; and iii) definition of the limits of thermal comfort and discomfort through the adaptive model. The results show that climate change will impact the internal conditions of buildings, especially the thermal acceptability of users. In Cuiabá, urban scenarios 1, 2 and 3 exceed the upper limit in September, presenting discomfort due to heat in the historical period and in 2035. In Florianópolis, the month of May in the historical period is below the lower limit, in 2035 it falls within the comfort range, i.e. becoming warmer. It is noteworthy that the influence of shading, as in scenarios 1A, 2C and 3A of the surroundings, reduces the hours of heat discomfort and increases the hours of thermal comfort in the module.

**Keywords:** Climate changes; Adaptive comfort; Urban scenarios.



## Resumen

El cambio climático es un desafío global clave en el siglo XXI y el diseño urbano puede potenciar estos impactos. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia del cambio climático en las condiciones térmicas internas de los edificios, considerando diferentes morfologías urbanas. El proceso metodológico consiste en: i) estructurar y definir nueve escenarios urbanos; ii) generación de archivos de clima futuro, tomando como base el RCP4.5 y proyección climática de 2035; y iii) definición de los límites de confort térmico y malestar a través del modelo adaptativo. Los resultados muestran que el cambio climático impactará en las condiciones internas de los edificios, especialmente en la aceptabilidad térmica de los usuarios. En Cuiabá, los escenarios urbanos 1, 2 y 3 superan el límite superior en septiembre, presentando malestar por calor en el período histórico y en 2035. En Florianópolis, el mes de mayo en el período histórico está por debajo del límite inferior, en 2035 cae dentro del rango de confort, es decir, se vuelve más cálido. Cabe destacar que la influencia de la sombra, como en los escenarios 1A, 2C y 3A del entorno, reduce las horas de incomodidad térmica y aumenta las horas de confort térmico en el módulo.

**Palabras clave:** Mudanzas climáticas; Confort adaptativo; Cenarios urbanos.

## INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

A resiliência, a habitabilidade e o bem-estar dos usuários em nossas cidades são influenciados pela contínua densificação urbana, mudanças climáticas e por eventos extremos, como ondas de calor. As altas temperaturas no futuro levarão a um aumento na demanda energética de resfriamento nos edifícios para manter as condições de conforto (VAN HOOFF *et al.*, 2016). Assim, essas alterações impõem novos impactos sobre os edifícios e cidades não só pelo aumento da temperatura média global, mas também por alterações nas demais variáveis climatológicas em microescala, que conseqüentemente aumentam a temperatura interna dos edifícios.

A urbanização rápida e descontrolada está aumentando continuamente o consumo de energia dos edifícios e as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. O uso de energia no ambiente construído é reconhecido mundialmente como uma questão-chave para o desenvolvimento urbano sustentável (ARBOIT *et al.*, 2010). As cidades, como principais consumidores de energia, desempenham um papel crucial na construção de um futuro energético mais sustentável. Isso significa que há uma necessidade urgente de transformar a forma de planejar as áreas urbanas, com foco em modos de produção e consumo de energia mais eficientes e autossuficientes em geral (AMADO *et al.*, 2018).

<sup>1</sup> AGRADECIMENTOS: Ao projeto colaborativo da Arup North America Ltd e da Argos Analytics, por disponibilizar a ferramenta Weathershift e os arquivos meteorológicos futuros utilizados nesta pesquisa.



Dessa maneira, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publica relatórios com o objetivo de investigar o impacto das mudanças climáticas considerando as atividades humanas e eventos extremos. O Quinto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas (AR5) (IPCC, 2014) apresenta quatro cenários de emissões de gases de efeito estufa, sendo um cenário de mitigação rigoroso (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.6 e RCP6.0) e um cenário considerando altas emissões (RCP8.5).

Além disso, as cidades são os principais contribuintes para as mudanças climáticas, mas, ao mesmo tempo, as áreas urbanas também estão entre os lugares mais vulneráveis do mundo (VUKMIROVIC *et al.*, 2019). Diante disso, no Brasil, mais de dois terços da população é urbana, e esse número deverá aumentar nos próximos anos, potencializando os efeitos das alterações climáticas.

O desenho urbano pode ter um grande impacto nas mudanças climáticas (VUKMIROVIC *et al.*, 2019). Sarralde *et al.* (2015) afirmaram que a forma de um edifício tem um efeito considerável na variação da temperatura do ar interno dos edifícios, principalmente quando estão no contexto urbano. Assim, planejar a morfologia urbana do ambiente construído em escala urbana é uma questão fundamental para uma adaptação ao clima (MARTINS *et al.*, 2016).

A relação entre forma urbana e sustentabilidade ambiental tem sido discutida entre estudiosos e profissionais que trabalham no campo do planejamento e design urbano. Um dos principais focos da análise foi investigar se a forma das cidades e de bairros está relacionada à sua eficiência energética, principalmente em termos da intensidade energética dos edifícios e dos transportes (MARTINS *et al.*, 2016 e ZHANG *et al.*, 2019). No entanto, para analisar o desempenho energético global de um sistema urbano, pode-se avaliar o consumo e a geração de recursos (SARRALDE *et al.*, 2015).

A aplicabilidade das tecnologias de economia de energia para tornar as cidades mais ambientalmente sustentáveis pode ser fortemente influenciada pela forma da cidade, pelos usos dos edifícios e por seu padrão de densidade. Nas próximas décadas, o planejamento urbano sustentável deve enfrentar dois grandes desafios: promover medidas de adaptação para mitigar os efeitos locais das mudanças climáticas e avançar em direção a um novo paradigma energético.

Muitas cidades, hoje, estão empenhadas em aumentar a eficiência energética dos edifícios e a fração de energias renováveis, especialmente em novos empreendimentos urbanos. No entanto, dados quantitativos sobre o desempenho energético de edifícios em função da densidade urbana, compactidade do edifício e orientação, uso de construção e opções de abastecimento raramente estão disponíveis durante o projeto de novas cidades ou análise de cenário inicial para bairros urbanos existentes, tornando difícil para as cidades avaliarem efetivamente quais conceitos funcionam hoje e no futuro (EICKER *et al.*, 2015).



Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das mudanças climáticas nas condições térmicas internas de edificações, considerando diferentes morfologias urbanas.

## METODOLOGIA

O processo metodológico consiste em:

- i) estruturação e definição dos cenários urbanos;
- ii) elaboração dos cenários climáticos futuros;
- iii) simulação do desempenho térmico da edificação na condição naturalmente ventilada, para a avaliação das condições internas por meio do modelo adaptativo de conforto, considerando-se a morfologia urbana (Figura 1).

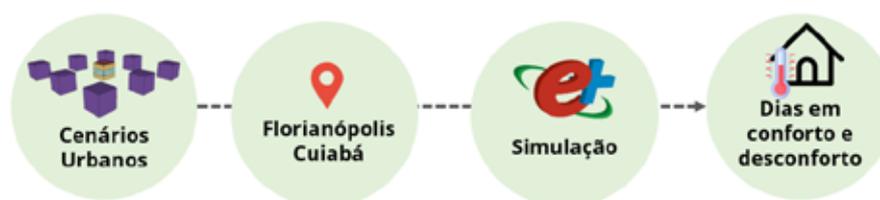


Figura 1: Processo metodológico.

## Definição dos cenários urbanos

Os cenários urbanos consistem em módulos únicos, sem divisões internas em um único volume. Esses módulos foram considerados em quadras, totalizando nove configurações, com volumes de 27 m<sup>3</sup> (cenários 1A, 1B e 1C) e 54 m<sup>3</sup> (cenários 2A, 2B, 2C e 3A, 3B e 3C) (Tabela 1).

O entorno apresenta a mesma característica dos módulos, se diferenciando na altura e tamanho da base. Assim, têm-se entorno de 27 m<sup>3</sup> (Cenários 1A, 2B, 3B) e de 54 m<sup>3</sup> (Cenários, 1B, 1C; 2A, 2C; e 3A, 3C) (Tabela 1). Os afastamentos considerados entre os módulos e o entorno é fixo de 3 m, entre eles.

Os módulos e os cenários têm o objetivo de tornar as simulações mais próximas do contexto de quadras urbanas, principalmente no âmbito do sombreamento e alturas dos edifícios. Esse tipo de simulação inspira-se em várias literaturas que adotam tais variantes como forma de verificar as influências de maneira simplificada do meio urbano (SARRALDE *et al.*, 2015; FONSECA *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2016; SAVVIDES *et al.*, 2019; SHI *et al.*, 2021).

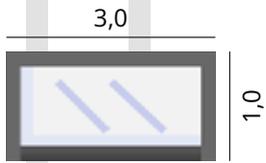
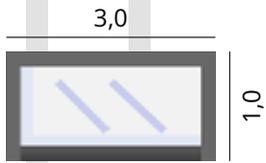
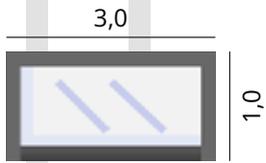
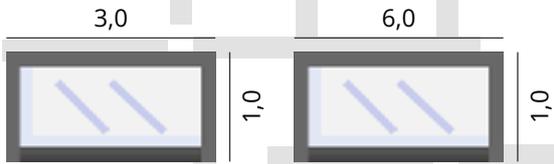
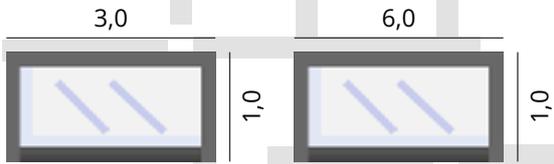
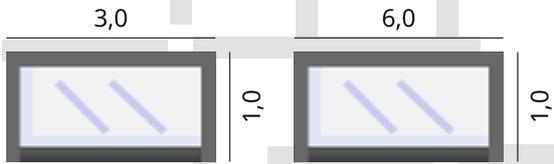
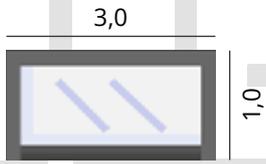
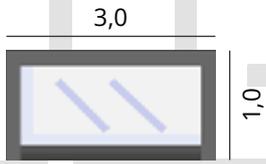
ID	Módulo (m)	Janelas do módulo (m)	Entorno (m)
3C			3x6x3
1A	3x3x3		3x3x3
1B			3x3x6
1C			3x6x3
2A	3x6x3		3x6x3
2B			3x3x3
2C			3x3x6
3A	3x3x6		3x3x6
3B			3x3x3

Tabela 1: Características dos cenários urbanos analisados. Fonte: Dos autores (2022).

### Elaboração dos arquivos climáticos futuros

Para geração dos arquivos climáticos futuros, a metodologia Morphing (BELCHER; HACKER; POWELL, 2005) vem sendo amplamente utilizada nas literaturas atuais (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2018; GUARDA *et al.*, 2020). Essa metodologia modifica um conjunto de variáveis climáticas históricas de 8.760 horas e incorpora os efeitos das mudanças climáticas nos arquivos climáticos, permitindo a projeção do clima em cenários futuros. No entanto, com o intuito de otimizar e consolidar esse processo de geração dos arquivos climáticos futuros, o grupo de pesquisa Arup North America e Argos Analytics desenvolveram a ferramenta WeatherShift™, a qual utiliza como base a combinação de 14 Modelos Gerais de Circulação (GCMs).

A ferramenta disponibiliza o uso de dois cenários de emissões RCP 4.5 e RCP 8.5 do Quinto Relatório (AR5) do IPCC e de três projeções climáticas futuras, divididas em

fatias de tempo de 20 anos, sendo: 2035 (período de 2026-2045), 2065 (período de 2056-2075) e 2090 (período de 2080-2099), e apresenta como resultados arquivos climáticos futuros no formato EPW, amplamente utilizados em simulações de desempenho térmico e energético de edifícios e cidades.

Para esta pesquisa utilizou-se o cenário de emissão RCP4.5 para a projeção climática de 2035, utilizando como período histórico o arquivo climático SWERA de 1975-2005.

### Caracterização das regiões de estudo

Tomou-se como objeto de estudo as cidades de Cuiabá-MT, localizada no Cerrado brasileiro (região central), e Florianópolis-SC, localizada no sul do país no bioma da mata atlântica. Os perfis climáticos dessas cidades são classificados como Tropical (Aw) e Tropical Úmido (Cfa), respectivamente, conforme a classificação de Koppen-Geiger (PEEL, 2007).

Para fins de análise da evolução climática, investigou-se as três normais climatológicas disponíveis para os períodos de 1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010 pelo Inmet. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), definem-se Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” (WMO, 1998). Os arquivos climáticos do Inmet foram obtidos do banco de dado do BDMET para os períodos de ano mais histórico e 2019 (INMET, 2020) (Figura 2).

Comparando-se os dados históricos NC (1931-1960) e Inmet (2018 e 2019), observam-se aumentos na média anual da temperatura do ar de 0,57 °C em Cuiabá e de 1,43 °C em Florianópolis, em um período de em torno de 60 anos. Esse fato corrobora as projeções apresentadas pelo IPCC, cujo aumento da temperatura média global é 0,15 °C a 0,30 °C por década (IPCC, 2014). Além disso, as regiões de estudo apresenta um perfil de clima quente em Cuiabá e ameno em Florianópolis, se tornando interessante para a análise.

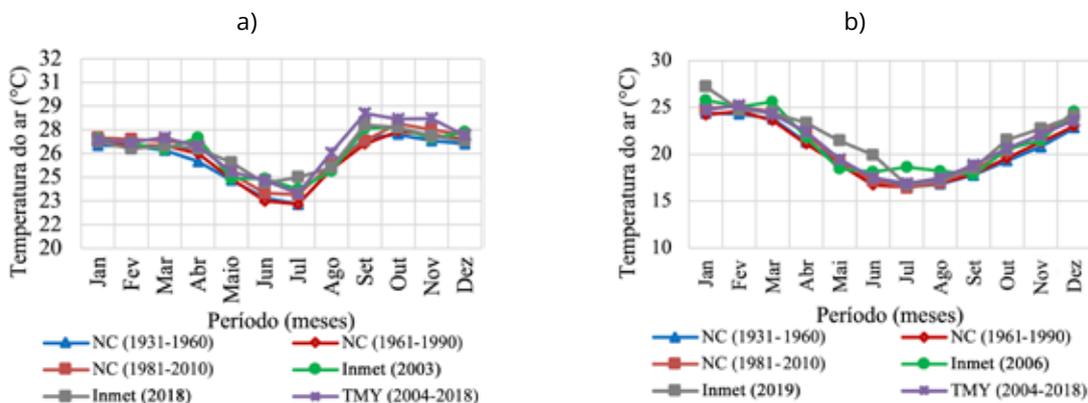


Figura 2: Caracterização climática das regiões de estudos. Fonte: Dos autores (2022).



## Caracterização dos sistemas construtivos dos módulos e simulação computacional

Tomou-se como referência a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), para a inserção das características construtivas e padrão de uso dos módulos em análise, assim, consideraram-se os módulos como um edifício de escritórios na condição de referência, conforme Anexo A da INI-C (BRASIL, 2021). As paredes são em argamassa interna e externa (2,5 cm), tijolo cerâmico (9 cm) e cobertura em telha de fibrocimento (1 cm), ático com resistência > 5 cm e laje maciça de concreto (10 cm) como forro. A Transmitância Térmica (U), a Capacidade Térmica (CT) e a absorvância ( $\alpha$ ) das paredes e coberturas são descritas na Tabela 2. O Módulos do entorno foram considerados como sombreamento, sem a inclusão de sistema construtivo.

Envoltória	$\alpha$	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)
Paredes externas e internas	0,5	2,39	150
Cobertura	0,8	2,06	233

Tabela 2: Propriedades termofísicas do sistema construtivo dos módulos. Fonte: BRASIL (2021).

As aberturas são de correr em vidro simples incolor de 6 mm (Tabela 1), com peitoril de 1,0 m. As propriedades termofísicas dos vidros foram consideradas como a condição de referência, conforme Anexo A da INI-C (BRASIL, 2021). Assim, o Fator Solar do vidro é de 0,82, a Transmitância Térmica é de 5,7 W/m<sup>2</sup>K e não considerou ângulos de sombreamentos e obstrução vizinha nas aberturas dos módulos.

Os módulos foram modelados no SketchUP por meio do Plugin OpenStudio e as simulações, realizadas no EnergyPlus, versão 9.3. Foram considerados 260 dias do ano de ocupação e 10 horas por dia, e a densidade de ocupação é de 10 m<sup>2</sup>/pessoa (BRASIL, 2021). As densidades de potência de iluminação e equipamentos, são de 14,1 W/m<sup>2</sup> e de 15,0 W/m<sup>2</sup> (BRASIL, 2021) Além disso, as temperaturas do solo foram consideradas do arquivo climático EPW de cada região à 1,5 m de profundidade.

## Indicador de conforto e desconforto térmico dos módulos

Os limites de conforto e desconforto térmico por calor e por frio foram baseados nos critérios descritos por De Dear e Brager publicados e apresentados na ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013), assim, tomaram-se esses limites como indicadores de conforto e desconforto térmico, para edifícios ventilados naturalmente.

Diante disso, computaram-se as horas de conforto e desconforto considerando a média mensal de temperatura externa (30 dias) para Cuiabá e Florianópolis no



período histórico e no RCP4.5 na projeção climática de 2035. Os níveis de conforto são dados pela Temperatura Neutra (Tn) definida pela Equação 1.

Após definir a Tn, o método estabelece limites de aceitabilidade térmica de 80% e 90% dos usuários satisfeitos, dado por  $Tn \pm 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $Tn \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente (ASRHAE, 2013). Dessa maneira, o limite adotado nessa pesquisa é de 80% dos usuários satisfeitos, conforme Equação 2 e 3.

$$Tn = 17.8 + 0.31 \times T_{\text{Med}} \tag{1}$$

$$T_{\text{superior}} = Tn + 3.5 \tag{2}$$

$$T_{\text{inferior}} = Tn - 3.5 \tag{3}$$

Onde: TC – Temperatura Neutra (°C);  
 TMed – Temperatura externa média mensal (°C);  
 Tsuperior – Limite Superior (°C);  
 Tinferior – Limite Inferior (°C).

## RESULTADOS

### Análise das condições térmica interna dos módulos no cenário histórico e nas projeções climáticas futuras

As temperaturas neutras irão aumentar frente às mudanças climáticas, apresentando aumento de +0,42 °C em Cuiabá e de +0,80 °C em Florianópolis, conseqüentemente, elevando os limites superiores e inferiores de conforto adaptativo (Tabela 3).

Cuiabá		
RCP 4.5	Histórico	2035
Tn (°C)	26.01	26.43
Tsuperior	28.51	29.93
Tinferior	23.51	22.93
Florianópolis		
RCP 4.5	Histórico	2035
Tn (°C)	21.00	21.80
Tsuperior	27.82	28.07
Tinferior	20.82	21.07

Tabela 3: Temperatura neutra e os limites de aceitabilidade térmica dos usuários. Fonte: Dos autores (2022).



Em Cuiabá, no período histórico, observa-se que todos os cenários urbanos estão dentro da faixa de aceitabilidade térmica, exceto o mês de setembro que ultrapassa o limite superior, ou seja, apresentando desconforto térmico por calor (Figura 3a). Os cenários 1, 2 e 3 em todas as condições ultrapassam o limite superior em setembro com temperaturas médias internas superiores a 29,1 °C, 29,05 °C e 28,9 °C, respectivamente.

Considerando os impactos das mudanças climáticas, observa-se aumento das temperaturas internas em todos os meses do ano e, conseqüentemente, tornando setembro mais quente. No entanto, destaca-se que os limites superiores aumentam em +1.42 °C, enquanto os inferiores reduzem em -0.58 °C. No entanto, todos os meses se enquadram nas faixas de conforto, exceto setembro (Figura 3b).

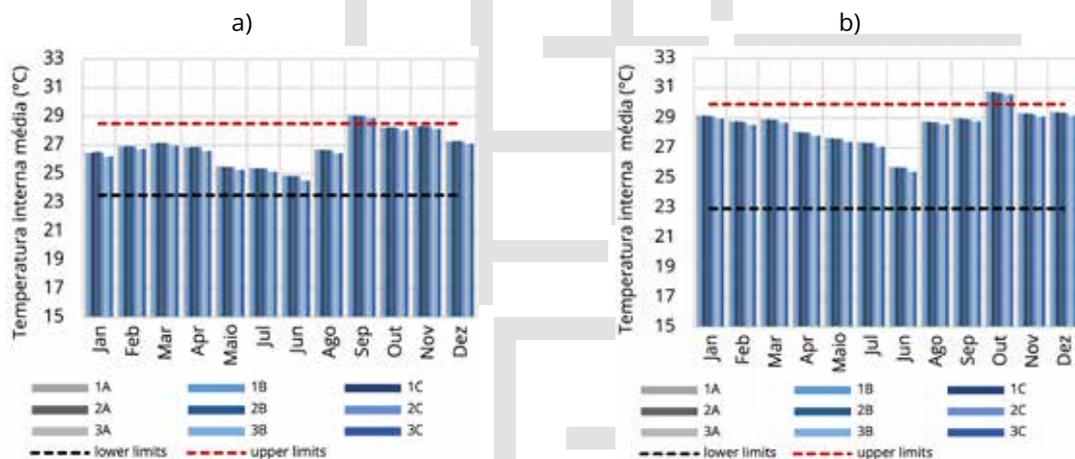


Figura 3: Temperaturas médias mensais e os limites superior e inferior em Cuiabá: a) no período histórico; b) RCP 4.5 no período 2035. Fonte: Dos autores (2022).

Em Florianópolis, no período histórico, todos os cenários urbanos obtiveram desconforto por frio nos meses de maio a setembro, com temperaturas médias mensais internas abaixo de 20,7 °C (Figura 4a). Nos demais meses os cenários ficaram dentro da faixa de aceitabilidade térmica.

Nas projeções climáticas futuras, as temperaturas internas ficam mais quentes, reduzindo os meses em que os cenários estão abaixo do limite superior, ou seja, com os impactos das mudanças climáticas o mês de maio se torna mais quente, ficando dentro da faixa de conforto. Assim, os meses de julho a setembro situam-se abaixo do limite inferior, com temperaturas médias mensais internas abaixo de 21,07 °C (Figura 4b). Além disso, observa-se que os meses de fevereiro e dezembro, apresentaram aumento médio em torno de +0,42 °C.

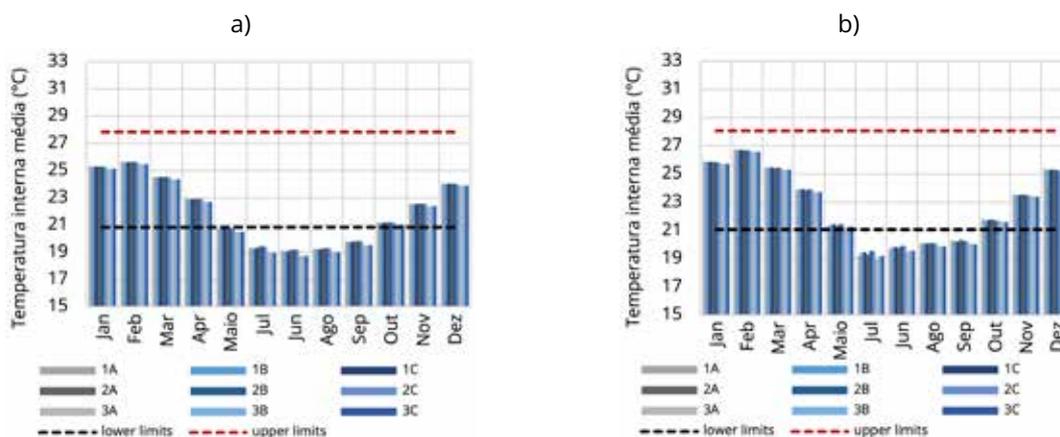


Figura 4: Temperaturas médias mensais e os limites superior e inferior em Florianópolis: a) no período histórico; b) RCP 4.5 no período 2035. Fonte: Dos autores (2022).

Neste contexto, observa-se que os impactos das mudanças climáticas influenciarão nas temperaturas internas dos edifícios, aumentando os meses que estão em risco de desconforto térmico. Em Cuiabá, esse risco ocorre nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, os quais aumentaram cerca de 2 °C no RCP4.5 em 2035. Em Florianópolis, o risco ocorreu em dezembro e fevereiro.

Além disso, ressalta-se que os cenários urbanos apresentaram temperaturas internas com pequenas diferenças, no entanto, o cenário 3A mostrou menores valores de temperatura interna, podendo ser justificado pelo fato de o módulo estar mais sombreado pelo entorno. Os cenários 1A, 1C e 2A e 2B apresentam maiores valores de temperatura interna em todas as análises, pois têm fachadas expostas à radiação e pouca influência do sombreado do entorno. Mesmo esses impactos sendo considerados mínimos, eles são acentuados nos meses extremos podendo influenciar em até 0,5 °C na média mensal dentro da edificação.

### Análise das condições de conforto e desconforto dos módulos no cenário histórico e futuro

Analisamos as condições de conforto e desconforto térmico por meio das temperaturas internas dos módulos e os seus formatos de cenários urbanos.

O cenário 1A, em Cuiabá, apresentou mais dias em desconforto por calor, sendo de 92 dias no período histórico, passando para 136 dias em 2035, aumentando em 32%. Conseqüentemente, as horas em conforto reduziram em -18% em relação ao período histórico, no cenário 1A (Figura 5a). Além disso, destaca-se que em todos os cenários as horas em desconforto por calor aumentaram nas projeções climáticas futuras, como destaque para os cenários que apresentam maiores áreas de fachada e aberturas expostas à radiação, como 1A, 2B, 3B e 3C.



Em Florianópolis, os cenários urbanos 1 e 2 apresentaram número maior de dias em desconforto por frio, com 152 dias em média, no período histórico (Figura 5b). Esse fato pode ter ocorrido pelo fato do pé-direito do módulo ser de 3,0 m, enquanto os módulos 3 A, B e C possuem o pé-direito de 6,0 m. Ressalta-se que no período histórico não ultrapassaram seis dias em desconforto por calor em todos os cenários. Considerando as mudanças climáticas, as horas em conforto aumentam em torno de 14% nos cenários 1 e 2, e de 15% no cenário 3 (Figura 5b). Os dias em desconforto por frio reduzem e, conseqüentemente, os dias em desconforto por calor aumentam em relação ao período histórico. Os cenários 1 e 2 apresentaram mais dias em desconforto por calor, sendo uma média de 14 dias.

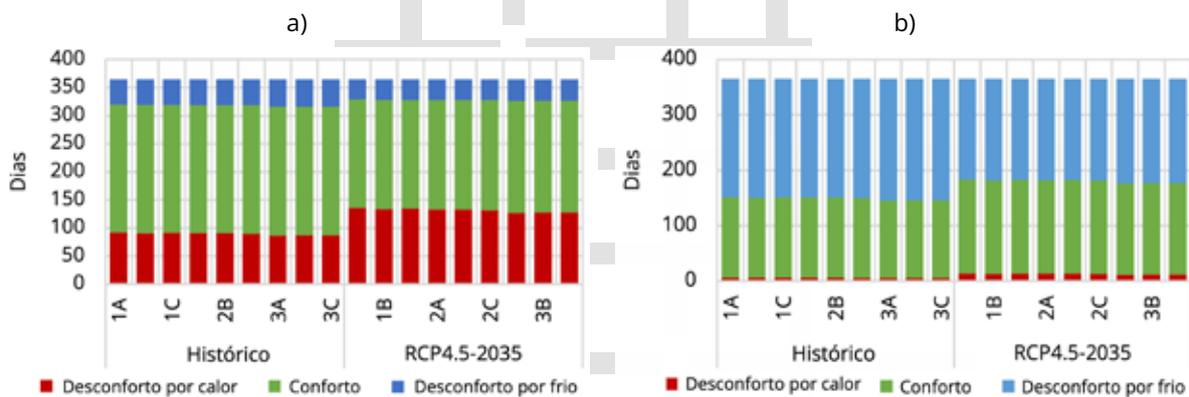


Figura 5: Dias em conforto e desconforto térmico: a) Cuiabá e b) Florianópolis. Fonte: Dos autores (2022).

Neste contexto, observa-se que em climas quentes, como Cuiabá, os dias em desconforto térmico aumentam e os dias em conforto reduzem, em ambos os cenários urbanos. E em climas onde a predominância no período histórico era de desconforto por frio, com a influência das mudanças climáticas, isso se reduz, elevando o desconforto por calor, como em Florianópolis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas irão afetar as condições internas dos edifícios, principalmente nas questões de aceitabilidade térmica dos usuários. Assim, observa-se que os limites de aceitabilidade aumenta nas projeções climáticas futuras, no entanto, mesmo considerando que o usuário se adapte, os cenários urbanos 1, 2 e 3 ultrapassam o limite superior em setembro, apresentando desconforto por calor, em Cuiabá no período histórico e em 2035.

Em Florianópolis, os impactos das mudanças climáticas elevam as temperaturas externas, influenciando nas internas e, conseqüentemente, reduzem o desconforto por frio. Assim, o mês de maio, que no período histórico ficava abaixo do limite inferior, em 2035 se enquadra na faixa de conforto, ou seja, tornando-se mais quente.



Além disso, em ambas as cidades, os cenários não apresentaram diferenças de temperaturas internas significantes entre si. No entanto, destaca-se que a influência do sombreamento, como nos cenários 1A, 2C e 3A do entorno, reduz as horas em desconforto por calor e aumenta as horas em conforto térmico no módulo, bem, como a influência do pé-direito como nos cenários 3.

Este trabalho traz cenários simplificados, o que também é um fator que deve ser considerado. Quanto maior a exposição à radiação da cidade, maior o impacto do sombreamento e, portanto, maior a carga térmica na cidade. Esse é o primeiro passo para otimizar o processo de aproveitamento da radiação solar de acordo com a forma urbana das cidades brasileiras. Assim, a influência do entorno urbano pode ser substancial para a mitigação desses efeitos, por meio do aumento do sombreamento e redução das áreas expostas. Nesse contexto o planejamento urbano se torna mais uma ferramenta para se pensar no conforto interno da edificação, para além das medidas consideradas de forma individual. A concepção do macro pode se tornar um importante aliado para redução dos efeitos das mudanças climáticas nas edificações.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, M.; POGGI, F.; AMADO A. R.; BREU, S. E-city web platform: a tool for energy efficiency at urban level. *Energies*, v. 11, n. 7, p. 1-14, 2018. DOI 10.3390/en11071857
- ARBOIT, M.; MESA, A.; DIBLASI, A.; LLANO, J. C. F.; ROSA, C. de. Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: the case of the city of Mendoza, in Argentina. 2. part. *Renewable Energy*, v. 35, n. 7, p. 1551-1558, 2010. DOI 10.1016/j.renene.2009.11.027
- ASHRAE. ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. Georgia, 2013.
- BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 26, n. 1, p. 49-61, 2005. DOI 10.1191/0143624405bt1120
- BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, (INMETRO). *Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021*. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021.



- EICKER, U.; MONIEN, D.; DUMINIL, E.; NOUVEL, R. Energy performance assessment in urban planning competitions. *Applied Energy*, v. 155, p. 323-333, 2015. DOI 10.1016/j.apenergy.2015.05.094
- FONSECA, J. A.; NGUYEN, T.-A.; SCHLUETER, A.; MARECHAL, F. City Energy Analyst (CEA): integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts. *Energy and Buildings*, v. 113, p. 202-226, 2016. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.11.055
- GUARDA, E. L. A. da. *et al.* The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: a case study in the Brazilian Savannah. *Sustainable Cities and Society*, v. 52, n. 101843, 2020. DOI 10.1016/j.scs.2019.101843
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Fifth Assessment Report*. Genova, Suíça, 2014.
- MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. E. G.; MARTINS, M. A. L. Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential in a Brazil tropical context. *Solar Energy*, v. 137, p. 11-24, 2016. DOI 10.1016/j.solener.2016.07.053
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1633-1644, 2007. DOI 10.5194/hess-11-1633-2007
- SARRALDE, J. J.; QUINN, D. J.; WIESMANN, D.; STEEMERS, K. Solar energy and urban morphology: scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, v. 73, p. 10-17, 2015. DOI 10.1016/j.renene.2014.06.028
- SAVIDES, A.; VASSILIADES, C.; MICHAEL A.; KALOGIROU, S. Siting and building-massing considerations for the urban integration of active solar energy systems. *Renewable Energy*, v. 135, p. 963-974, 2019. DOI 10.1016/j.renene.2018.12.017
- SHI, Z.; FONSECA, J. A.; SCHLUETER, A. A parametric method using vernacular urban block typologies for investigating interactions between solar energy use and urban design. *Renewable Energy*, v. 165, part. 1, p. 823-841, 2021. DOI 10.1016/j.renene.2020.10.067
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. *Energy and Buildings*, v. 158, p. 1379-1392. 2018. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.11.003



VAN HOOFF, T.; BLOCKEN, B.; TIMMERMANS, H. J. P.; HENSEN, J. L. M. Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. *Energy*, v. 94, p. 811-820, 2016. DOI 10.1016/j.energy.2015.11.036

VUKMIROVIC, M.; GAVRILOVIC, S.; STOJANOVIC, D. The improvement of the comfort of public spaces as a local initiative in coping with climate change. *Sustainability*, v. 11, n. 23, 2019. DOI 10.3390/su11236546

ZHANG, J. *et al.* Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Applied Energy*, v. 240, p. 513-533, 2019. DOI 10.1016/j.apenergy.2019.02.033

