



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Caracterização de Cânions Urbanos e seus Efeitos Climáticos em Área com Intenso Processo de Verticalização na Cidade de Fortaleza, Ceará

Larissa Figueira Morais Correia Aguiar<sup>1</sup>, Marcus Vinícius Chagas da Silva<sup>2</sup>, Adilson Wagner Gandu<sup>3</sup>, Camille Arraes Rocha<sup>4</sup>, Rivelino Martins Cavalcante<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 60165-081, Fortaleza. (85) 33667020. larissamorais@gmail.com <sup>2</sup>Prof. Dr. do curso de Ciências Ambientais e coordenador do Laboratório de Observação da Terra (LOT), Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 60165-081, Fortaleza. (85) 33667020. mvcs81@hotmail.com <sup>3</sup>Prof. Dr. do curso de Ciências Ambientais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 60165-081, Fortaleza. (85) 33667020. adwgandu@gmail.com <sup>4</sup>Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 60455-760, Fortaleza. (85) 33669781. camilleufc@gmail.com <sup>5</sup>Prof. Dr. do curso de Ciências Ambientais e coordenador do Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOr), Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 60165-081, Fortaleza. (85) 33667035. rivelino@ufc.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 20/12/2016 e aceito em 16/05/2017

### RESUMO

A cidade de Fortaleza passa por um processo de verticalização, especialmente em áreas de alto padrão econômico. Investigações sobre o impacto de determinado aspecto do desenho urbano nas condições microclimáticas no entorno de edificações crescem a cada dia, fazendo-se necessário a verificação de forma mais detalhada dos diferentes espaços intraurbanos para que seja possível identificar as causas das diferenças do clima na cidade. Desta forma o objetivo principal do estudo foi caracterizar a formação de cânions urbanos em uma área com intenso processo de verticalização, avaliando também o impacto desse processo na temperatura, velocidade e direção do vento na região. A área estudada tem extensão de 0.7 km<sup>2</sup> e localiza-se no bairro Meireles da cidade de Fortaleza. Foi calculada a razão H/W dos quarteirões do bairro e coletados os parâmetros climáticos em quatro pontos escolhidos para o estudo. A área de estudo foi caracterizada com cânions urbanos e o tipo de cânion com a maior ocorrência foi o cânion regular com 73,50 %, seguido do cânion profundo com 21,56% e avenida de cânions com 5,0%. Os cânions influenciam na direção e velocidade dos ventos e a disposição do cânion também se mostrou fator governante. A influência dos cânions na temperatura da área de estudo foi mais eminente no período da manhã do que no período da tarde. O estudo revela que fatores como a disposição dos cânions, em relação à direção do vento predominante na região, bem como o sombreamento promovido pelos cânions, são fatores governantes nos parâmetros climáticos investigados.

Palavras-chave: clima urbano, cânions urbanos, microclima.

### Characterization of Urban Canyons and their Climatic Effects in an Area with Intense Verticalization Process in the City of Fortaleza, Ceará

### ABSTRACT

The city of Fortaleza undergoes a process of verticalization, especially in areas of high economic standard. Investigations on the impact of a certain aspect of urban design on microclimatic conditions in the surroundings of buildings are growing every day, making it necessary to verify in a more detailed way the different intra-urban spaces so that it is possible to identify the causes of the differences of the climate in the city. Thus the main objective of the study was to characterize a formation of urban canons in an area with intense verticalization process, also evaluating the impact of this process on the temperature, speed and wind direction of the area. The studied area has a size of 0.7 km<sup>2</sup> It is located in the Meireles (city of Fortaleza). The H / W ratio of the neighborhood blocks was calculated and the climatic parameters were collected at four points chosen for the study. The studied area was characterized to contain urban canyons and the type of canyon with the highest occurrence was the regular canyon with 73.50%, followed by the deep canyon with 21.56% and avenue of canyons with 5.0%. The canyons influence the direction and velocity of the winds and their disposition is also a governing factor. The influence of canyons on the temperature of the study area was more prominent in the morning than in the afternoon. The study reveals that factors such as the disposition of canyons, compared to the prevailing wind

direction in the region, as well as the shading promoted by the canyons, are governing factors in the climatic parameters investigated.

Keywords: urban climate; urban canyons; microclimate.

## Introdução

No decorrer dos anos, os desafios demográficos, ambientais e socioeconômicos nas cidades aumentam a cada dia. Espera-se que seis em cada dez pessoas residam em áreas urbanas até 2030 e que as áreas edificadas serão triplicadas (Unhabitat, 2015). No Brasil, as estatísticas mostram que a maior parte da população brasileira é urbana, correspondendo, aproximadamente, a 84% da população total (IBGE, 2010). A disponibilidade de espaço é imprescindível para o desenvolvimento das cidades, porém o que ocorre é a falta de espaços livres para novas construções. Com os espaços ocupados, a tendência é a verticalização das residências.

A cidade é um produto da interação entre o homem e a natureza, onde esse produto gera um clima próprio, o clima urbano, que é “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (Monteiro e Mendonça, 2003). As ações antrópicas alteraram o meio, modificando o balanço energético e hídrico da cidade. Essas mudanças são causadas pela perda da vegetação original, pelo aumento da circulação de veículos automotores, impermeabilização do solo, mudanças no uso e nas formas de ocupação do solo, concentração de edificações, canalização de córregos e aumento da poluição atmosférica (Pinheiro e Amorim, 2009).

Os estudos do clima urbano, tradicionalmente, comparam localidades dentro e fora de determinada malha urbana. Mais recentemente, vem sendo investigado o impacto de determinado aspecto do desenho urbano, no balanço energético acima da malha urbana, mais especificamente nas condições microclimáticas no entorno de edificações (Krüger, 2008). Conforme Oke (1987), há de se diferenciar duas situações básicas referentes às alterações do clima provocadas pela urbanização: *Urban Canopy Layer* (UCL) - camada urbana no nível das coberturas ou dossel urbano localizada entre o nível dos telhados das edificações e o solo e é produzida por processos microclimáticos que operam nas ruas (cânions) entre os prédios, representando a interação entre a atmosfera e os elementos urbanos (microescala); *Urban Boundary Layer* (UBL) – camada limite urbana é “um fenômeno de escala local, cujas características são governadas pela natureza da superfície urbana”.

Essa camada representa a interação da atmosfera com a cidade (mesoescala).

Existem algumas unidades da superfície urbana representativas que se formam basicamente dentro da área urbana. Essas unidades reconhecem a natureza tridimensional essencial do dossel urbano e consistem da combinação entre as superfícies horizontais e verticais decorrente do arranjo dos edifícios e ruas. São os chamados cânions urbanos, que foram nomeados desta forma em analogia aos cânions naturais e são constituídos pelas paredes de dois prédios adjacentes e a rua localizada entre eles. Dentro da camada urbana no nível das coberturas (UCL), os cânions urbanos são reconhecidos como uma unidade básica para o estudo do microclima e o conhecimento da sua geometria é essencial para o entendimento do clima urbano (Nakamura e Oke, 1988; Krüger, 2008).

Para se conhecer o comportamento térmico dos cânions urbanos é necessária a adoção de um parâmetro de análise. Dentre os vários existentes, é bastante utilizada a razão entre a altura dos edifícios e a largura da rua ( $H = \text{Height (altura)} / W = \text{Width (largura)}$ ) (Silva, 2013). Os cânions são compostos por duas superfícies verticais de altura (H) e por uma superfície horizontal (W), representando as fachadas dos edifícios e a via de circulação urbana, respectivamente. Esta relação H/W geralmente é utilizada para cálculo de fluxos de ar, efeitos térmicos e acesso solar, bem como influência da topografia urbana na qualidade do ar em todo o mundo (Johnson e Watson, 1984; Oke 1988; Barbirato et al., 2007; Pano et al. 2009; Minella et al., 2009; Sousa et al., 2015; Cavalcante et al., 2016; Rocha et al., 2016; Silva et al., 2016).

As alterações da malha urbana provocam transformações na radiação, temperatura, umidade e nas características aerodinâmicas. Os tipos de materiais que compõem a malha urbana determinam a ventilação e podem auxiliar ou barrar a entrada dos ventos e, conseqüentemente, acelerar as trocas térmicas dos edifícios com o meio ambiente (Silveira, 2007). Os densos materiais de construção fazem do sistema um bom conservador de calor e impermeabilizam a superfície. Os blocos formados pela geometria urbana criam a possibilidade de a radiação ficar aprisionada e do ar ficar estagnado (Oke, 1987). Os edifícios com pilotis (pilares de concreto armado que seguram uma construção) são aconselháveis para áreas

densamente construídas, pois por meio de suas aberturas os fluxos de ar atingem outros edifícios localizados à sotavento (Romero, 1988).

Apesar do tema ser de suma importância para o desenvolvimento urbano e da relevância do entendimento das alterações ocasionadas pelos cânions urbanos nas cidades, ocorre uma grande escassez de dados e poucos estudos são verificados nas cidades brasileiras (Krüger, 2008; Romero, 2011; Dziedzic e Bender, 2014; Nakata-Osaki et al., 2016).

Na cidade de Fortaleza a intensificação da verticalização ocorreu quando a apropriação intensiva do espaço pelo mercado imobiliário aconteceu em localidades restritas do seu território, principalmente em torno dos bairros Meireles e Aldeota, detentores de condições privilegiadas de infraestrutura, comércio e serviços, gerando uma elevada verticalização na área e no seu entorno (Rufino, 2012). Deste modo, o objetivo principal do estudo é caracterizar a formação de cânions urbanos em uma área com intenso processo de verticalização na cidade de Fortaleza, avaliando também o impacto desse processo na temperatura, velocidade e direção do vento.

## Material e métodos

### Localização da Área de Estudo

A cidade de Fortaleza é um município brasileiro localizado no litoral do Estado do Ceará. Com latitude sul de 3°46' e 38°33' de longitude oeste, ocupa uma área de aproximadamente 313,4 km<sup>2</sup>. A população é de, aproximadamente, 2.600.000 habitantes, sendo a capital de maior densidade demográfica do país, com 7.786,44 hab./km<sup>2</sup>, a cidade mais populosa do Estado e a quinta do Brasil (IBGE, 2014; IPECE, 2015).

Apresenta tipo climático Aw` da classificação de Köppen, tratando-se de um regime pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso. As estações climáticas da cidade são bem demarcadas, sendo a estação chuvosa de janeiro a maio e a seca de agosto a dezembro. A temperatura média anual é de 26 °C, variando de 23 °C a 32 °C. A

precipitação média anual é de 1608,4 mm. (Aguiar et al., 2002; Moura, 2008). A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema causador das precipitações, apresentando altos índices de insolação e radiação solar, influenciando a temperatura, a evaporação e a luminosidade. Em relação aos ventos, há predominância dos ventos alísios de sudeste e as brisas marítimas. A normal média anual da velocidade do vento é de 3,7 m/s (Moura, 2008).

Para atingir um dos objetivos propostos no presente trabalho foi realizada a medição dos parâmetros meteorológicos na área de pesquisa e em um local sem a presença de cânions urbanos, que foi denominado de “ponto de controle”. A área de estudo localiza-se no bairro Meireles da cidade de Fortaleza (Figura 1). O bairro possui uma população de 36.982 habitantes e tem a renda média mais alta da cidade. Desde 1970, estabeleceu-se com a proliferação da construção de residências, primeiramente unifamiliares, e nos últimos anos foram sendo substituídas por residências multifamiliares, e hoje há o predomínio de condomínios residenciais verticais de alta renda. O bairro possui condições privilegiadas de infraestrutura, comércio e serviços diversificados (Vasconcelos, 2014; IPECE, 2015;). Quanto ao tipo de pavimentação, foi verificado em visita de campo, que na área de estudo as ruas e avenidas são completamente asfaltadas. O tipo de material de construção mais comumente utilizado é o concreto, aço estrutural e os revestimentos cerâmicos. A vegetação presente na área é escassa, sendo restrita aos quintais particulares e às calçadas.

O ponto de controle é distante aproximadamente 1 Km da área de estudo e localiza-se em uma avenida larga com extensão de 20 metros, constituída por residências com altimetria variando entre 3 e 6 metros (ponto 4 na Figura 1). Essa avenida é perpendicular à Avenida Almirante Henrique Sabóia, mais conhecida como Via Expressa, onde o tráfego de veículos é intenso e com a presença de uma grande quantidade de caminhões. A vegetação é escassa correspondendo a apenas algumas árvores plantadas nos jardins das casas.



Figura 1. Localização da área de estudo com seus respectivos pontos de coletas.

### Construção da Base de Dados

Os dados de vetor foram obtidos por meio da Carta Digital Planimétrica do município de Fortaleza do ano de 2009 e as imagens aéreas pelo satélite Quickbird, cedidas pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF). Os dados originais estavam de acordo com o referencial geodésico SAD69 e foram projetados para SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) e para o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) fuso 24. A projeção foi em atendimento à Resolução PR 01/2005, de 25 de fevereiro de 2005 do IBGE, que trata sobre a mudança do referencial geodésico adotado no Brasil (IBGE, 2014). Os dados adquiridos em formato ".dwg" foram convertidos para o formato ".shp". No entanto para que a conversão fosse total, com arcos e polígonos, foi necessário a utilização dos softwares Spring 5.2 e

ArcGis™. O trabalho de campo teve como objetivo atualizar o banco de dados, bem como confirmar a existência das edificações e a altura das mesmas.

### Cálculo da Razão H/W

Com os dados das larguras das ruas e da altimetria dos edifícios, foi realizado o cálculo da razão H/W. Foi feito o cálculo da média das alturas dos prédios de cada quarteirão e o valor foi dividido pela largura da rua de cada lado do quarteirão. A classificação foi realizada de acordo com o trabalho de Battista et al. (2015). Os cânions urbanos foram divididos em três tipos: avenidas de cânions ( $H/W < 0.5$ ), cânions regulares ( $H/W \approx 1$ ) e cânions profundo ( $H/W > 2$ ).

### Medição e Tratamento dos Parâmetros Meteorológicos

Para as medições dos parâmetros meteorológicos foram escolhidos pontos na área de

estudo com o valor mais baixo, intermediário e mais elevado da razão H/W e em um cenário fora desta área (Ponto de Controle), de acordo com a metodologia apresentada no trabalho de Andreou e Axarli (2011). Os estudos foram realizados no período diário das 7:00 as 19:00 horas e as medições realizadas a cada 15 minutos por três dias variados (totalizando 132 medidas), sempre em concomitância com o Ponto de Controle, localizado fora da área classificada como cânions.

As estações meteorológicas foram colocadas em torno da altura de 2 metros, sempre no meio da quadra e na superfície externa da calçada. Os dias monitorados em cada ponto (indicados na Figura 1) foram:

- Ponto 1: 20, 23 e 26 de janeiro de 2016 (H/W=0.2);
- Ponto 2: 21, 24 e 27 de janeiro de 2016 (H/W=1);

- Ponto 3: 25, 28 e 29 de janeiro de 2016 (H/W=4);
- Ponto 4: 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29 de janeiro de 2016 (Ponto de Controle).

## Resultados e discussão

### Classificação Urbana Climática

A Figura 2 mostra o mapa de classificação dos cânions urbanos, onde nota-se que todos os quarteirões da área de estudo foram classificados. O tipo de cânion com a maior ocorrência foi o cânion regular com 73,50 %, seguido do cânion profundo com 21,56% e avenida de cânions com 5,0%.

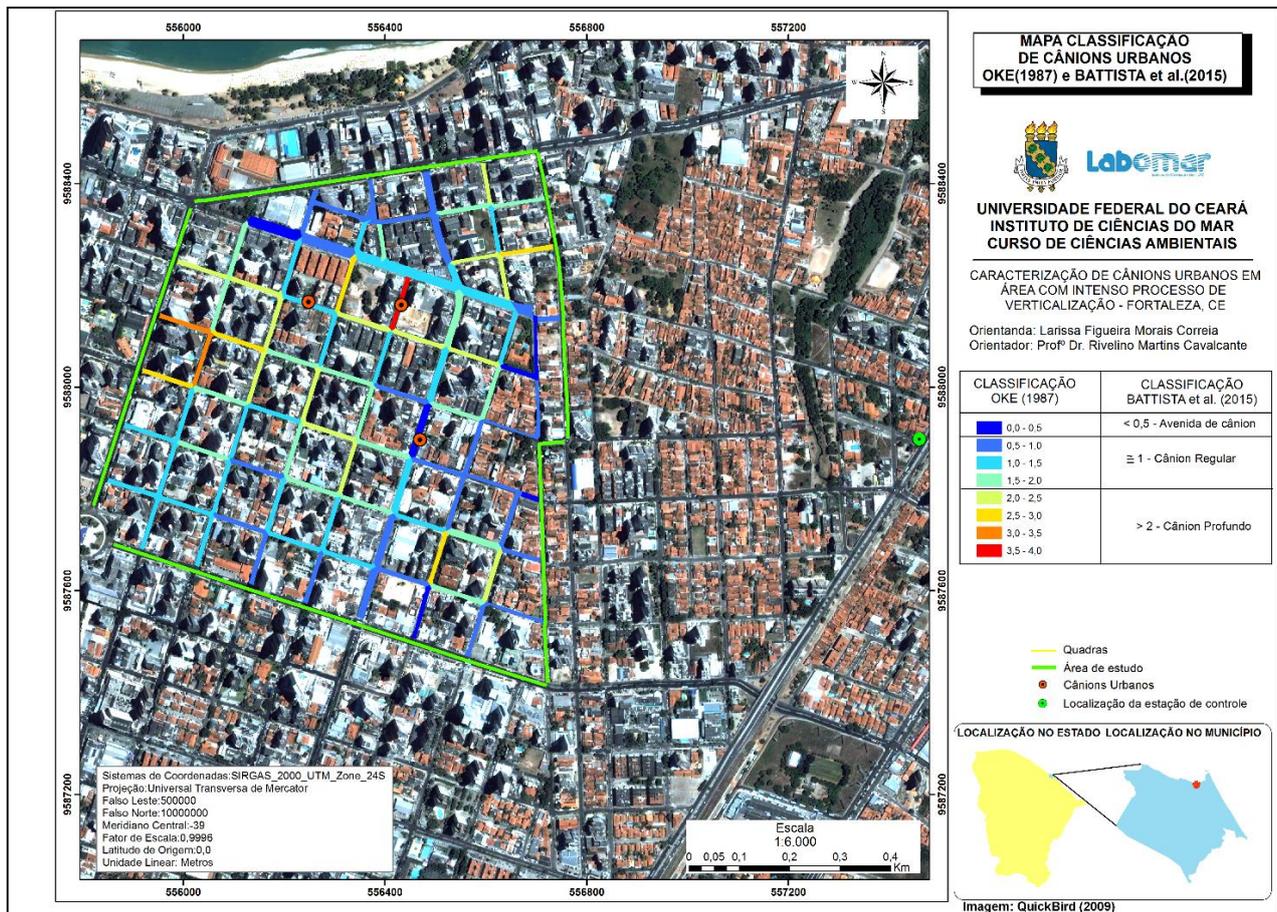


Figura 2. Mapa de classificação dos cânions urbanos.

Na Figura 3 observa-se a mescla dos resultados da classificação dos cânions com os dados da altimetria da área edificada. Pode-se perceber que nas áreas preenchidas com as cores laranja e vermelha, representando o tipo de cânion profundo, possuem os edifícios com altimetria mais elevada, demonstrada pela cor vermelho mais forte. É evidente que nas avenidas da área de estudo, apesar de apresentarem edifícios com alta altimetria não ficou caracterizado nenhum cânion

profundo devido à largura das mesmas serem maiores que das ruas. Portanto, pode se dizer que a altimetria das edificações e a largura das ruas tem influência na formação de cânions urbanos.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) da cidade de Fortaleza define para o bairro Meireles a altura máxima do gabarito dos prédios de 72 metros. Foi encontrado um edifício que tem altimetria mais elevada que o permitido pelo PDDU de Fortaleza.

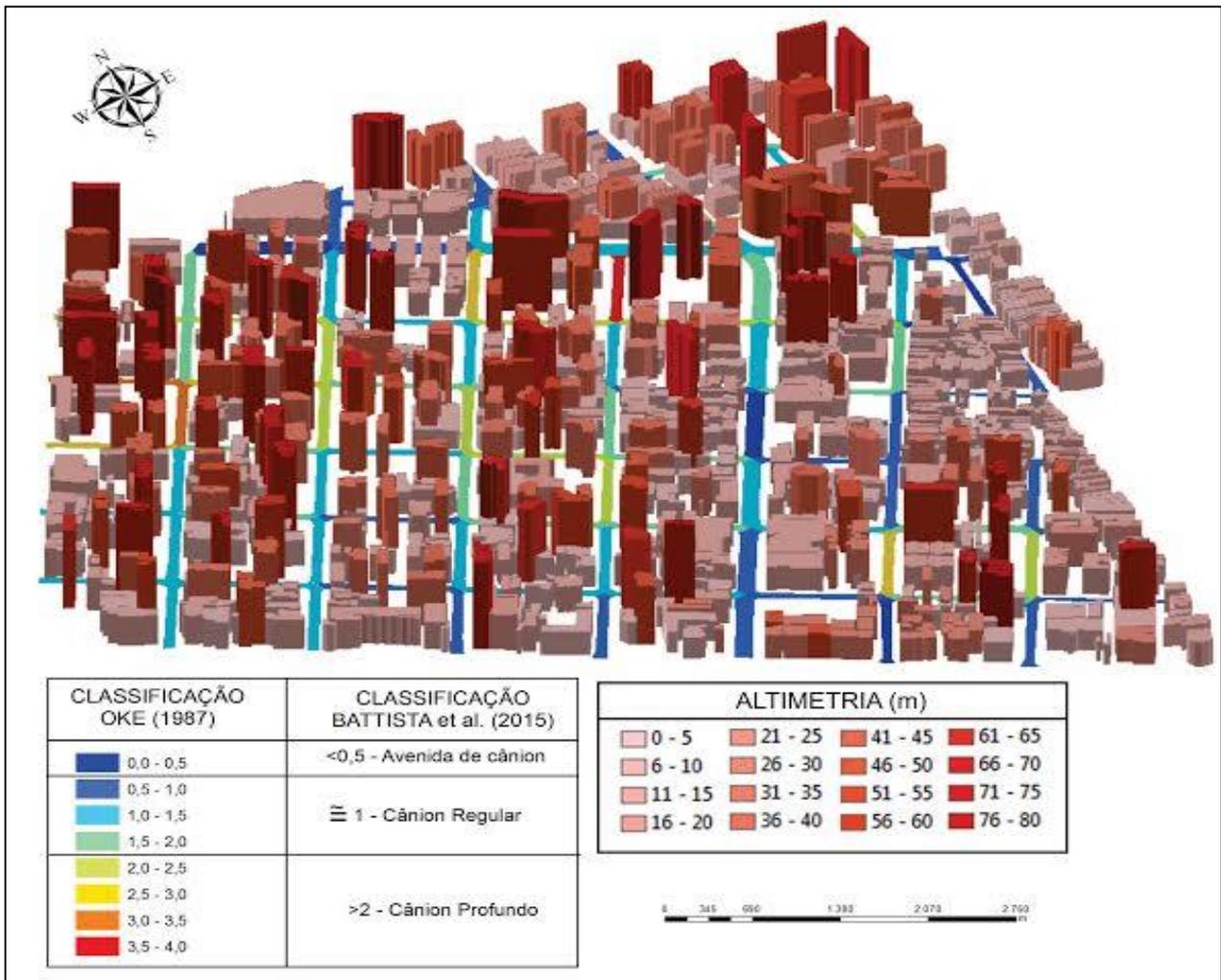


Figura 3. Mapa da classificação dos cânions urbanos e altimetria.

Oke (2006) utiliza a razão H/W para fazer uma classificação urbana climática. O autor fez uma classificação simplificada das diferentes formas urbanas em ordem decrescente da sua capacidade de afetar o clima local. Na avenida de cânions, a relação H/W foi de 0.2 e de acordo com o autor citado, classificou-se como uma área urbanizada, com densidade de média a baixa,

prédios amplos e com estacionamentos de asfalto. O autor cita o exemplo de áreas comerciais. Essa classificação confirma as características do Ponto 1, que se localiza em uma área comercial presente na área de estudo composta por lojas, restaurantes e estacionamentos. A Figura 4 demonstra a presença de estacionamentos e estabelecimentos

comerciais como afirma a classificação de Oke (2006).

No cânion regular, a relação H/W foi de 1.1, classificando-o como área de intenso desenvolvimento, com prédios de 2 a 5 andares próximos uns aos outros. Utilizando muitas vezes tijolos e pedras de revestimento. Como exemplo o autor cita uma cidade histórica. Esse exemplo refere-se a presença de prédios antigos, constatando as particularidades do Ponto 2. A Figura 4 demonstra que a rua classificada como cânion regular, apresenta edifícios com padrões de

construção mais antigos que utilizam tijolos no seu revestimento como afirma a classificação de Oke (2006).

Quanto ao cânion profundo, a relação H/W apresentou o valor 4 e de acordo com a classificação de Oke (2006) é uma área intensamente urbanizada, com edificações próximas e com alto desenvolvimento vertical. Como exemplo o autor cita a presença de aranhas-céus. A classificação coincide com as características do Ponto 3, como pode-se observar na Figura 4.



Figura 4. Razão H/W da área estudada e classificação dos cânions.

#### Avaliação dos Efeitos Climáticos

##### *Direção dos Ventos*

Os ventos predominantes durante o mês de janeiro, na cidade de Fortaleza, são os alísios de sudeste, em virtude da atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul. As medidas de direção do vento efetuadas no Ponto de Controle (Figura 5a) mostram que essa direção sudeste é a

mais observada no período estudado, com predominância em quase 50% do tempo. Isso se justifica, pois o local de medidas é uma ampla área aberta e, embora dentro da área urbana, as construções dos arredores são casas baixas (média de 3,5 metros) em larga avenida. Está clara a predominância em uma direção do vento, a qual não existe nos outros pontos de coleta, conforme o restante dos painéis da Figura 5.

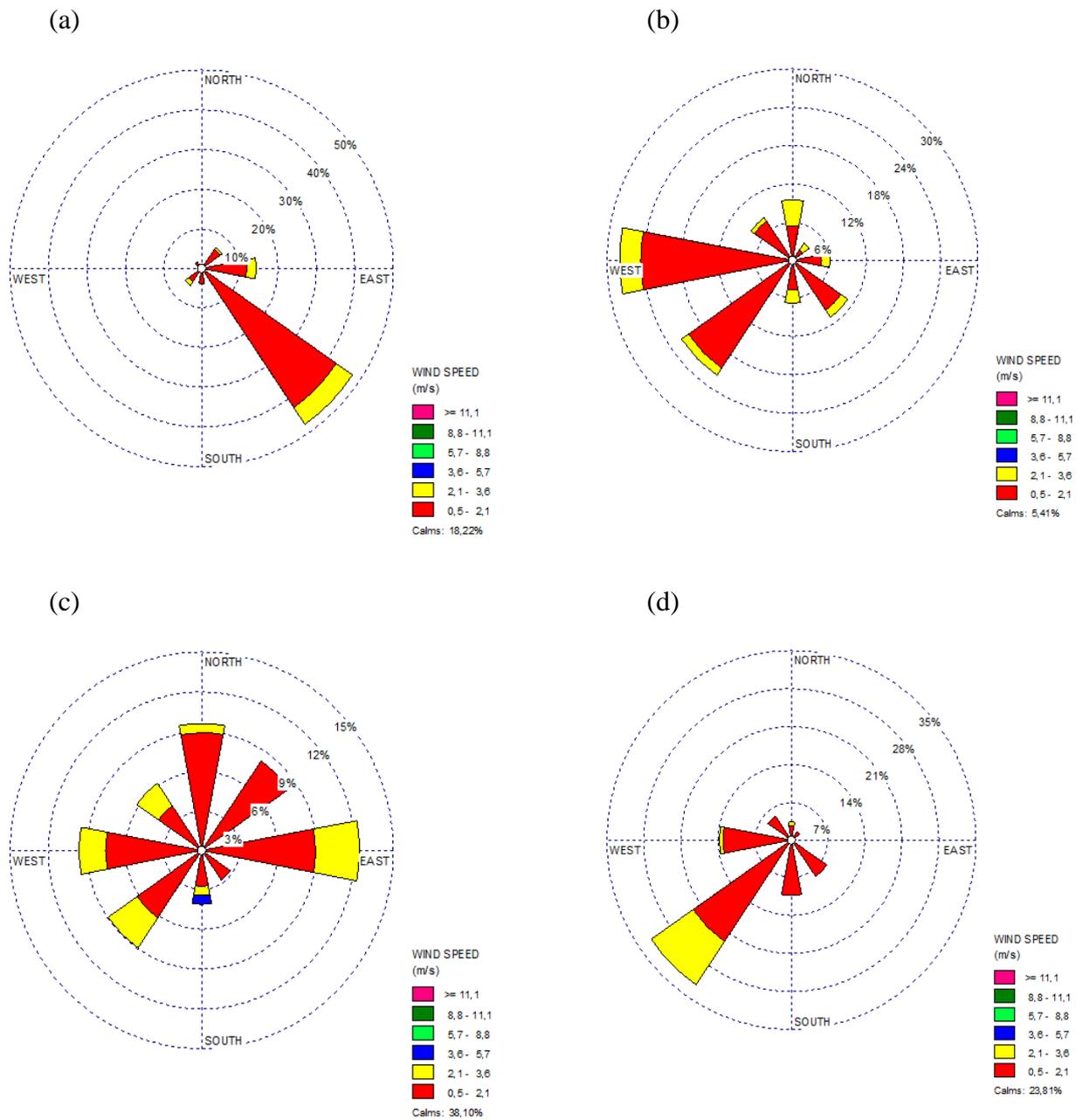


Figura 5. Direção dos ventos no Ponto de Controle (a), Avenida de Cânion (b), Cânion Regular (c), e Cânion Profundo (d). Fonte: Dados coletados pela própria autora.

Embora as direções do vento observadas nos cânions sejam bastante diversificadas, é possível perceber que existe uma consistência entre a direção predominante do vento na região (de sudeste) e o alinhamento do eixo das ruas em relação a essa direção.

No caso da Avenida de Cânions (ponto 1, ver Figura 1) o eixo da rua tem uma orientação de sul-sudoeste para nor-nordeste, fazendo um ângulo

de quase 70° em relação à direção predominante do vento. Como a razão H/W é baixa nesse ponto, os edifícios de barlavento da rua provocam um vórtice com um giro do vento em baixos níveis na rua (vide Figura 1b de Oke, 1988) que acaba voltando da direção aproximadamente oposta à do vento predominante (Figura 5b).

No caso do Cânion Regular, o eixo da rua tem uma orientação de este-sudoeste para oeste-

noroeste (ponto 2, ver Figura 1), fazendo um ângulo de menos de 30° com a direção predominante do vento na região (de sudeste). Assim, a orientação do cânion, que tem valores de H/W maiores que no caso anterior, já produz um certo efeito de canalização do vento, fazendo que tenha uma predominância de leste (Figura 5c), e também com mais turbilhões multidirecionais vindos preferencialmente da direção oposta ao vento predominante, isto é, de direções entre sudoeste a nordeste.

Já no Cânion Profundo (ponto 3, ver Figura 1), embora tendo a mesma orientação da Avenida de Cânion em relação ao vento predominante, o alto valor da razão H/W faz com que o ar interno ao cânion fique mais isolado do escoamento predominante por sobre os edifícios (vide Figura 1d de Oke, 1988), fazendo que o ar que circula dentro do cânion tenha mais a orientação dele, que é de sudoeste para nordeste (Figura 5d).

Um dos primeiros efeitos dos cânions urbanos que se pode perceber é o bloqueio do escoamento, conforme pode ser visto no aumento de velocidades de vento menores que 0,5 m/s (“calmo”), quando comparado com o Ponto de Controle (Figura 5). Além disso, nos locais de cânions urbanos, ocorre um evidente turbilhonamento da circulação atmosférica ao nível da rua, ocasionado pela topografia urbana, cuja geometria interfere no direcionamento dos ventos e

faz com que essas direções sejam mais irregulares, contribuindo também de forma significativa para a redução na velocidade dos ventos (Louka et al., 1998).

#### Velocidade dos Ventos

O efeito de bloqueio da malha urbana ao escoamento predominante na região de Fortaleza fica também evidente na comparação entre a velocidade do vento no ponto de controle, em relação aos demais pontos de medidas internos aos cânions. A Figura 6 mostra que, para todos os três pontos dos cânions, as velocidades do vento foram sempre menores que as respectivas velocidades no Ponto de Controle, na grande maioria das observações. Seria de se esperar que essa diminuição fosse gradativamente mais intensa, quando se passasse da Avenida de Cânion para o Cânion Regular e, em seguida, para o Cânion Profundo. Porém, isso não ocorreu: no Cânion Regular as velocidades foram maiores que na Avenida de Cânion. A explicação para esse fato pode estar na orientação do eixo dos cânions, em relação à direção predominante do vento. Segundo Romero (2011), com ventos perpendiculares ao eixo do cânion, o fluxo de ar é caracterizado como vórtices, enquanto que com ventos paralelos ao eixo do cânion, o fluxo ocorre na mesma direção do eixo.

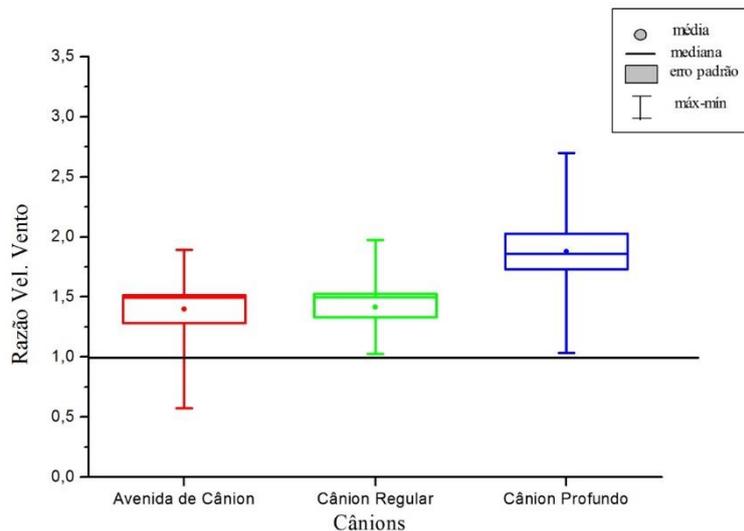


Figura 6. Gráficos de caixas (“boxplot”) das razões entre a velocidade do vento no Ponto de Controle e a velocidade do vento na Avenida de Cânion (vermelha), Cânion Regular (verde) e Cânion Profundo. Valores maiores que “um” indicam que a velocidade no Ponto de Controle é maior que nos outros pontos.

Através de um estudo de modelagem tridimensional por elementos finitos, Battista et al. (2015) simularam o escoamento em um desfiladeiro urbano e investigaram as influências de diferentes razões H/W, do comprimento dos cânions e da direção do fluxo nas condições de ventos dentro desses ambientes. Seus resultados indicam que os valores da velocidade do ar são independentes do comprimento do cânion, desde que as medidas sejam feitas nos mesmos pontos (extremidades ou parte mais central ao longo dos eixos dos cânions). Por outro lado, mostrou também que as velocidades no interior dos cânions vão diminuindo gradativamente, em relação ao escoamento não perturbado, quando se passa de uma configuração com o vento alinhado ao eixo do cânion, para uma condição em que o vento tem uma direção inclinada em 45° ao eixo do cânion, e finalmente uma em que o escoamento é perpendicular ao eixo (e às edificações) do cânion. Assim, as velocidades serem maiores no nosso caso de Cânion Regular pode ser devido ao fato de que a orientação de seu eixo seja mais alinhada com o escoamento predominante (de sudeste) que no caso da Avenida de Cânion.

*Temperatura do Ar*

Conforme Oke (1988), fatores relacionados à geometria e materiais de construção dos cânions urbanos podem causar alterações no balanço de energia da camada de dossel urbano e levar a anomalias positivas de temperatura. No caso da geometria dos cânions, por exemplo, seriam as seguintes características urbanas

responsáveis pelas mudanças no balanço de energia: (i) o aumento da área de superfície e as múltiplas reflexões, que levariam a um aumento na absorção de radiação de onda curta; (ii) uma redução no fator de visão do céu, que reduziria a perda de radiação de onda longa para o espaço; e (iii) um efeito de bloqueio do vento, que levaria a um decréscimo do transporte turbulento total de calor para fora do cânion.

Para avaliar e comparar como a geometria dos cânions urbanos afeta o ambiente, especificamente na temperatura, a Figura 7a mostra a variação diurna das temperaturas médias medidas nos quatro pontos deste estudo: do Ponto de Controle (“Fixa”), na avenida de cânion (AC), cânion regular (CR) e cânion profundo (CP). Já a Figura 7b mostra as diferenças médias entre a temperatura no ponto de controle (F) e as temperaturas nos demais pontos de cânion.

Observa-se que a temperatura no Ponto de Controle tem um comportamento mais simétrico durante o período diurno, quando comparado com os demais pontos, com valores de 27 °C pela manhã e fim de tarde, atingindo um máximo de 32 °C, entre 13 e 14 horas, horário local. Como esse ponto fica em uma área aberta, sem bloqueios ou sombreamento por edificações, o aumento da temperatura pela manhã e a diminuição da tarde fica dependente apenas da trajetória aparente regular do sol ao longo do dia e da perda radiativa por onda longa. Deve-se lembrar, também, que nesse ponto o vento não sofre bloqueios e a turbulência promove uma homogeneização do ar.

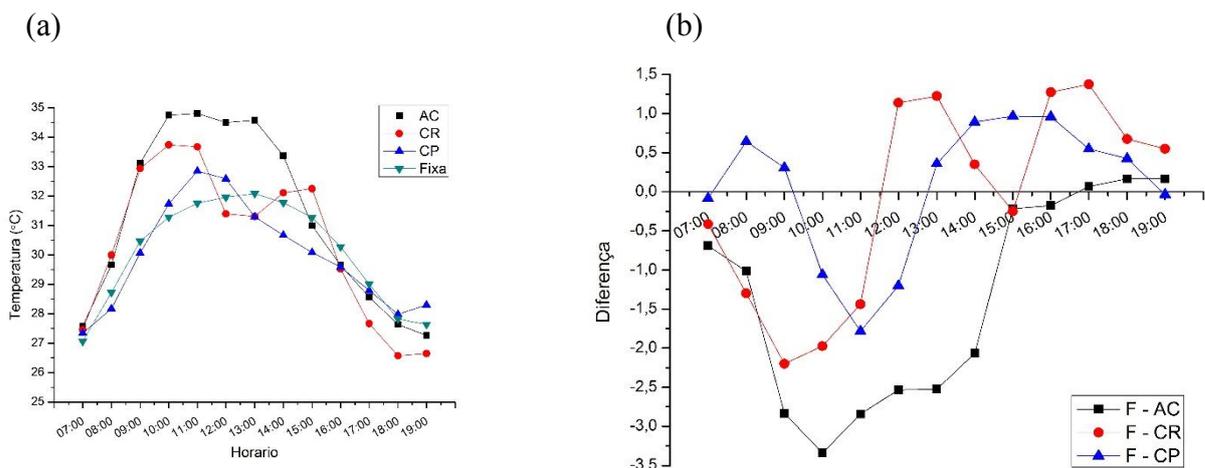


Figura 7. (a) Temperatura média horária no Ponto de Controle (Fixa), Avenida de Cânion (AC), Cânion Regular (CR) e Cânion Profundo (CP) e; (b) diferença entre as temperaturas médias do ponto de controle e os pontos em cânions.

A avenida de cânion (AC) foi o ponto onde as temperaturas atingiram os mais altos valores durante o dia. A temperatura subiu rapidamente pela manhã, de 27 °C às 7 horas da manhã até 35 °C às 10 horas, mantendo-se nesse patamar até as 13 horas, e diminuindo rapidamente após esse horário até o fim da tarde. Como esse ponto é extremamente construído, o forte aquecimento pode ser justificado pelas múltiplas reflexões e absorção da radiação solar pelas superfícies, e a ampla área de visão do céu e menores velocidades do vento justificariam o esfriamento mais acelerado à tarde pela emissão mais eficiente de radiação de onda longa para o espaço.

No cânion regular a temperatura teve um comportamento bem distinto dos demais, apresentando dois máximos, um no final da manhã (33,5 °C) e outro no meio da tarde (32 °C). Foi também o ponto que teve queda de temperatura mais acentuada após o máximo do período da tarde. Uma análise no local indica que, tanto a diminuição da temperatura no meio do dia, quanto a rápida queda da temperatura no fim do dia, podem ter sido provocadas pelo sombreamento de edifícios nessa rua.

As temperaturas no cânion profundo foram as que tiveram os menores valores quando comparado com os outros pontos de cânions, na maior parte do dia. Em relação ao Ponto de Controle, a temperatura no cânion profundo foi maior somente entre as 10 e 13 horas, indicando que esse aquecimento só foi possível pela posição do sol mais próximo ao zênite, conseguindo iluminar diretamente a superfície da rua. Esse fato evidencia que o sombreamento ocasionado pela presença de edifícios de elevada altimetria, provoca a diminuição da temperatura dentro dos cânions urbanos. O trabalho de Bourbia e Boucheriba (2010) indicou que locais com mais alto H/W tem um ambiente mais frio, ratificando os resultados encontrados no presente trabalho, onde a temperatura média encontrada no cânion profundo (mais alto H/W) é menor do que a temperatura média encontrada na avenida de cânion (mais baixo H/W).

## Conclusões

Pela primeira vez em uma área da cidade de Fortaleza que sofre por processo de verticalização intenso, foi caracterizada a topografia urbana baseado no conceito de cânions urbanos, bem como

verificado a influência dos mesmos nos parâmetros meteorológicos. Pôde-se concluir que existe a formação de cânions urbanos na área de pesquisa e que o tipo de cânion com maior ocorrência foi o cânion regular (73,5%). Foi confirmado que os cânions influenciam na direção e velocidade dos ventos, especialmente quando esses locais estão em ângulos opostos a direção predominante do vento na região. A influência dos cânions na temperatura da área de estudo foi mais eminente no período da manhã.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a ajuda voluntária na amostragem por colegas do Curso de Ciências Ambientais da UFC e ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto: "Como aferir a qualidade do ambiente para garantia de espaços adequados na prática esportiva e de lazer: um projeto de políticas públicas para valorização do meio ambiente em Fortaleza-Ce" (processo: 487853/2013-0).

## Referências

- Aguiar, M.J.N. et al., 2002. Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2001. Documentos 61, Embrapa, Fortaleza, 26 p. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425210/1/doc61.pdf>. Acesso: 13 jan. 2016.
- Andreou, E., Axarli, K., 2011. Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment. Experimental investigation and parametric analysis. *Renewable Energy*, Thessaloniki 43, 354-363. doi: 10.1016/j.renene.2011.11.038
- Barbirato, G.M., Souza, L.C.L., Torres, S.C., 2007. Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. UFAL, Maceió, 164 p.
- Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., Vollaro, R.L., 2015. On the influence of geometrical features and Wind direction over an urban canyon applying a FEM analysis. *Energy Procedia*, 81, 11-21. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.054.
- Bender, A.P, Dziedzic, M., 2014. Dispersão de poluentes nos eixos estruturais em Curitiba (PR), Brasil. *Eng Sanit Ambient, Edição Especial*, 31-42. doi: 10.1590/S1413-41522014019010000364.
- Bourbia, F., Boucheriba, F., 2010. Impact of street design on urban microclimate for semiarid

- climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35, 343-347. doi: 10.1016/j.renene.2009.07.017
- Cavalcante, R.M., Rocha, C.A., Santiago, I.S., Silva, T.F.A., Cattony, C.M., Silva, M.V.C., Silva, I.B., Thiers, P.R.L., 2016. Influence of urbanization on air quality based on the occurrence of particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in a tropical semiarid area (Fortaleza-CE, Brazil). *Air Qual Atmos Health*. doi: 10.1007/s11869-016-0434-z.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010. Sinopse do Senso Demográfico 2010. Disponível: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso: 26 out. 2015.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2014. Informações completas sobre Fortaleza. Disponível: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=ceara|fortaleza|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso: 20 nov. 2016.
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2015. Perfil básico municipal 2015. Disponível: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2015/Fortaleza.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2015/Fortaleza.pdf)>. Acesso: 17 dez. 2015.
- Johnson, G.T., Watson, I.D., 1984. Determination of view-factors in urban canyons. *American Meteorological Society*, Ryde, 329-335.
- Krüger, E.L., 2008. Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico. *Ambiente Construído* 8, 65-87.
- Louka, P., Belcher, S.E., Harrison, R.G., 1998. Modified street canyon flow. *J. Wind. Eng. Ind. Aerod.*, 74-76, 485-493. doi: 10.1016/S0167-6105(98)00044-0
- Monteiro, C.A.F., Mendonça, F., 2003. *Clima Urbano*. São Paulo, Contexto, 192p.
- Moura, M.O., 2008. O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico. Dissertação (Mestrado), Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 282f.
- Minella, F.C.O., Rossi, F.A., Krüger, E.L., 2009. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal. Disponível: [http://www.degraf.ufpr.br/docentes/francine/Publicacoes/Eventos/2009\\_ENCAC\\_Minella\\_Rossi\\_Krueger.pdf](http://www.degraf.ufpr.br/docentes/francine/Publicacoes/Eventos/2009_ENCAC_Minella_Rossi_Krueger.pdf). Acesso: 12 dez. 2015
- Nakamura, Y., Oke, T.R., 1988. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*, 22, 12, 2691-2700. doi: 10.1016/0004-6981(88)90437-4
- Nakata-Osaki, C.M., Souza, L.C.L., Rodrigues, D.S., 2016. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. *Ambiente Construído*, 16, 3, 73-87. doi: 10.1590/s1678-86212016000300093
- Oke, T.R., 1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy And Buildings*, 11, 103-113. doi: 10.1016/0378-7788(88)90026-6
- Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*. 2 ed. Great Britain: Routledge, 431p.
- Oke, T.R., 2006. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Vancouver: World Meteorological Organization, 51p.
- Panao, M.J.N.O., Gonçalves, H.J.P.; Ferrao, P.M.C., 2009. Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate. *Building and Environment* 44, 177-187. doi: 10.1016/j.buildenv.2008.02.004
- Pinheiro, G.M., Amorim, M.C.C.T., 2009. O estudo de clima urbano em cidade de pequeno porte no oeste paulista. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, GEOUSP, São Paulo 1-12. Disponível: [http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo8/026.pdf](http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/026.pdf). Acesso: 21 nov. 2015.
- Rocha, C.A., Sousa, F.W., Zanella, M.E., Oliveira, A.G., Nascimento, R.F., Souza, O.V., Cajazeiras, I.M.P., Lima, J.L.R., Cavalcante, R.M., 2016. Environmental Quality Assessment in Areas Used for Physical Activity and Recreation in a City Affected by Intense Urban Expansion (Fortaleza-CE, Brazil): Implications for Public Health Policy. *Expo Health.*, 1-14. doi: 10.1007/s12403-016-0230-x
- Romero, M.A.B., 1988. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. 19 ed. São Paulo: Projeto, 128 p.
- Romero, M.A.B., 2011. Correlation between urban microclimate the residential space configuration of Brasília. Fórum Patrimônio:

- Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, 4, 1.
- Rufino, M.B.C., 2012. Incorporação da metrópole: Centralização do capital no imobiliário e a nova produção do espaço em Fortaleza. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 334 f.
- Silva, C.F., 2013. O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do distrito federal. 2013. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 193 f.
- Silva, I.B., Silva, T.L., Rocha, C.A., Cavalcante, R.M., Silva, M.V.C., 2016. Uso da Geoestatística na Avaliação da Distribuição de Material Particulado Respirável na Cidade de Fortaleza, Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 334-344.
- Silveira, A.L.R.C., 2007. Parâmetros Bioclimáticos para Avaliação de Conjuntos Habitacionais na Região Tropical Subúmida do Brasil. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 312 f.
- Sousa, F.W., Cavalcante, R.M., Rocha, C.A., Nascimento, R.F., Ferreira, A.G., 2015. Carbonyl compounds from urban activities and their associated cancer risks: the influence of seasonality on air quality (Fortaleza-Ce, Brazil). *Urban Climate* 13, 110-121. doi:10.1016/j.uclim.2015.03.004
- Unhabitat. For a Better Future, 2015. Disponível: <<http://unhabitat.org/>>. Acesso: 15 out. 2015.
- Vasconcelos, A.C.S., 2014. Dinâmicas de ocupação territorial em Fortaleza: intervenções urbanas na Av. Beira Mar e a ocupação do bairro Meireles. XIII Seminário de História da Cidade e do Urbanismo, Brasília, DF. Disponível: <<http://www.shcu2014.com.br/content/dinamicas-ocupacao-territorial-em-fortaleza-intervencoes-urbanas-na-av-beira-mar-e-ocupacao>>. Acesso: 26 out. 2015.