

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/346702329>

# CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA URBANA CRÍTICA DE SANTIAGO DO CHILE

Chapter · December 2020

CITATIONS

0

READS

48

2 authors, including:



Hugo Romero  
University of Chile

179 PUBLICATIONS 2,159 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Centro de Investigación Interdisciplinaria en Desastres Socionaturales de la Universidad de Chile (CITRID) [View project](#)



FONDECYT N°1150701: Investigación participativa a través de observatorios ecológico-sociales de los cambios y variabilidades climáticas del altiplano andino del Norte de Chile [View project](#)

# CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA URBANA CRÍTICA DE SANTIAGO DO CHILE

*Hugo Romero  
Flávio Henrique Mendes*

## **1. A construção social dos espaços climáticos urbanos**

A discussão sobre os objetivos, características e métodos da climatologia geográfica devem-se relacionar com as propostas da geografia física crítica (LAVE, 2015) que aborda os problemas ambientais em geral, e os urbanos em particular, como sistemas integrados de estruturas e processos espaciais que unem condições biofísicas provenientes de subsistemas naturais, e socioeconômicas, pertencentes ao subsistema humano (SLAYMAKER, 2017).

A cidade é uma das principais construções da humanidade e apresenta severos problemas ambientais, dentre os quais se encontram os expressos pela climatologia urbana, ou seja, transformações do sistema atmosférico físico e químico que compõe a atmosfera que se localiza sobre, ao

interior e ao redor das cidades. Estas características atmosféricas e sua sucessão rítmica e habitual são causadas, ademais, pelas interações com o sistema social, representado no caso de Santiago por uma metrópole com mais de sete milhões de habitantes, que interpreta, gerencia e se apodera do clima como um bem e um serviço ambiental. Para os habitantes da cidade, o clima constitui parte de seu cotidiano e condiciona suas atuações, vestuários, natureza e tipos de casa, mobilidade, estado da saúde e expressões culturais de diversos tipos.

Pode-se supor que o clima urbano seja um serviço ambiental gratuito e, nesse sentido, um bem comum, disponível a todos os habitantes da cidade. No entanto, como Swyngedouw e Heynen (2003) declararam e Swyngedouw ratificou em 2018, esse tipo de elemento natural não existe na cidade contemporânea. Pelo contrário, todos os componentes do ambiente urbano, incluindo o clima e a qualidade do ar, são privatizados e comodificados, e estão dominados por modelos econômicos neoliberais aplicados na América Latina. O acesso a um clima benéfico dentro da cidade, isto é, seguro e saudável, depende da disponibilidade de renda econômica para adquirir a

parte do território e sua coluna de ar anexa e inclusa. Os climas urbanos constituem mais um produto daqueles que conformam cidades como Santiago do Chile, são constituídos por um mosaico de paisagens cujo conteúdo e qualidade são muito diversos entre os setores ricos e pobres que o compõem.

Os climas urbanos participam intensamente do processo de desigualdade ambiental nas cidades latino-americanas (ROMERO, 2019a). Existem diferenças muito significativas na distribuição de temperaturas, umidade, ventos e níveis de concentração de poluentes atmosféricos dentro de Santiago. As ilhas, arquipélagos e ondas de calor, umidade e ventilação e os locais mais seguros contra riscos hidroclimáticos são distribuídos na cidade de acordo com o exercício do poder político pelos setores que dominam o projeto, o planejamento e a construção da cidade (ROMERO, 2019b), aproveitando as áreas climáticas mais adequadas para oferecê-las ao mercado a preços mais altos. As áreas que registram valores meteorológicos extremos, as maiores concentrações de poluentes e os maiores riscos de secas, inundações e aluviões constituem a habitabilidade concedida aos mais pobres, que frequentemente as ocupam como a única maneira de resolver

sua urgência de ter um espaço no meio da injustiça e da desigualdade também representado pelos climas urbanos.

Do imenso conjunto de Zonas Climáticas Locais que correspondem aos vários bairros de Santiago, várias classificações foram tentadas na escala da Camada Limite Urbana e das Camadas do Dossel Urbano (ROMERO, 2019a). Dessa forma, foi verificada a existência de dois principais climas urbanos, localizados no leste e oeste da cidade.

O primeiro, correspondendo especialmente aos bairros ricos, registram as temperaturas mais baixas, níveis mais altos de umidade do ar, altas taxas de vegetação, maior ventilação ao nível do solo e em altura e, conseqüentemente, menores taxas de poluição do ar. O clima urbano resultante é sinônimo de alta qualidade de vida, comodidades, densidades populacionais mais baixas e a existência predominante de jardins, parques e ruas arborizadas. Os valores climáticos registrados são construídos, apreciados e oferecidos no mercado como parte de projetos imobiliários que consideram cada um desses atributos e os traduz monetariamente no preço final de residências, escritórios e apartamentos residenciais em prédios altos. A escassez desse tipo de hábitat aumenta seu

preço, especialmente quando seus atributos climáticos favoráveis são comparados ao clima ruim predominante no restante da cidade. Em oposição, no setor ocidental da cidade, as habitações de alta densidade, sem espaços verdes, têm um número e extensão maiores de ilhas e ilhotas de calor, umidade e ventilação, o que influencia uma qualidade inferior de vida e saúde ambiental prejudicada.

Estudos recentes indicam que a diferença de anos de vida entre os dois setores pode chegar a 18 anos para mulheres e 8 anos para homens (BILAL *et al.*, 2019). Em um dia de poluição atmosférica máxima, as concentrações de Material Particulado registradas no setor ocidental podem exceder em quatro vezes os valores do setor leste (ROMERO, 2019a). Quando essas diferenças se tornam desproporcionais e localizadas nas áreas ocupadas pelos habitantes com maior vulnerabilidade socioeconômica, é reconhecida a existência de injustiça ambiental, ou, nesse caso, mais propriamente, injustiça climática. A climatologia geográfica crítica deve levar em conta essas injustiças e comprometer seu conhecimento para que se coloque fim à situação, que, pelo contrário, e em

tempos de compromissos nacionais e internacionais contra as mudanças climáticas globais, estão aumentando dia a dia.

O objetivo dos estudos de caso apresentados neste capítulo tenta reconhecer as diferenças climáticas observadas entre dois setores selecionados, porque representam urbanizações recentes nos dois tipos de clima urbano, nos setores pobres e ricos. O bairro Estación Central situa-se a oeste do centro histórico de Santiago e, como o próprio nome indica, surgiu da instalação do principal terminal ferroviário que ligava a capital às cidades do sul. É um bairro que era tradicionalmente ocupado por trabalhadores industriais e de serviços que viviam em casas unifamiliares compactas e baixas, com pequenas áreas verdes nos pátios e ruas.

Os últimos anos marcados pela globalização e a segregação socioambiental dos espaços urbanos levaram à crescente presença de complexos residenciais com vivendas unifamiliares no setor leste, bem como conjuntos de arranha-céus e densidades reguladas pelos respectivos planos de uso da terra comunais. Esses espaços também sempre foram ocupados pelas classes média e alta de Santiago e os valores

das casas podem duplicar ou triplicar aos correspondentes no setor ocidental (IRARRÁZVAL, 2012).

As necessidades de novos espaços urbanos implicaram um processo de densificação e crescimento espacial em direção às periferias da cidade. Os grupos de maior renda expandiram-se para a pré-cordilheira andina e para terras exclusivas, cada vez mais distantes do centro, que os forçam a se mobilizar em carros particulares, para os quais foram construídas rodovias urbanas que no caso de Santiago exigem o pagamento de pedágio para circular por elas.

Os setores sociais médio e baixo, pelo contrário, foram localizados primeiramente em áreas cada vez mais distantes do centro e, posteriormente, cada vez mais nas áreas pericentrais danificadas pelo meio ambiente. Como dependem do transporte público representado pelos serviços de ônibus e, principalmente, da Ferrocarril Metropolitano (Metrô), preferem estar localizados em bairros como Estación Central, que concentra alta acessibilidade aos dois tipos de transporte e, portanto, foi transformado nos últimos anos em um local exigido por todos aqueles habitantes, principalmente imigrantes, que necessitam de acesso aos locais de trabalho,

comércio e estudos localizados a poucas quadras do centro histórico ou a médias distâncias médias dos bairros ricos, igualmente bem conectados. Como resultado, nos últimos anos, empresas imobiliárias privadas construíram arranha-céus, compostos por apartamentos realmente minúsculos ( $17m^2$ ), que mudaram os climas urbanos mais favoráveis típicos da urbanização anterior, em relação a outros, característicos de grandes complexos urbanos, formando verdadeiros desertos urbanos, altamente congestionados e poluídos pelas estradas de alta circulação que os atravessam. Por suas características sociais e diminuição da qualidade de vida, esses setores foram denominados "guetos" urbanos, em alusão às condições de segregação socioespacial concedidas pelo mercado a projetos especialmente projetados para esse segmento de clientes.

A transformação urbana do setor rico é representada neste estudo por uma seção no bairro Vitacura, a maior renda do país, onde são combinados edifícios de altura média separados por avenidas largas, com a existência predominante de áreas verdes correspondentes a pátios, parques, jardins e ruas arborizadas.

A partir deste estudo de caso é possível entender como os climas urbanos são socialmente construídos, levando em

consideração que os objetivos que permitiram a criação de tanta sorte de injustiça ambiental são explicados por razões políticas destinadas a favorecer a rentabilidade econômica da fábrica urbana. Parece ser uma tarefa irrevogável da climatologia geográfica urbana assumir seu papel crítico e socioambiental, fornecendo antecedentes científicos que capacitam comunidades afetadas não por um clima causado por fatores naturais, mas projetadas, construídas e gerenciadas para beneficiar apenas alguns habitantes da cidade.

## **2. Os métodos empregados para a análise do clima urbano**

Atualmente, existem várias ferramentas disponíveis para analisar o clima urbano e simular seu comportamento:

1) Geoprocessamento: representa o conjunto de técnicas usadas para obter informações espaciais, ou seja, para descrever padrões de distribuição de atributos ambientais e cruzar dados de várias fontes, como imagens de satélite, topografia, GNSS (GPS e GLONASS) etc. que podem alimentar um Sistema de Informação Geográfica (SIG);

2) Desenho, implementação e exibição de dados em um SIG;

3) Imagens de satélite: são fundamentais no geoprocessamento, sendo adquiridas por sensoriamento remoto a partir de um satélite artificial;

4) Sensoriamento remoto: é uma técnica de obtenção e representação de dados da superfície terrestre de modo remoto, ou seja, sem contato direto, por meio de sensores especializados;

5) Sensores infravermelhos: outra ferramenta muito interessante são as câmeras termais e termômetros de superfície. Com raios infravermelhos, é possível ver o comportamento de diferentes superfícies urbanas e, assim, dispor de informações sobre a distribuição das temperaturas de diversos objetos e superfícies que compõem o meio ambiente urbano (Figura 1);

6) MultiSpec: *software* gratuito desenvolvido em Purdue (EUA), capaz de identificar e quantificar a distribuição das classes de uso e ocupação do solo por meio de análises espectrais das imagens. A banda do infravermelho facilita a análise da vegetação, realizada com o uso do MultiSpec;

7) ENVI-met é um modelo desenvolvido na Alemanha, sendo capaz de realizar simulações microclimáticas, incluindo atributos da

superfície terrestre que influenciam a origem dos climas, tais como tipos de vegetação e suas alturas (árvores, gramado etc.), de solos (asfalto, concreto, areia, água, etc.), o ar e as edificações com suas alturas (BRUSE; FLEER, 1998). A ele se adiciona um arquivo com dados microclimáticos de temperatura potencial, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e umidade específica. Com estes dois arquivos (modelo e dados) é possível realizar simulações das condições climáticas locais.

Figura 1: Temperatura superficial em uma grande avenida, durante um dia quente de verão



Elaboração: os autores (2020).

No caso dos climas urbanos à escala de Zonas Climáticas Locais, as imagens de satélite permitiram reconhecer a distribuição das temperaturas superficiais, que correspondem ao calor emitido pelos diversos objetos da superfície terrestre ao interior dos setores da cidade, tais como edifícios, casas, áreas verdes e vias de circulação de transporte. À escala do dossel urbano dos setores selecionados na cidade de Santiago é importante ressaltar que, devido à localização desta ao interior de uma bacia ambiental cercada por cordilheiras, as simulações computacionais se tornam mais complexas. No entanto, proporcionam análises gerais que permitem identificar as potenciais mudanças no comportamento dos ventos e brisas no interior dos bairros, cujo comportamento é de suma importância para mitigar os efeitos das ilhas e ondas de calor e assegurar a capacidade da atmosfera de remover as concentrações de poluentes atmosféricos. As simulações foram feitas na Camada do Dossel Urbano com o *software* ENVI-met versão 3.1, conforme as recomendações de Mendes (2014).

A Figura 2 ilustra a morfologia das paisagens urbanas dos setores selecionados nos bairros Estación Central e Vitacura. Enquanto o primeiro apresenta 6,4% de seu recorte coberto por vegetação, o trecho de Vitacura atinge quase 44%. A seção Vitacura contém quase 7

vezes mais superfícies verdes que Estación Central. As superfícies construídas cobrem quase 20% a mais em Estación Central do que em Vitacura e o asfalto quase que dobra do primeiro em relação ao segundo (Tabela 1).

Figura 2: Vista aérea e distribuição das edificações e vegetação nos recortes dos bairros Estación Central e Vitacura



Fonte: Google Earth (esq). Elaboração: os autores (dir) (2020).

Os dados microclimáticos de entrada no modelo ENVI-met foram coletados pelo Aeroporto de Pudahuel, localizado a quase 20 km do centro histórico até o noroeste da cidade, para as médias de janeiro/2019, com ventos predominantes de direção sul (193°).

Tabela 1: Comparação do uso e cobertura do solo em cada recorte, feito no *software* MultiSpec

	Estación Central	Vitacura
Vegetação	6,4%	43,8%
Edificações	52,3%	33,7%
Asfalto	41,3%	22,5%

Elaboração: os autores (2020).

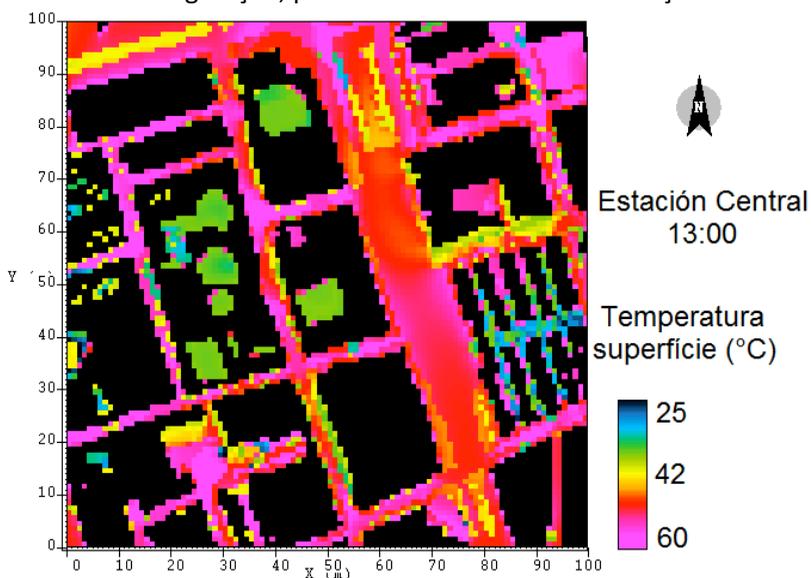
Para fins de simulação, foram considerados dois dias, descartando resultados do primeiro dia, para que o *software* fosse estabilizado. O processamento foi feito em um computador com processador Intel Core i5-3210M CPU @ 2,50 GHz e 4GB de RAM e levou aproximadamente 50 horas ininterruptas para cada área.

### **3. Diferenças nas estruturas urbanas e seu efeito sobre as temperaturas superficiais e a ventilação local**

Enquanto as alturas dos edifícios no recorte de Estación Central variam entre 4 e 96 m, em Vitacura são menos altas e mais

homogêneas, fluuando entre 5 e 50 m, aproximadamente, com exceção de um único edifício cuja altura atinge 75 m. Essas características dos edifícios são refletidas diretamente nas condições climáticas do dossel urbano, criando diferentes microclimas (OKE, 1978). As Figuras 3 e 4 indicam as temperaturas da superfície às 13h00 nos bairros, como resultado dos volumes e superfícies ocupados por materiais urbanos, que absorvem energia solar direta e pela contribuição de fontes móveis que circulam pelas ruas e avenidas.

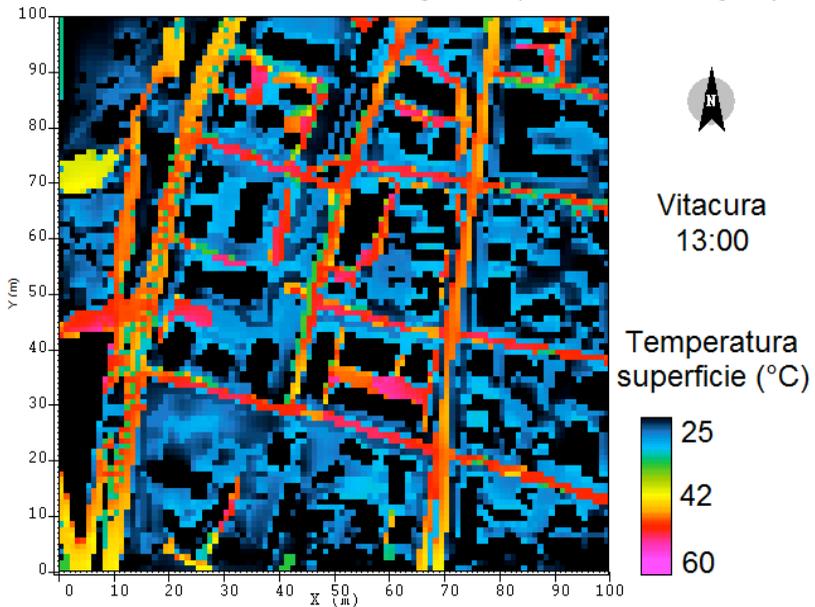
Figura 3: Temperatura de superfície em Estación Central, revelando muitas áreas quentes e corredores de calor, em vermelho, devido à ausência de vegetação, predomínio de asfalto e circulação veicular



Elaboração: os autores (2020).

Vitacura registra valores mais baixos de temperatura da superfície porque seus quarteirões são muito verdes, com jardins internos e ruas arborizadas. Os valores mais altos correspondem às temperaturas do asfalto, que variaram entre 45°C e 60°C, indicando a presença de corredores de calor, outra característica climática urbana causada pela infraestrutura necessária para a circulação de veículos e o calor emitido, que contribuíram pelo aumento incessante deles.

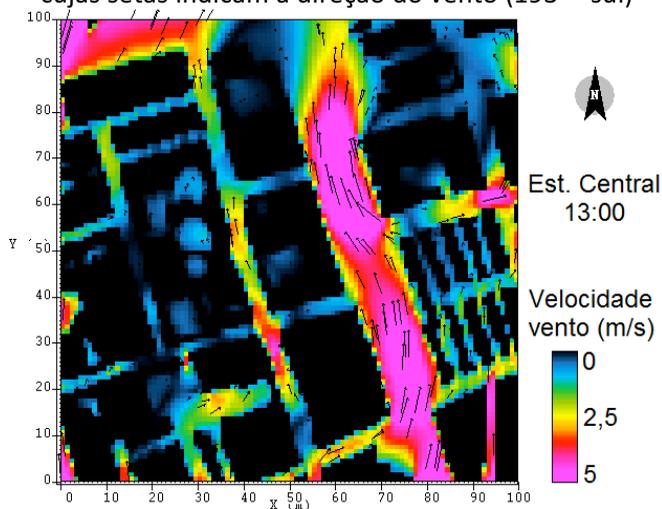
Figura 4: Temperatura de superfície em Vitacura, revelando muitas áreas de frescor, em azul, devido à grande quantidade de vegetação



Elaboração: os autores (2020).

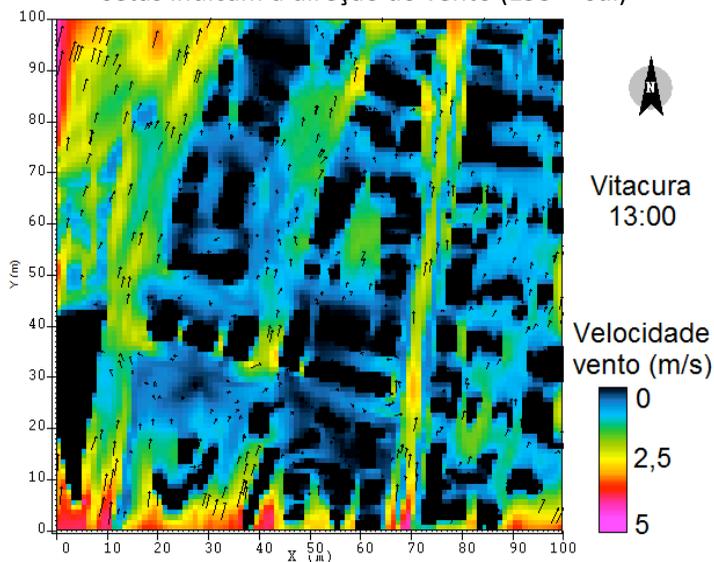
Igualmente quanto à ventilação, as áreas apresentaram comportamentos muito distintos e contrastados: ao nível do pedestre (2m), o bairro de Estación Central (Figura 5) tem uma ventilação mais irregular que Vitacura (Figura 6), devido ao desenho geométrico das ruas. Observa-se que as áreas menos ventiladas são vistas no interior dos complexos de edifícios de Estación Central, marcados por muitos cânions urbanos, com prédios altos e ruas estreitas, exceto a autopista localizada no meio do bairro, que é larga e sem vegetação.

Figura 5: Velocidade do vento a 2 m de altura em Estación Central, cujas setas indicam a direção do vento (193° - sul)



Elaboração: os autores (2020).

Figura 6: Velocidade do vento a 2 m de altura em Vitacura, cujas setas indicam a direção do vento (193° - sul)



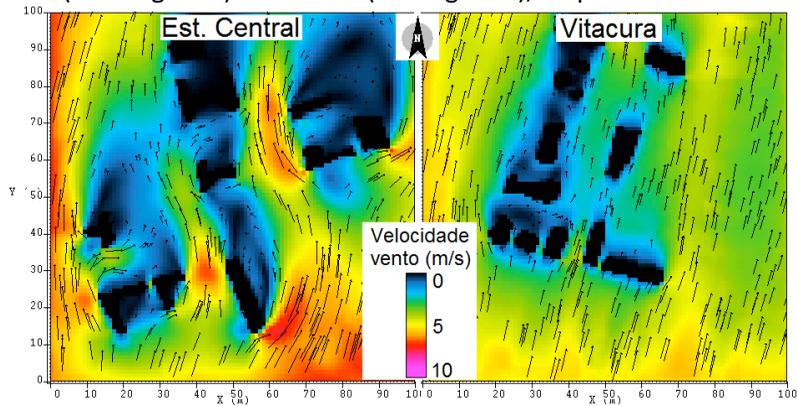
Elaboração: os autores (2020).

Também é notável o contraste entre os dois recortes da cidade ao comparar os campos de direção e velocidade dos ventos a uma altura de 10 m. Em Estación Central, vê-se claramente como os prédios praticamente eliminam a ventilação, gerando a sotavento dos altos prédios (áreas protegidas) as "zonas mortas" (ARISTODEMOU *et al.*, 2018) ou cavidades, uma vez que eles interromperam quase completamente os fluxos.

A velocidade simulada nessas áreas é muito baixa (1 m/s) em torno de seus prédios altos (entre 20 e 30 andares, que podem atingir até 100 m de altura), o que dificulta a dispersão de calor e poluentes atmosféricos, afetando o conforto e a qualidade dos climas urbanos. As principais avenidas e algumas partes das vias do bairro podem gerar corredores de vento orientados de acordo com a geometria das ruas. Dentro do tecido urbano só se nota a circulação de brisas ou ventos cuja baixa velocidade os torna imperceptíveis.

As áreas afetadas se estendem como amebas, cuja superfície depende da altura do obstáculo e que pode ser adicionada a outras áreas vizinhas. Em Vitacura, pelo contrário, ventos de velocidade em torno de 5 m/s cobrem quase toda a área urbana e os distúrbios produzidos pelos edifícios ocupam apenas poucas superfícies que fazem fronteira com outros prédios sem gerar as amebas mencionadas em Estación Central. Os perfis verticais do comportamento das camadas de ar em ambos os bairros indicam claramente o papel da frenagem desempenhada por prédios altos na Estación Central e a ausência de tais perturbações nos fluxos de ventilação no caso de Vitacura (Figura 7).

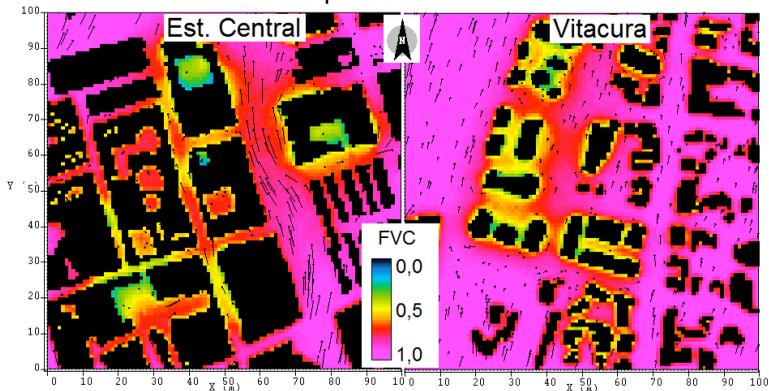
Figura 7: Ventilação a 10 m de altura em Estación Central (heterogênea) e Vitacura (homogênea), respectivamente



Elaboração: os autores (2020).

Finalmente, outra variável importante para analisar as mudanças climáticas é o Fator de Visão do Céu (FVC) - ou *Sky View Factor*, em inglês. O modelo ENVI-met também permite comparações entre as áreas. Para comparar os cânions urbanos, os mapas foram feitos a uma altura de 2 m de altura e considerando apenas a taxa de proporção entre prédios e ruas, sem vegetação (Figura 8).

Figura 8: Fator de Visão do Céu em Estación Central e Vitacura, respectivamente



Elaboração: os autores (2020).

Esse índice varia entre 0 e 1: quanto menor, mais obstáculos (edifícios) e, conseqüentemente, pode contribuir para explicar problemas microclimáticos adversos à qualidade ambiental. Índices com valores próximos a 0,9 são observados em Vitacura, representando baixas obstruções, enquanto, em Estación Central, valores próximos a 0,3 ou 0,4 até 0,9, com muita variedade de alturas em suas obstruções.

## Referências

ARISTODEMOU, E. *et al.* How tall buildings affect turbulent air flows and dispersion of pollution within a neighbourhood.

**Environmental Pollution**, v. 233, p. 782-796, 2018.

BILAL, U. *et al.* Inequalities in life expectancy in six large Latin American cities from the SALURBAL study: an ecological analysis. **The Lancet Planetary Health**, v. 3, n. 12, p. e503-e510, 2019.

BRUSE, M; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3-4, p. 373–384, 1998.

IRARRÁZAVAL, F. I. El imaginario "verde" y el verde urbano como instrumento de consumo inmobiliario: configurando las condiciones ambientales del área metropolitana de Santiago. **Revista INVI**, v. 27, n. 75, p. 73-103, 2012.

LAVE, R. Introduction to special issue on critical physical geography. **Progress in Physical Geography**, v. 39, n. 5, p. 571-575, 2015.

MENDES, F.H. **Tutorial para Iniciantes**: software ENVI-met versão 3.1. 2014. Disponível em: [http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:envi-met31\\_tutorial\\_iniciantes.pdf](http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:envi-met31_tutorial_iniciantes.pdf) Acesso em: 18 Mar. 2020.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen and Co., 1978.

ROMERO, H. Urban Climates and the Challenge of Sustainable Development of Chilean Cities. In: HENRÍQUEZ, C.; ROMERO, H. **Urban Climates in Latin America**. Cham: Springer International Publishing, p. 207-256, 2019a.

ROMERO, H. Islas, Ondas y Puntos de Calor: Contribuciones inadvertidas de La planificación y diseño urbano de las ciudades latinoamericanas al Cambio Climático Global. In: XXXIV Encuentro y XXIII Congreso de ARQUISUR, 2019b, Belo Horizonte. **Anais[...]**. Belo Horizonte: Asociación de Escuelas de Arquitectura de la UFMG, 2019.

SLAYMAKER, O. Physical geographers' understanding of the real world. **The Canadian Geographer**, v. 61, n. 1, p. 64-72, 2017.

SWYNGEDOUW, E.; HEYNEN, N.C. Urban political ecology, justice and the politics of scale. **Antipode**, v. 35, n. 5, p. 898-918, 2003.

SWYNGEDOUW, E. Politizando las ecologías políticas urbanas. **Investigaciones Geográficas**, v. 56, p. 153-167, 2018.