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

Conforto térmico para pedestres do projeto de urbanismo tático no centro histórico de Santiago

Confort Térmico Peatonal del Proyecto de Urbanismo Táctico en el Centro Histórico de Santiago

Pedestrian Thermal Comfort of the Tactical Urbanism Project in Santiago's Historic Centre

Conforto térmico em edifícios e cidades / Confort térmico en edificaciones y en ciudades / *Thermal comfort in buildings and cities*

Cárdenas-Jirón, Luz Alicia
Dra. Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago, Chile, lcardena@uchile.cl

Elgueta, Hernán
Magister en Dirección de Empresas Constructoras e Inmobiliarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile, helgueta@uchile.cl

Resumo

O projeto de Urbanismo Tático realizado na Rua Bandera, no coração do centro de Santiago, nos últimos cinco anos consistiu em um projeto de revitalização urbana carente de condições térmicas, em uma área de escritórios e bancos ambientalmente degradada. O objetivo é quantificar o conforto térmico na rua durante uma onda de calor no verão de 2024. O monitoramento in situ foi realizado por três dias durante 6 horas, registrando a temperatura do ar, a umidade relativa, a temperatura do globo, a velocidade do vento. O indicador Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) revelou condições de estresse térmico elevado, com aumento de 15°C de PET por fachadas de vidro, concreto armado e mobiliário de cimento em espaços públicos; equivalente a reflexões, acumuladores e dissipadores de energia. A principal contribuição é revelar uma diminuição no efeito de resfriamento das ruas sombreadas devido às propriedades físicas e ópticas das fachadas urbanas, elevando-as a níveis de risco devido ao estresse térmico.

Palavras-chave: Conforto térmico. Urbanismo Tático. PET. Onda de calor

Resumen

El Urbanismo Táctico emprendido en la calle Bandera, en el corazón del centro de Santiago durante el último quinquenio, consistió en una revitalización urbanística carente de la condición térmica, en una zona de oficinas y bancos, degradada ambientalmente. El objetivo es cuantificar el confort térmico en la calle durante una ola de calor en verano 2024.Un monitoreo in situ se realizó por tres días durante 6 horas registrando temperatura del aire, humedad relativa, temperatura de globo, y vientos. El indicador Physiological Equivalent Temperature (PET) reveló altas condiciones de stress térmico, incrementadas en 15°C PET por fachadas acristalada, de hormigón armado y mobiliario de cemento en espacio público; equivalentes a reflexiones, acumuladores y disipadores de energía. El principal aporte es develar una disminución del efecto de enfriamiento de la calle sombreada debido a las propiedades físicas y ópticas de las fachadas urbanas, aumentando hasta niveles de riesgo por stress de calor.

Palabras clave: Confort térmico. Urbanismo Táctico. PET. Ola de calor

Abstract

The Tactical Urbanism, undertaken on Bandera Street, in the heart of downtown Santiago during the last five years, consisted of an urban revitalization project lacking thermal conditions in an environmentally degraded office and banking area. The objective is to quantify thermal comfort on the street during a summer heat wave in 2024. In-situ monitoring was conducted for three days and lasted six hours, recording air temperature, relative humidity, globe temperature, and wind speeds. The Physiological Equivalent Temperature (PET) indicator revealed high thermal stress conditions, increased by 15°C PET by glass facades, reinforced concrete, and cement furniture in public spaces; equivalent to reflections, energy accumulators, and dissipators. The main contribution is to reveal a decrease in the cooling effect of the shaded street due to the physical and optical properties of urban facades, increasing to heat stress risk levels.

Keywords: Thermal Comfort. Tactical urbanism. PET. Heatwave

Urbanismo tático no centro histórico de Santiago: Rua Bandera.

A cidade de Santiago do Chile, diante do desafio da melhoria constante, interveio em seu centro histórico em 2013 na rua Bandera para a construção da linha 3 do trem subterrâneo. Isso levou ao fechamento temporário da via, causando externalidades negativas, como espaços residuais, impactos ambientais, diminuição e impacto na atividade econômica, ou seja, uma deterioração urbana temporária que resultou em problemas temporários para a comunidade (Berigüete, 2022). Em 2017, a autoridade que administra esse espaço público decidiu realizar uma intervenção por meio de planejamento urbano tático, dada a natureza temporária e a necessidade de impacto (Contreras-Cerón, 2021).

O projeto contemplava a intervenção de parte da rua Bandera como um passeio temporário para pedestres, cuja proposta previa três seções: Conexão Social, Sustentabilidade e Patrimônio (Figura 1). A proposta de arte visual considerou a pintura do piso com cores diferentes e um desenho geométrico relacionado ao objetivo de cada espaço. Foram incorporados móveis de madeira, aço e concreto com formas adaptadas ao projeto e luminárias.

Assim surgiu o projeto Urbanismo Tático, localizado no coração do centro histórico da cidade de Santiago. Ele consistia em um projeto de revitalização urbana em uma área ambientalmente degradada de escritórios e bancos. Essa área era caracterizada por um alto fluxo de transporte público-privado que gerava grande congestionamento de veículos, ruído, calor e material particulado com odores e poluição. O tráfego de pedestres era diretamente afetado por esses efeitos da rua Bandera. A revitalização abrangeu um conjunto de ações funcionais e estéticas que melhoraram parcialmente a qualidade de vida nas ruas e a mobilidade dos pedestres, mas não consideraram o bem-estar térmico humano.

O objeto de estudo: a passarela de pedestres na rua Bandera.

A seleção do objeto de estudo está na relevância do projeto de planejamento urbano tático cujo objetivo era melhorar a mobilidade de pedestres em uma rua central de altíssimo valor agregado e intensidade de uso (CIDEU, 2020).

Figura 1: Intervenções de Urbanismo Tático nos três trechos da Rua Bandera e fachadas urbanas. Seção de medição (canto superior esquerdo), 3ª e 1ª seção (canto inferior esquerdo) Fachadas 3D na seção de medição (direita)



Fonte: Elgueta y Segabi (2024)

O clima mediterrâneo da cidade de Santiago é Csb (Köppen-Geiger), com verões quentes e secos e invernos frios e úmidos (Climate Data, 2024). Ondas de calor mais frequentes, intensas e numerosas foram registradas nos últimos 30 anos (DMC, 2024). O espaço urbano da rua Bandera tem orientação norte-sul (N-S) e é composto de arquitetura moderna com edifícios corporativos altos (20 andares) em ambas as calçadas. Possui fachadas contínuas com alguns recuos para acesso de pedestres. Os materiais da fachada urbana são vidro em paredes de cortina, concreto armado exposto e estuque em painéis de fechamento (Figura 1). Os pisos são pavimentados com lajes e concreto armado na calçada-rodovia. A morfologia do tecido urbano predominante apresenta uma alta ocupação de edifícios. O fator de céu visível é de 0,2, o que equivale a um alto nível de fechamento que também afeta a troca de fluxos radiativos (Santamouris, 2001).

Discussão da literatura

A ilha de calor da temperatura do ar próxima ao solo (ICU) tem sido amplamente estudada, mas não reflete diferenças microclimáticas em locais adjacentes dentro da cidade, nem descreve a baixa magnitude do efeito ilha durante o dia. A temperatura do ar ao nível da rua

também não reflete o estresse térmico humano. (Aleksandrowicz e Pearlmutter, 2023). Esses autores demonstram que a exposição ao sol e o fornecimento de sombra têm um efeito mais significativo no estresse por calor no verão em um clima mediterrâneo seco do que a temperatura do ar, a umidade relativa e o vento.

Xu et al (2025) destacam o papel crucial das sombras das ruas na eficácia do resfriamento e na mitigação do estresse por calor em condições extremas em clima tropical úmido. Esses autores analisam três fatores em tipologias de ruas sombreadas e ensolaradas: morfológico, risco de estresse e conforto térmico. Eles descobriram que apenas mudanças limitadas ocorrem ao modificar o fator do céu visível; Em vez disso, há reduções significativas nos níveis de estresse, de muito forte para moderado; e há redução na temperatura do ar, Temperatura Radiante Média e indicador térmico UTCI em rua sombreada.

O efeito da refletividade das fachadas de uma rua no ambiente térmico tem sido estudado por vários motivos; o aumento do calor, ou o desconforto do ofuscamento nos pedestres, e de várias perspectivas. (Wen e outros 2023). O projeto de fachadas utilizando formas baseadas em origami reduz a radiação solar em 61% em média (Meloni et al., 2023); enquanto Poore (2024) analisa materiais retrorrefletivos em fachadas, que ao contrário de materiais altamente refletivos, esses novos materiais refletem a luz solar incidente com dispersão limitada, redirecionando-a na mesma direção de sua fonte.

Yuan et al., 2021 compara o efeito de três tipos de fachadas: refletividade difusa, reflexão especular (espelho) e retrorreflexiva nos fluxos de luz solar e calor. Eles descobriram que as temperaturas do ar em um cânion urbano são entre 0,04°C e 0,13°C mais altas em fachadas com reflexão especular. O uso de materiais de fachada com altos coeficientes de reflexão pode reduzir os efeitos do calor e da luz. Os materiais de fachada podem absorver ou emitir radiação solar, que é representada pelo albedo e pela emissividade. Esta última propriedade depende também da temperatura da fachada e dos fluxos convectivos, alterando os balanços energéticos na rua (Santamouris, 2001). Por exemplo, a radiação infravermelha (W/m2) emitida em uma estrada de asfalto ou em um telhado preto pode ser reduzida aproximadamente pela metade se houver uma velocidade do vento de 15 m/s.

Outros autores que utilizaram o indicador PET em cidades de clima mediterrâneo indicam que o estresse térmico é maior durante o dia do que à noite (Matzarakis e Mayer, 1991).

Objetivos

O objetivo da pesquisa é quantificar a condição de conforto térmico na rua durante uma onda de calor no verão e compará-la com um espaço aberto localizado na estação meteorológica oficial.

Metodologia

A metodologia é quantitativa e consistiu no monitoramento realizado na rua com um instrumento de medição fixo. Um sensor Kestrel 5400 (Heat Stress Tracker) com um anemômetro e um balão de cobre preto (25 mm) foi colocado em um tripé de metal colocado na calçada a uma altura de 1,1 m do chão. As variáveis registradas foram a temperatura ambiente (°C), a umidade relativa (%), a temperatura do balão (°C) e a velocidade do ar (m/s).

As medições foram feitas durante dois períodos de ondas de calor no verão. O primeiro ocorreu entre 20 e 24 de janeiro de 2024 e o segundo entre 30 de janeiro e 3 de fevereiro de 2024. Os dias registrados foram 23, 30 e 31 de janeiro de 2024, entre 11:00 e 17:00 horas, com céu limpo. A frequência dos registros foi a cada 1 minuto e, em seguida, foi obtido um valor médio por hora para cada uma das variáveis analisadas. Com a temperatura do balão, foi estimada a temperatura radiante média dos espaços externos, que reflete os fluxos emitidos e refletidos pelas superficies que compõem o espaço urbano.

O indicador Physiological Equivalent Temperature (PET) (°C) foi usado para determinar a condição de estresse ao longo do dia usando os registros do trabalho de campo na rua Bandera. As premissas de cálculo consideram um pedestre (homem de negócios típico) de 1,75 m de altura, peso de 75 kg, metabolismo de 80 W/m2 e 0,9 clo. Os dados de entrada foram Ta (°C), RH (%), Vs(m/s) e Tmrt (°C). Para qualificar os níveis de estresse térmico, foi usada a proposta regional da Europa Ocidental (Matzarakis e Mayer, 1996), devido à sua semelhança com o clima mediterrâneo de Santiago. Por outro lado, os valores de PET foram calculados para os mesmos dias, mas usando os registros meteorológicos da estação Quinta Normal, localizada dentro da cidade de Santiago e situada em um espaço aberto, plano e gramado. Apresenta condições ótimas de configuração espacial segundo a Organização Meteorológica Mundial, com fator de céu visível de 0,9; Ela foi escolhida porque representa a estação de referência e, portanto, serve para trabalhos futuros. Por fim, ambos os valores do

indicador térmico PET são comparados, considerando as diferenças morfológicas espaciais e radiativas entre o espaço da rua e o espaço aberto.

Resultados

A comparação da temperatura do ar ambiente entre o espaço da rua e o espaço aberto da estação meteorológica Quinta Normal (QN) mostra que, entre 12:00 e 15:00 horas, há uma temperatura mais alta na rua Bandera do que no espaço QN. Isso pode ser explicado pelo aquecimento das superfícies da fachada e do piso que transmitem calor para a massa de ar do cânion urbano (rua), que fica retida devido à alta relação altura/largura < 1. Por outro lado, depois das 15:00 horas e até as 17:00 horas, a temperatura do ar na rua diminui ligeiramente em relação ao espaço aberto da QN. Isso pode ser explicado pelas sombras projetadas na rua pelas fachadas ocidentais (Figura 2).

A ilha de calor no dossel urbano indica que as diferenças de temperatura entre um espaço construído e um espaço aberto tendem a aumentar no primeiro caso, geralmente após o pôr do sol (Stewart et Mills, 2021). Essa tendência ainda não é claramente observada neste estudo, porque as medições são concluídas antes do pôr do sol, devido ao uso das ruas durante o dia.

Figura 2: Comparação da temperatura do ar (°C) no rua Bandera e no espaço aberto em 23, 30 e 31 de janeiro de 2024 (esquerda) (centro) (direita).



Fonte: Cárdenas-Jirón (2024)

Como a temperatura do ar não reflete as condições de estresse térmico humano em espaços externos, o PET é um dos indicadores que melhor representa o conceito e é mais amplamente

aplicado devido à sua adequação à escala de rua e à mobilidade de pedestres. (Cárdenas-Jirón et al., 2023).

Xu et al (2025) observaram uma diferença média de 0,8°C na temperatura do ar entre uma rua sombreada e uma rua ensolarada. Na Rua Bandera, o dia fica ensolarado das 11h às 13h. e então sombrio. Ao meio-dia, a temperatura média dos três dias foi de 27,7°C, subindo até às 17h, atingindo um pico de 34°C às 14h, que corresponde ao período de sombra. (Figura 2). Essa observação não confirma os resultados dos autores, visto que as temperaturas mais altas ocorrem durante os períodos de sombra em comparação ao período de sol na Rua Bandera. O que poderia ser interpretado pela influência do material das fachadas; que refletem radiação de ondas curtas e longas durante um período de 3 horas, aumentando o estresse térmico a níveis muito altos e arriscados. É uma dinâmica energética que absorve, acumula e devolve energia para a rua, que depois se dissipa no final da tarde por convecção. Assim, o espaço da rua sombreada tem uma temperatura mais alta do que a rua ensolarada, mas temperaturas mais baixas em comparação ao espaço aberto ensolarado; exceto no horário de pico, entre 13h00 e 14h00 (Tabela 1). A diferença nesta pesquisa registra valores diferentes em relação ao Xu, visto que corresponde a outro clima, tropical úmido e não mediterrâneo.

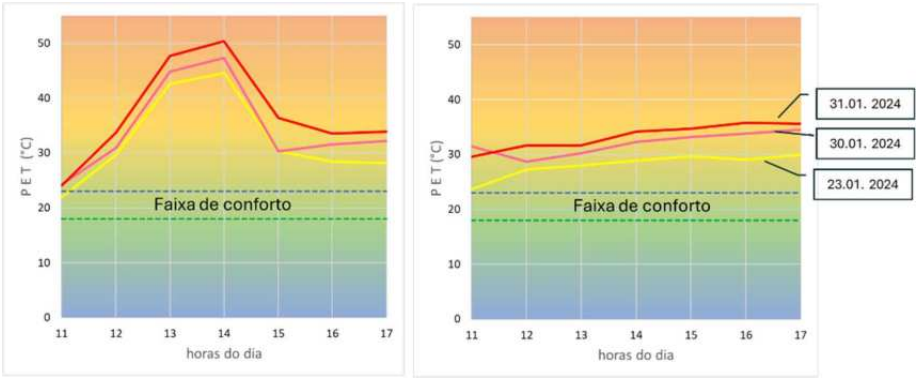
Tabela 1: Temperaturas horárias do ar (Ta) na Rua Bandera e no espaço aberto QN, diferenças e condições térmicas.

Tempo de medição	Ta médio (3 dias) em Rua Bandera	Ta médio (3 dias) em espaço aberto QN	Diferença entre rua e espaço aberto	Condição térmica Sombra do sol Na Rua Bandera	Condição térmica Sombra do sol Na Rua Bandera
11:00	25.1	25.5	-0.4	Sol	Sol
12:00	27.7	27.9	-0.2	Sol	Sol
13:00	32.8	29.4	3.4	Sol	Sol
14:00	34.0	31.8	2.2	Sombra	Sol
15:00	32.4	33.1	-0.7	Sombra	Sol
16:00	31.9	33.6	-1.7	Sombra	Sol
17:00	31.9	33.7	-1.8	Sombra	Sol

Fonte: Cárdenas-Jirón, 2024.

O indicador Physiological Equivalent Temperature (PET) calculado para a rua mostra diferentes graus de estresse por calor no período registrado. A curva de valores está acima da faixa de conforto PET (18°C a 23°C). Observa-se um nível crescente de estresse, atingindo valores extremos (> 41°C) entre 13:00 e 14:00 horas, e depois diminuindo à tarde para um nível de estresse moderado a leve. Em contraste, a Temperatura Fisiológica Equivalente calculada para o espaço aberto Quinta Normal mostra uma situação diferente; ela oscila entre níveis de estresse leve e moderado (Figura 3).

Figura 3: Temperatura fisiológica equivalente na rua Bandera (esquerda) e no espaço aberto na Quinta Normal (direita) sobre a faixa de conforto térmico, durante a onda de calor (23, 30, 31, janeiro de 2024).



Fonte: Cárdenas-Jirón (2024)

Os resultados indicam que o pico do PET ocorre uma hora após a exposição direta ao sol, conforme mostrado na Figura 3. Esse intervalo de tempo pode ser explicado pelo tempo que a radiação infravermelha leva para ser liberada dos pisos de concreto armado, fachadas e móveis fixos na Rua Bandera, com um aumento de 15°C no PET em comparação a um espaço aberto e completamente ensolarado. Isso é teoricamente consistente com os resultados de Aleksandrowicz e Pearlmutter (2023), mas não empiricamente. Esses autores ressaltam que o aumento do estresse térmico ocorre com a exposição à radiação direta e difusa do sol e do céu, que impacta as superfícies e, então, afeta negativamente o corpo do pedestre devido à radiação infravermelha e à radiação refletida. A diferença máxima encontrada no PET nas ruas, segundo os autores, chega a 14,79°C nas áreas expostas ao sol em comparação à sombra.

O superaquecimento produzido na rua com alto nível de estresse térmico ocorre principalmente devido à refletância das paredes-cortina e velocidades de vento muito baixas,

próximas a 0,6 m/s, em comparação a 2 m/s em espaço aberto. Com isso. Os fluxos convectivos ou advectivos seriam muito limitados para remover calor, segundo Santamouris (2001).

Conclusões

O conforto térmico foi quantificado em uma rua central com orientação N-S durante uma onda de calor no verão e comparado com o calculado para um espaço aberto localizado na estação meteorológica oficial da Quinta Normal (QN). Os resultados das diferenças no indicador térmico utilizado (PET) foram então interpretados. Durante os horários de pico, as temperaturas variam de 42°C a 50°C lá fora, enquanto ao ar livre, as temperaturas variam de 28°C a 34°C. Uma diferença média de 15°C no PET representa uma mudança significativa nos níveis de estresse térmico, muito maior na rua (extremo) do que em espaço aberto (moderado). Essa diferença numérica é semelhante à relatada por Aleksandrowicz e Pearlmutter (2023), mas na presente investigação o maior PET está localizado na rua sombreada e não no espaço aberto ensolarado. Isso se explica pela forte influência dos materiais de fachada nos espaços urbanos, que são altamente sensíveis às trocas de energia.

Uma limitação da pesquisa atual é a medição de ponto único, o que sugere perspectivas futuras de pesquisa. Realize outra medição simultânea no futuro em outro trecho da rua, com a mesma orientação, mas com materiais de fachada diferentes, para confirmar esses resultados. As condições microclimáticas e o conforto térmico devem ser considerados não apenas teoricamente em propostas de projeto urbano, mas também sugere-se que os resultados científicos sejam monitorados e aplicados em propostas de Planejamento Urbano Tático. A pequena escala é adequada para projetos sensíveis e resilientes ao clima urbano e seus eventos extremos (ondas de calor), para o bem-estar humano em espaços ao ar livre.

Referências

ALEKSANDROWICZ, O.; PEARLMUTTER, D. The significance of shade provision in reducing street-level summer heat stress in a hot Mediterranean climate**. Landscape and Urban Planning**, v. 229, p. 1 -14 . 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104588

BERIGÜETE-ALCANTARA, F. et al. ¿Cómo medir el impacto de las iniciativas ciudadanas en la sostenibilidad urbana? **ACE: Architecture, City and Environment**, Barcelona, vol. 17, núm. 49, jun. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.5821/ace.17.49.10413

CIDEU -. Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano. **Paseo Peatonal Bandera: Urbanismo Táctico**. Barcelona, 2020. Disponível em:

https://www.crm.cideu.org/index.php?q=civicrm/profile/create&gid=16&reset=1. Acesso em: 31 jul. 2024
CARDENAS-JIRON, L.A.; GRAW, K.; GANSWISCH, M. MATZARAKIS, A. Influence of street configuration on human thermal comfort and benefits for climate-sensitive urban planning in Santiago de Chile**. Urban Climate**. V. 47, p. 1-18, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101361
CONTRERAS-CERÓN, J. B. Una reflexión sobre urbanismo táctico, periferia marginal y participación ciudadana. **Revista Nodo**, Bogotá, vol. 15, núm. 30 mayo 2021. DOI: https://doi.org/10.54104/nodo.v15n30.826
ClIMATE DATA. Región Metropolitana de Santiago. **Climate Data**. Disponível em https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/region-metropolitana-de-santiago-107/ Acesso em: 06 ene. 2024
DMC – Dirección Meteorológica de Chile. “Olas de Calor”. **Boletín Climatológico**. Santiago: DMC, Vol. 117, N01, enero 2024 Disponível em: https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/boletinClimatologicoMensual/boletinClimatologicoMensual202401.pdf. Acesso em: jun. 2024
MATZARAKIS, A; Mayer, H. Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress. **WHO News**. Geneve: World Health Organisation, vol. 18, p 7–10., dec. 1996,
MELONI, M.; ZHANG, Q.; CAI, J.; LEE, D.S. Origami-based adaptive facade for reducing reflected solar radiation in outdoor urban environments. **Sustainable Cities and Society.** v. 97, p. 1-14, 2023. DOI: https:/ /doi.org/10.1016/j.scs.2023.1047 40
POORE, C. Retro-reflectors could help future cities keep theircool. Andlinger Center for Energy and the Environment. **Andlinger Center for Energy and the Environment**. Princeton University. USA. 2024
SANTAMOURIS, M. **Energy and Climate in the Urban Built Environment**. 1st ed. London: Routledge, 2001. 410 p.
STEWART, I.; Mills, G. **The Urban Heat Island**. A Guidebook. 1st ed. Amsterdam_Elsevier, 2021. 170p
XU, L.; BARDHAN, R.; MEI, H.; GOPALAKRISHNAN, S.; ZHENG, X.; SCHROEPFER, T. Harnessing street shade to mitigate heat stress: An in-situ parallel investigation under extreme heat conditions in tropical Singapore. **Science of the Total Environment**. v. 958, p. 1-12, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177864
YUAN, J.; FARNHAM, C.; EMURA, K. Effect of different reflection directional characteristics of Building facades on outdoor thermal environment and indoor heat loads by CFD analysis. **Urban Climate**. V. 38, p.1-14, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100875

WEN, J.; IGNATIUS, M.; CHEN, E.X.; WONG, N.H. Impacts of a highly reflective stainless-steel facade on a surrounding building: A case study in Singapore**. Sustainable Cities and Society**. v.90, p. 1-17, 2023. DOI: https:/ /doi.org/10.1016/j.scs.2022.104377

Agradecimentos */ Referencias / References*

Esta pesquisa é financiada pela Faculdade de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Fundo Interdisciplinar 2022. “Urbanismo Tático FAU N°1201120019102053.