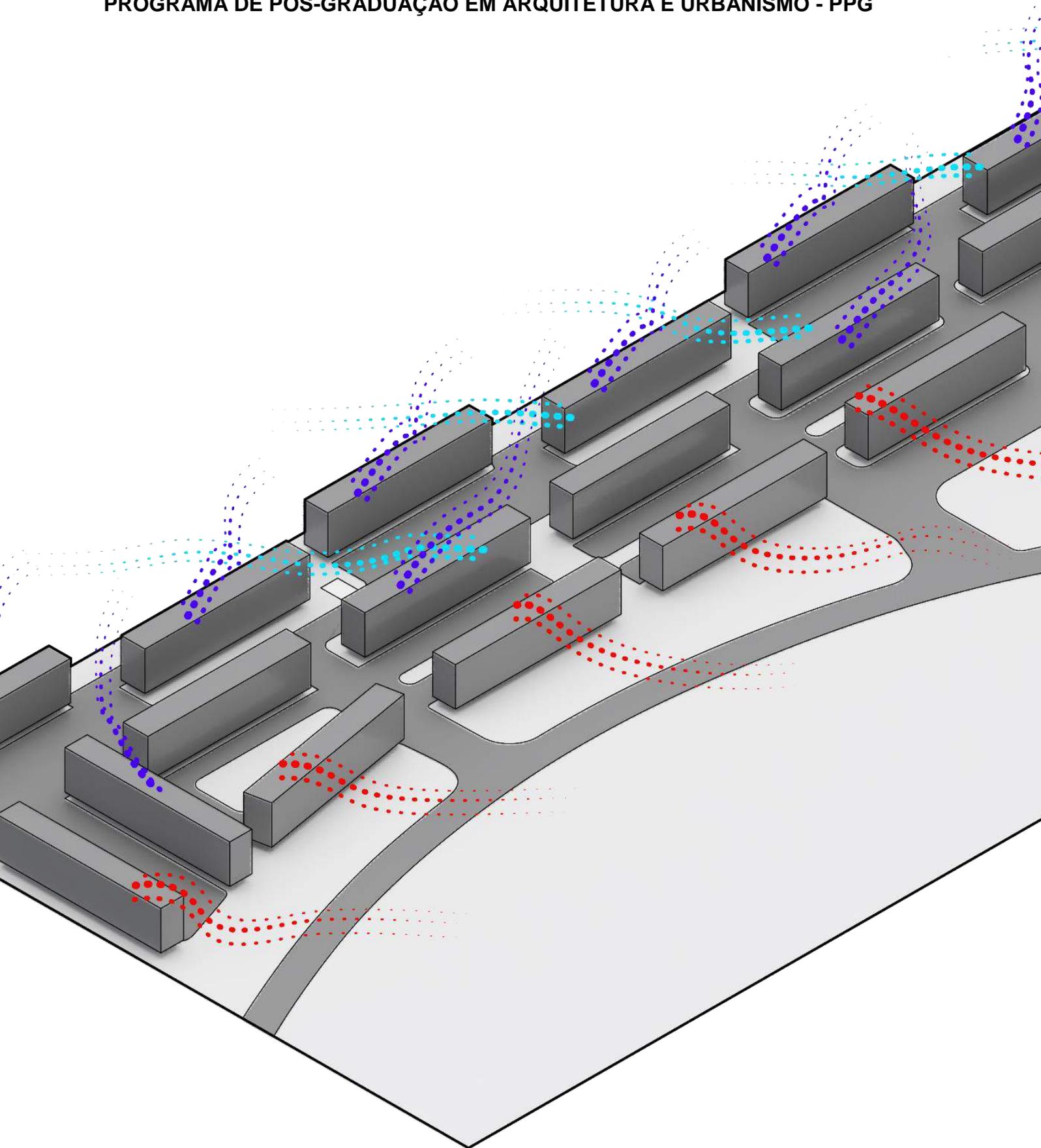


**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO - PPG**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**ANÁLISE DA VENTILAÇÃO URBANA NO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA:  
UM ESTUDO DE CASO DAS QUADRAS 500 DO SETOR SUDOESTE.**

**NATHÁLIA DE MELLO FARIA**

**BRASÍLIA**

**2021**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

NATHÁLIA DE MELLO FARIA

ANÁLISE DA VENTILAÇÃO URBANA NO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA: UM  
ESTUDO DE CASO DAS QUADRAS 500 DO SETOR SUDOESTE.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Marta Adriana Bustos Romero

**BRASÍLIA**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS:**

*Aos meus pais, Rossane e João Batista, meus irmãos Alex e Patrícia, meus  
cunhados Michele, Conrado, minhas tias Cristiani e Marisa  
e toda minha família, por sempre me apoiarem e me  
fazerem chegar até aqui;*

*A professora Marta Romero, que me orientou com todo seu conhecimento e  
disposição fundamentais para a conclusão do meu  
mestrado;*

*Aos membros da banca, professora Patrícia Drach e professor Gustavo  
Luna, que tanto contribuíram e me ensinaram;*

*Ao meu namorado Yuri Alencar e sua família (Euler, Laélia e Natália) pela  
paciência, amor e incentivo para tornar mais fácil meu  
caminho;*

*Aos meus amigos e incentivadores: Evellyn Cassis, Ana Carolina Formiga,  
Isabela Oliveira, Luiza Mello, Rafaella Ranniele, Luisa  
Porfírio, Ana Carolina Moreth, Júlia Adário, Mayara  
Nekrasius, Vinicius Rezende, Sarah Santos e João Lopes.*

*A todos que contribuíram de forma direta e indireta para a realização  
desse trabalho.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>3. MÉTODO</b> .....	<b>15</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1. A ATMOSFERA URBANA.....	17
4.2. VENTILAÇÃO URBANA.....	19
4.2.1. A RUGOSIDADE .....	20
4.2.2. A RELAÇÃO W/H E P.....	22
4.2.3. FATOR DE VISÃO DO CÉU .....	25
4.2.4. FORMA E DISPOSIÇÃO DOS EDIFÍCIOS .....	27
4.2.5. OUTROS ELEMENTOS DE BARREIRA DE OBSTRUÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL .....	34
4.3. ILHA DE CALOR URBANA E ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO URBANO PARA MITIGÁ-LAS: A IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES DE VENTILAÇÃO.....	37
4.3.1. Ilha de calor urbana .....	38
4.3.2. Corredores de ventilação .....	39
<b>5. METODOLOGIA REN ET AL (2018) E SUA APLICABILIDADE</b> .....	<b>45</b>
<b>6. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS URBANAS LOCAIS</b> .....	<b>49</b>
6.1. CLIMA DE BRASÍLIA- DF E SUAS CARACTERÍSTICAS .....	49
6.2. O SETOR SUDOESTE DE BRASÍLIA.....	52
6.3. CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA DA SUPERQUADRA DO SUDOESTE 500 (SQSW 500) .....	66
6.3.1. Mapa antes da construção da superquadra 500 .....	67
6.3.2. Mapa depois da construção da superquadra 500 .....	69

<b>7. ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>81</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>

## RESUMO

A ventilação natural é uma estratégia de bioclimatismo eficiente para o conforto ambiental urbano. A rugosidade, a relação H/W, a forma e a disposição dos edifícios são alguns dos parâmetros que interferem na ventilação da cidade. A partir da investigação e do estudo teórico de como esses parâmetros influenciam na ventilação urbana, analisou-se as alterações microclimáticas que acontecerão com a implantação da Superquadra 500 no Setor Sudoeste, fração urbana do Plano Piloto da cidade de Brasília. A análise foi feita por meio de mapas gerados por simulação computacional no *plugin* Leonardo do *software* Envi-Met v.4.3.1, por mapas gerados por georeferenciamento a partir do *plugin* Land surface temperature do *freeware* QGIS v. 2.18 e por dados obtidos pelas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O modelo de urbanização implantado na região acompanha um elevado consumo de recursos e de degradação ambiental. A implantação dos edifícios da Superquadra atua como barreira para os ventos que terão direção e velocidade modificados. A superfície do local sofrerá aumento de temperatura em mais de 13°C, pois mais de 85% do solo da região estará coberto por piso impermeável. A temperatura do ar também sofrerá aumentos consideráveis, 17,16 °C. O terreno, antes coberto pela última fração de cerrado nativo do plano piloto, além de sofrer o impacto de um empreendimento que desmatou toda sua vegetação, se tornará uma ilha de calor urbana.

**Palavras-chave:** Ventilação natural urbana; corredores de ventilação; ilha de calor; Quadra 500 Sudoeste; Plano Piloto de Brasília.

## **ABSTRACT**

Natural ventilation is an efficient bioclimatic strategy for urban environmental comfort. The roughness, the H/W ratio, the shape and the disposition of the buildings are some of the parameters that interfere in the city ventilation. Based on the investigation and theoretical study of how these parameters influence urban ventilation, the microclimatic changes that will occur with the implementation of Superquadra 500 in the Southwest Sector, an urban fraction of the Plano Piloto of the city of Brasilia, were analyzed. The analysis was done by means of maps generated by computer simulation in the Leonardo plugin of the Envi-Met software v.4.3.1, by maps generated by georeferencing from the Land surface temperature *plugin* of the freeware QGIS v. 2.18 and by data obtained from automatic meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET). The urbanization model implemented in the region accompanies a high consumption of resources and environmental degradation. The construction of the buildings in the Superquadra acts as a barrier to the winds, which will have modified direction and speed. The surface area temperature will increase by over 13°C, because more than 85% of the region's soil will be covered by impermeable flooring. The air temperature will also increase considerably, 17,16 °C . The land, previously covered by the last fraction of native cerrado in the Pilot Plan, will not only suffer the impact of a development that has cleared all its vegetation, but will also become an urban heat island.

**Keywords:** natural urban ventilation; wind corridor plan; urban heat island; Quadra 500 Sudoeste; Plano Piloto of Brasília.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Fluxograma Método da Pesquisa.....	15
Figura 2 - Esquema do deslocamento horizontal e vertical da circulação do ar na atmosfera. ....	18
Figura 3 - Circulação do vento na atmosfera devido à rotação terrestre. ....	18
Figura 4 - Composição da camada de ar sobre a cidade.....	19
Figura 5 - Perfis de vento e zonas de fluxo normal a um obstáculo.....	20
Figura 6 - Gradiente do vento para diferentes áreas.....	21
Figura 7 - Relação W/H/P .....	23
Figura 8 - Regimes de escoamento do ar no interior do cânion urbano. ....	26
Figura 9 - Escoamento do vento em torno de um prisma apoiado no solo.....	27
Figura 10 - Posição dos edifícios em relação à direção predominante dos ventos.....	29
Figura 11 - Comportamento do fluxo de ar em torno de edificações em 'L' e em 'C'. ...	30
Figura 12 - Fluxo do vento em torno de edifícios com arranjo normal.....	31
Figura 13 - Fluxo do vento em torno de edifícios com arranjo escalonado. ....	31
Figura 14 - Fluxo do vento em torno de edifícios dispostos obliquamente com arranjo normal.....	32
Figura 15 - Fluxo do vento em torno de edifícios dispostos obliquamente com arranjo escalonado. ....	32
Figura 16 – Influência das dimensões do edifício – efeito da largura e da profundidade. ....	33
Figura 17 -Influência das dimensões do edifício – efeito da altura.....	33
Figura 18 - Efeito dos beirais no tamanho da esteira - com cobertura plana e inclinada. ....	34
Figura 19 - Efeito de cercas e muros com diferentes configurações. ....	35
Figura 20 - Efeito da vegetação na configuração do fluxo do vento.....	36
Figura 21 - Vegetação como barreira de vento.....	36
Figura 22 - Seção Transversal de uma típica Ilha de Calor Urbana (ICU) .....	38
Figura 23 - Corredores de Ventilação .....	40
Figura 24 - Corredor de ventilação urbano ao nível regional (esquerda) e ao nível da cidade (direita).....	43

Figura 25 - Trecho do Plano de Corredor de ventilação urbano do projeto de lei do Plano Diretor da Cidade de Chengdu (2016 - 2035). .....	44
Figura 26 - Distribuição espacial das Ilhas de Calor Urbanas em Chengdu em diferentes anos.....	44
Figura 27 - Plano urbano de corredor de ventilação em Chengdu. ....	45
Figura 28 - Rosa dos Ventos - Frequência de ocorrência de ventos.....	51
Figura 29 - Rosa dos Ventos- Velocidade predominante do Vento .....	51
Figura 30 - Proposta Brasília Revisitada .....	52
Figura 31- Mapa Atual Setor Sudoeste .....	53
Figura 32 - Mapa Superquadras Sudoeste .....	54
Figura 33 - Vegetação Superquadra Sul x Superquadra Sudoeste .....	54
Figura 34 - Mapa Comércios Locais Sudoeste .....	55
Figura 35 - Comércio Local Sudoeste 103 .....	55
Figura 36 – Mapa das Quadras Econômicas do Setor Sudoeste.....	56
Figura 37 - Quadras Econômicas do Setor Sudoeste.....	57
Figura 38 – Mapa das Quadras Mistas do Setor Sudoeste .....	58
Figura 39 - Quadras Mistas do Setor Sudoeste .....	58
Figura 40 – Mapa do Setor Octogonal e do Setor de Industrias Gráficas. ....	59
Figura 41 – Foto do Setor Octogonal e do Setor de Industrias Gráficas. ....	59
Figura 42 – Mapa das áreas verdes do Setor Sudoeste.....	60
Figura 43– Fotografia do INMET e do Parque dos Sucupiras .....	60
Figura 44 - Evolução Urbana. ....	61
Figura 45 - Projeto da nova quadra 500 do Setor Sudoeste.....	62
Figura 46 - Área não prevista no Brasília Revisitada.....	62
Figura 47- Planta da ocupação da Superquadra Sudoeste 500. ....	63
Figura 48 - Linha do tempo – Projeto das Superquadra Sudoeste 500.....	64
Figura 49 - Mapa de Vegetação.....	65
Figura 50 - Fotografia aérea terreno antes e na construção da Superquadra 500.....	66
Figura 51 - Fotografia da Superquadra 500 em 2020.....	66
Figura 52 - Mapa de temperatura de superfície do dia 29 09 2018. ....	69
Figura 53 - Fotografia Aérea do Terreno.....	69
Figura 54 – Modelo Envi-Met da Superquadra 500.....	71
Figura 55 – Disposição dos Blocos na Quadra 500.....	71
Figura 56 - Mapa de Fator de Visão do Céu.....	72

Figura 57 - Simulação Computacional - ENVI MET - 09 horas.....	74
Figura 58- Simulação Computacional - ENVI MET -15 horas.....	75
Figura 59 - Simulação Computacional - ENVI MET - 21 horas.....	76
Figura 60 - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 09 horas .....	78
Figura 61 - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 15 horas .....	79
Figura 62 - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 21 horas .....	80
Figura 63 - Uso do Solo na Superquadra 500 do Sudoeste. ....	82
Figura 64 – Perspectiva da direção dos Ventos na Superquadra 500.....	84
Figura 65 - Planta da direção dos ventos na Superquadra 500.....	85
Figura 66 – Comparação entre as temperaturas superficiais. ....	87

### **Lista de Gráficos**

Gráfico 1 - Temperatura no dia 29/09/2018.....	67
Gráfico 2 - Velocidade do vento no dia 29/09/2018.....	68
Gráfico 3 - Temperatura no dia 08/09/2018.....	70
Gráfico 4 - Velocidade do vento no dia 08/09/2018.....	71
Gráfico 5 - Comparação entre as temperaturas.....	86
Gráfico 6- Comparação entre as velocidades do vento.....	86
Gráfico 7- Comparação entre as velocidades do vento - estações meteorológicas e simulação computacional.....	88
Gráfico 8 - Comparação entre temperatura do ar - estações meteorológicas e simulação computacional.....	89

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Classificação de diferentes formas urbanas em ordem decrescente de sua capacidade de causar impacto na temperatura, umidade e ventos locais. ....	22
Quadro 2 - Relação de percepção dos edifícios e seus entornos imediatos.....	24
Quadro 3 - Efeitos aerodinâmicos do vento sobre conjunto de edificações.....	28
Quadro 4 - Fluxo de trabalho e etapas principais da estrutura de pesquisa de aplicação do corredor de ventilação urbana.....	46

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Diretrizes técnicas para o planejamento urbano.....	40
Tabela 2 - Desmembramento dos blocos de edifícios .....	42
Tabela 3 - Classificação do potencial dinâmico do vento. ....	47
Tabela 4 - Classificação da intensidade da ilha de calor urbana .....	48
Tabela 5 - Normal Climatológica INMET (1981 - 2010) .....	50
Tabela 6 - Parâmetros médios 2019 - 2020 .....	50
Tabela 7 - Parâmetros e ferramentas utilizadas.....	81
Tabela 8 - Classificação do Potencial Dinâmico do Vento. ....	83
Tabela 9 - Comparação da velocidade do vento.....	88
Tabela 10 - Comparação da temperatura do ar.....	89
Tabela 11 - Classificação da intensidade da ilha de calor urbana da área com base na temperatura do ar e na temperatura superficial diária. ....	90

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização substituiu ecossistemas naturais por centros de grandes densidades, que reduziram a cobertura natural e modificaram os padrões de uso e ocupação do solo. A infraestrutura urbana requereu o uso de materiais com superfícies impermeáveis que acabou por absorver e re-irradiar calor. O aumento da temperatura local e a mudança na direção e na velocidade dos ventos ocasionaram alterações climáticas, e criaram, assim, ilhas de calor urbanas pelas cidades.

Para Romero (2013), as ilhas de calor podem ser formadas pelos seguintes fatores: diferenças na média da radiação entre a área urbana e as imediações – de forma isolada ou em conjunto, a estocagem de energia solar na massa dos edifícios da cidade durante o dia, a concentração de geração de calor, a baixa evaporação, as fontes de calor estacionais: calefação no inverno e ar-condicionado no verão e pela redução ou bloqueio da ventilação em determinados pontos da cidade.

Os microclimas, locais que formam o entorno imediato das pessoas na cidade, são alterados significativamente onde há influência humana no ambiente natural.

*“ A urbanização excessiva significa, em muitas ocasiões, colocar em segundo plano as características do local, incluindo nesse descaso o relevo e outras características morfológicas do sítio. O impacto negativo ao qual a população é submetida quando o construído se transforma em indutor de alterações climáticas pode ser evitado com um desenho adequado. ” (ROMERO, 2013, p. 28)*

Do ponto de vista micro e mesoclimatológico, a cidade é um verdadeiro mosaico de climas formados por edifícios, superfícies artificiais, áreas verdes, elementos de redes hidrográficas e muitos outros objetos de várias formas e tamanhos (SUDER e SZYMANOWSKI, 2014).

Em resposta às alterações climáticas, países como a China adotaram a avaliação da ventilação urbana e propostas de corredores de ventilação no planejamento urbano das cidades como forma de minimizar os impactos ambientais e climáticos gerados pela ocupação humana. Tais medidas visam a construção da recuperação ecológica e o desenvolvimento com base na qualidade ambiental e não só no fator econômico.

Esse urbanismo aliado ao uso de ferramentas de simulações computacionais, pesquisas de campo e mapas climáticos, surge como alternativa viável para a compreensão do clima urbano e para o planejamento de novas construções com desenhos urbanos que mitiguem o conflito ser humano- meio ambiente.

Entre os elementos modificados pela urbanização, têm-se: os ventos, o som, a água, a pavimentação e o mobiliário. O vento é o elemento climático mais modificado e controlado pelo desenho urbano em termos de velocidade e direção.

De acordo com Givoni (1969), a ventilação urbana serve para três funções diferentes. A primeira é manter a qualidade do ar no edifício acima de um certo nível mínimo, substituindo o ar interno pelo ar fresco do exterior. A segunda função é proporcionar conforto térmico, aumentando a perda de calor do corpo e evitando desconforto devido à pele úmida. E a terceira é resfriar a estrutura do edifício quando a temperatura interna estiver acima da externa. Nesse sentido, segundo as palavras de Santos *et al.* (2017):

*“A manutenção de corredores de ventilação em áreas urbanas desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da circulação do ar, com reflexos na distribuição espacial e intensidade da Ilha de Calor Urbana, além de atuar na dispersão da poluição do ar na parte interna da cidade. ” (SANTOS et al., 2017, p.33).*

Para analisar como a ventilação pode ser fundamental para resolver problemas climáticos nos inúmeros microclimas da cidade, este estudo foi baseado na cidade de Brasília, situada no Centro-Oeste do Brasil. A escolha da capital federal é devido às alterações constantes no seu código de obras e, conseqüentemente, deturpação do planejamento urbano inicial. Edifícios cada vez mais agrupados em massas construídas, com pouca variação de altura e destruindo áreas antes permeáveis acabam por prejudicar a ventilação da cidade, e conseqüentemente alterar o microclima local.

Enquanto a tendência dos países com matriz tecnológica - como a China- é o planejamento urbano com a obrigação de se prever corredores de ventilação para mitigar as ilhas de calor urbanas, percebe-se, em Brasília, uma tendência de urbanismo conservador baseada apenas no desenvolvimento econômico.

Em agosto de 2019, um novo empreendimento denominado “ Quadras 500 do Setor Sudoeste” foi autorizado pelo Supremo Tribunal de Justiça (STJ) e será implantado em uma área de cerrado nativo da cidade. Diante disso, o trabalho propõe analisar como estudo de caso essa região para entender o impacto que ocasionará a implementação desse novo empreendimento na ventilação e, conseqüentemente, no microclima urbano.

Para essa análise, foram utilizados tanto simulações computacionais para obter a velocidade e a direção dos ventos, como mapas obtidos por sensoriamento remoto, tendo como base imagens e dados fornecidos pela plataforma online GeoPortal. Por ser um empreendimento que ainda não foi implantado, o desenvolvimento do estudo microclimático da região possibilita a compreensão das características antes que ocorram mudanças significativas.

O trabalho foi estruturado em duas partes: a primeira que contempla os referenciais conceituais e teóricos a respeito da análise da ventilação urbana, inclui os capítulos dois, três, quatro e cinco, apresenta os objetivos, os procedimentos metodológicos adotados para realização da investigação e o cronograma de atividades propostas. O capítulo dois conceitua atmosfera urbana segundo OKE, 2006. O terceiro capítulo discute as mudanças e os parâmetros que alteram a ventilação urbana na Camada Limite Atmosférica (CLA), de acordo com LANDSBERG (1981); OKE (1987); BITTENCOURT e CÂNDIDO (2006); ROMERO (2016), DRACH; ROSSI e BARBOSA (2014); SALES (2017) e GANDEMER (1975). O capítulo quatro aborda sobre as Ilhas de Calor Urbanas, segundo OKE, 1987; ROMERO et al, 2019; GARTLAND, 2010; DUBREUIL et al., 2014. E, por fim, o capítulo cinco, exemplifica uma estratégia de planejamento urbano que pode mitigar as ilhas de calor: a implantação de corredores de ventilação, com base nos estudos de REN *et al*, 2018; SU & JIANG, 2016; SUDER & SZYMANOWSKI, 2014; NG, 2009; ZHU, 2016; CUI & ZHENG, 2016.

A segunda parte compreende os levantamentos de dados físicos do local, os mapas obtidos por meio do sensoriamento remoto (mapas de temperatura de superfície gerados pelo *plugin Land Surface Temperature* do *freeware QGis v.2.18*) e pelas simulações realizadas por meio do *plugin Leonardo* do *software Envi-Met* versão 4.4.3. Para Drach, Rossi e Barbosa (2014), as simulações computacionais são ferramentas eficientes para analisar a qualidade urbana.

Esses dados e mapas gerados foram analisados conforme a metodologia adotada por C. Ren *et al* (2018) e por Romero (2011), para caracterizar o potencial dinâmico do vento da região, e para classificar o local como ilhas de frescor ou calor. Por fim, o último capítulo da dissertação trouxe considerações finais acerca da pesquisa, bem como sugestões para estudos posteriores.

## 2. OBJETIVOS

Objetivo Geral: contribuir para os estudos climáticos, visando o planejamento urbano antecipado com base na avaliação da ventilação urbana e na temperatura superficial e do ar.

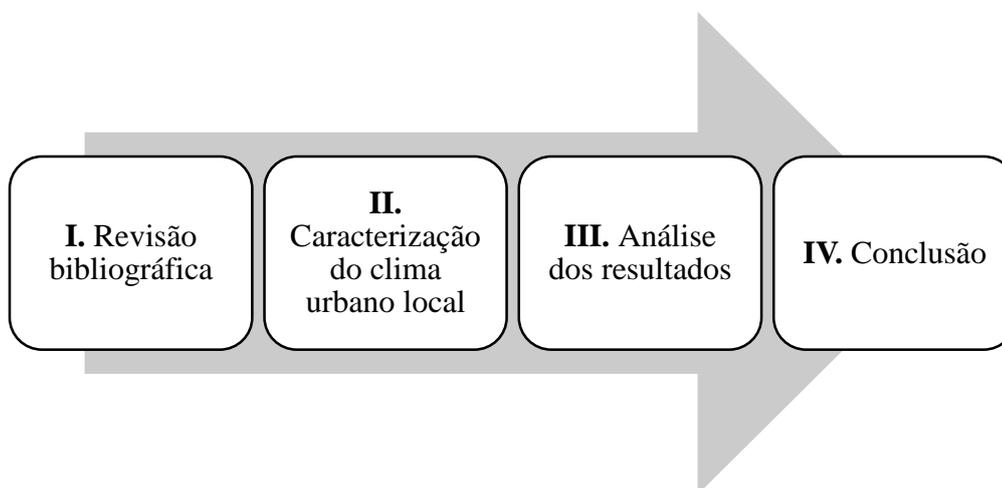
Objetivo Específicos:

- Compreensão das características climáticas urbanas locais.
- Avaliação da dinâmica potencial da ventilação (segundo os parâmetros de velocidade e direção) da Superquadra Sudoeste 500 do Plano Piloto de Brasília.
- Avaliação da temperatura do ar e da superfície após a construção da Superquadra 500 do Sudoeste.
- Identificação da área como potencial ilha de calor urbana.

## 3. MÉTODO

O estudo abrange as seguintes etapas, ver Figura 1:

**Figura 1** - Fluxograma Método da Pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

- I. Revisão bibliográfica: fundamentação teórica e conceitual dividida em três partes:
  - 1) O que é atmosfera urbana segundo os conceitos de OKE, 2006.
  - 2) Mudanças e parâmetros que alteram a ventilação urbana na Camada Limite Atmosférica (CLA), de acordo com LANDSBERG (1981); OKE (1987);

BITTENCOURT e CÂNDIDO (2006); ROMERO (2016), DRACH; ROSSI e BARBOSA (2014) ; SALES (2017) e GANDEMÉR (1975).

3) Conceito de Ilhas de Calor Urbanas, segundo OKE, 1987; ROMERO *et al*, 2019; GARTLAND, 2010; DUBREUIL *et al.*, 2014, e exemplo de uma estratégia de planejamento urbano que pode mitigá-las: a implantação de corredores de ventilação, com base nos estudos de REN *et al*, 2018; SU & JIANG, 2016; SUDER & SZYMANOWSKI, 2014; NG, 2009; ZHU, 2016; CUI & ZHENG, 2016.

- II. A segunda etapa do estudo, de caracterização do clima urbano local, é dividida em 3 partes, em que:
- A primeira consiste na compreensão das características climáticas locais. Para isso foi realizada a leitura urbanística e físico-ambiental da Superquadra 500 do Setor Sudoeste de Brasília.
  - A segunda consiste na análise dos mapas de temperatura de superfície obtidos a partir do satélite Landsat 8, bandas 4,5 e 10 e de seus metadados, e extraídas pelo plugin Land Surface Temperatura utilizando como *freeware* o QGis versão 3.4.12).
  - E por fim, na terceira parte dessa etapa, são analisados os resultados dos mapas de temperatura do ar, temperatura de superfície, fator de visão do céu e velocidade dos ventos após a construção da Superquadra 500, por meio da simulação computacional por meio do *software* Envi-Met versão 4.4.3.
- III. A terceira parte do estudo consistiu na análise dos resultados do Georeferenciamento realizado para extrair a temperatura superficial da área antes da Superquadra e da Simulação computacional realizada para extrair os mapas de temperatura do ar, temperatura superficial e velocidade dos ventos após a construção da Superquadra 500. Essa análise foi realizada para caracterizar o potencial dinâmico de vento da área e para identificar se ela se tornará ou não uma ilha de calor urbana.
- IV. Conclusão: Considerações finais acerca da pesquisa e sugestão para estudos posteriores.

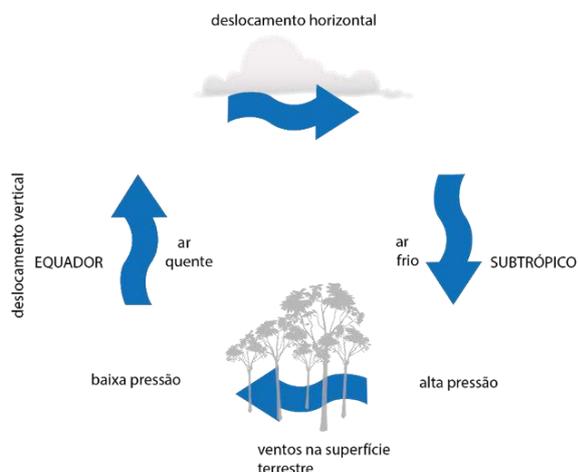
## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo contempla três partes. Na primeira, estudou-se o comportamento dos ventos na atmosfera urbana amparado principalmente nos conceitos de Camada Limite Urbana e Camada de Cobertura Urbana de OKE, 2006. A seguir, foi abordada a ventilação natural urbana e os elementos que influenciam o direcionamento e potencialidade eólica na cidade, utilizando como base teórica: LANDSBERG (1981); OKE (1987); BITTENCOURT e CÂNDIDO (2006); ROMERO (2016), DRACH; ROSSI e BARBOSA (2014); SALES (2017) e GANDEMÉR (1975). O último tópico deste capítulo referiu-se às ilhas de calor e às estratégias de planejamento urbano que podem contê-las: a implantação de corredores de ventilação. Para conceituar ilhas de calor urbanas utilizou-se como autores OKE, 1987; ROMERO *et al*, 2019; GARTLAND, 2010; DUBREUIL *et al.*, 2014, e para entender como acontecem os corredores de ventilação e sua aplicação no meio urbano, valeu-se dos estudos de REN *et al*, 2018; SU & JIANG, 2016; SUDER & SZYMANOWSKI, 2014; NG, 2009; ZHU, 2016; CUI & ZHENG, 2016.

### 4.1. A ATMOSFERA URBANA

Na atmosfera urbana, a circulação do ar acontece de maneira vertical e horizontal. Verticalmente, ela é gerada pelo aquecimento do ar na faixa Equatorial, pois o ar quente dessa região sobe criando zonas de baixa pressão. E horizontalmente, o ar nas áreas adjacentes é deslocado em direção a esta zona de baixa pressão (Equador) vindo das regiões subtropicais. Esse ar aquecido sobe até certo ponto e depois volta a se resfriar descendo para faixa subtropical, onde cria zonas de alta pressão que, conseqüentemente, movimenta o ar em direção à fronteira subpolar – uma região de baixa pressão (Figura 2).

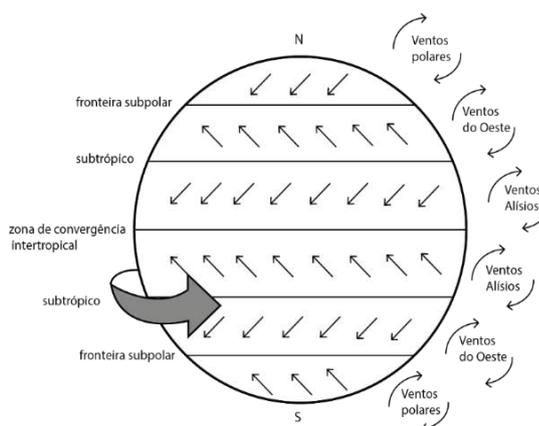
**Figura 2** - Esquema do deslocamento horizontal e vertical da circulação do ar na atmosfera.



Fonte: Adaptado de Bittencourt e Cândido, 2006, p.33

Na escala global, os ventos que circulam na atmosfera podem ser classificados em: Ventos Alísios, Ventos do Oeste e Ventos Polares. Os Ventos Alísios ocorrem entre os Subtrópicos e a Zona de Convergência Intertropical, os Ventos do Oeste localizam-se entre os Subtrópicos e as fronteiras Subpolares, e por fim os Ventos Polares que se encontram entre as fronteiras Subpolares e as extremidades Norte e Sul do Globo Terrestre - Figura 3.

**Figura 3** - Circulação do vento na atmosfera devido à rotação terrestre.



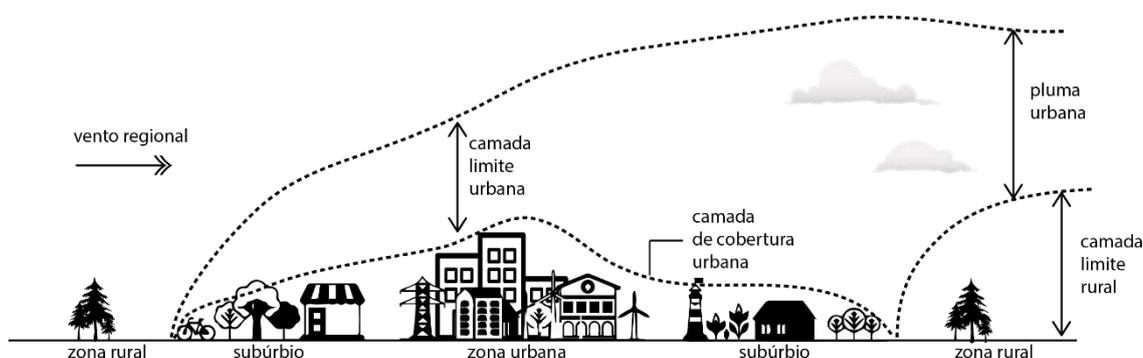
Fonte: Adaptado de ROMERO, 2013 p. 28 e BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p.32.

Esses deslocamentos de ar em escala global, porém, são percebidos de menor forma no meio urbano, pois a presença dos ventos locais e a espacialidade urbana intervêm na formação do movimento eólico. Fenômenos como a redução da velocidade do vento devido a rugosidade de uma superfície ou o aumento da velocidade devido à altura de outra, só são percebidos no espaço urbano.

Oke (2006) diferenciou a Camada Limite Atmosférica em duas camadas: Camada Intra-Urbana/ Limite Urbana (CLU – UBL *Urban Boundary Layer*) e Camada de Cobertura Urbana (CCU – UCL *Urban Canopy Layer*). A primeira refere-se à camada de ar que está acima das coberturas, sob influência da área urbana e dos diferentes microclimas urbanos. Nessa CLU, existe a Pluma urbana, que é a prolongação dessa camada a sotavento (lado oposto ao lado do qual incide o vento) da cidade sobre a zona rural, e a camada limite rural.

A Camada de Cobertura Urbana- CCU- refere-se à camada de ar até o nível das coberturas, ou seja, ao limite superior em função das alturas dos edifícios e da velocidade do vento, por exemplo. Esta última camada é um fenômeno local, portanto todas suas condições climáticas dependem do seu entorno imediato, da sua geometria e dos materiais superficiais que nela estão adotados. A altura da CCU é equivalente, aproximadamente, à altura média da rugosidade dos principais elementos de configuração urbana, ver Figura 4.

**Figura 4** - Composição da camada de ar sobre a cidade.



Fonte: Adaptado de OKE, 2006, p.3.

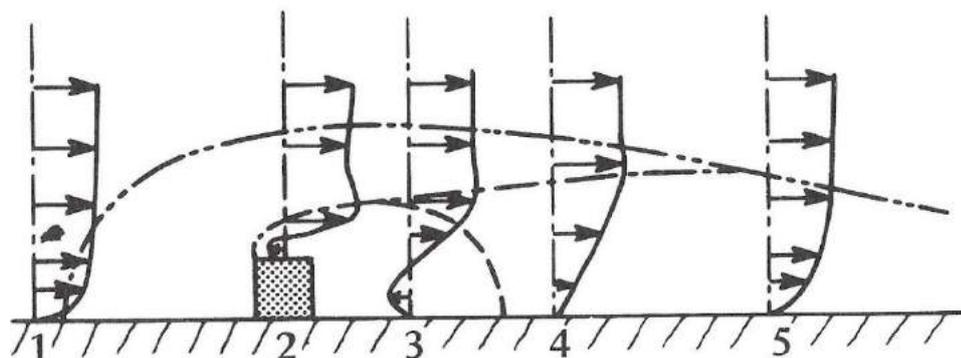
## 4.2. VENTILAÇÃO URBANA

Para Landsberg (1981), as mudanças provocadas pela urbanização na CLA- camada limite atmosférica – têm um notável efeito nas camadas mais baixas do vento. Segundo ele, os efeitos

nas camadas mais baixas dos ventos são causados principalmente devido às ilhas de calor e às mudanças nas rugosidades das superfícies.

Na Figura 5, Oke (1987) mostra o impacto que o edifício ou uma barreira construída representa (2) no perfil normal do vento (1). A imagem mostra que a distorção aumenta a velocidade do vento imediatamente acima da barreira e diminui de velocidade na sua sombra.

**Figura 5** - Perfis de vento e zonas de fluxo normal a um obstáculo.



Fonte: OKE 1987, p. 265.

Esse estudo demonstra que os fluxos eólicos, quando em contato com a superfície, estão sujeitos aos efeitos da fricção, que, por consequência, são determinados pelo grau de rugosidade desta mesma superfície. A altitude em que o vento é livre de obstáculos – Gradiente de vento, também sofre influência da rugosidade do entorno. Portanto, o vento atinge distintas alturas e velocidades conforme a rugosidade do local em que está.

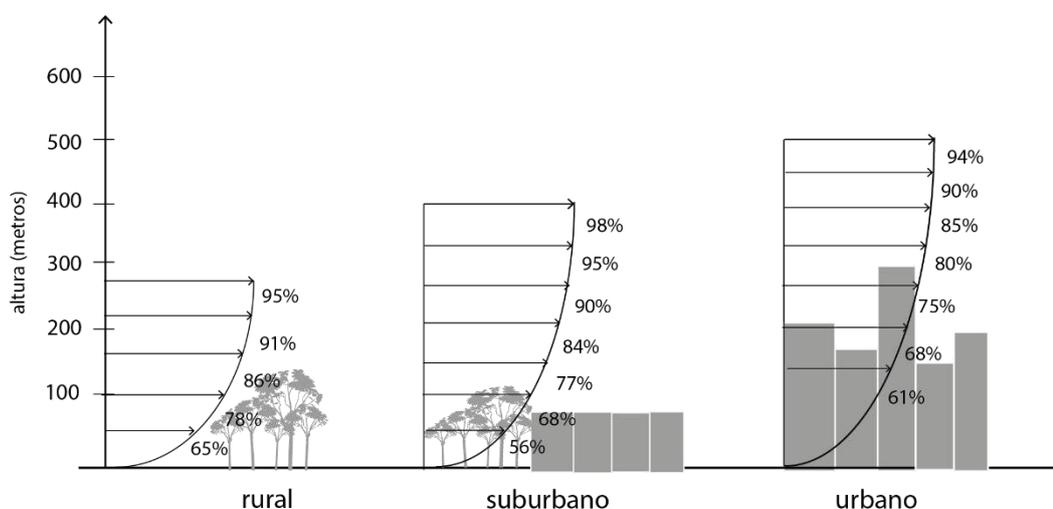
Alguns parâmetros têm influência direta sobre a Camada Limite Urbana -CLU: a rugosidade, a densidade da ocupação, a relação H/W/P (altura, largura e profundidade das edificações), o fator de visão do céu, a forma e disposição dos edifícios nas cidades e a vegetação.

#### **4.2.1. A rugosidade**

A rugosidade pode ser definida como a relação entre a dimensão e a forma dos obstáculos naturais e artificiais, ou seja, como a relação entre os parâmetros múltiplos que formam a tipologia complexa de uma cidade. Portanto, quanto maior for essa diferenciação de formas e dimensões entre os edifícios de um determinado local, maior será a sua rugosidade.

Como podemos ver na Figura 6, em áreas rurais, a camada limite – o topo da altura acima da qual a velocidade média do vento se mantém constante – é inferior à atingida nas zonas suburbanas, ou seja, o gradiente de velocidade média do vento diminui conforme a rugosidade de determinado local aumenta. Logo, a velocidade média eólica atingida pelas zonas suburbanas é, conseqüentemente, inferior às zonas urbanas.

**Figura 6** - Gradiente do vento para diferentes áreas.

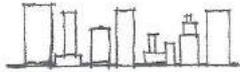
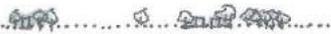


Fonte: Adaptado de Landsberg (1981).

Em um ambiente urbano, os edifícios constituem as principais rugosidades, pois formam corredores entre os quais o vento flutua. A resistência encontrada pelo vento próxima do nível do solo é suave e causa menos retardamento e turbulência que numa área densamente construída (ROMERO, 2016).

Segundo Prata-Shimomura (2012), a rugosidade pode ser descrita como um comprimento, definido como a altura em que a velocidade do vento atinge o valor zero. Oke (2006) apresenta uma relação simplificada da rugosidade com os tipos das zonas climáticas, com a relação altura/largura das edificações (relação H/W) e com a porcentagem de área impermeável, demonstrada no Quadro 1.

**Quadro 1** - Classificação de diferentes formas urbanas em ordem decrescente de sua capacidade de causar impacto na temperatura, umidade e ventos locais.

Zona Climática	Imagem	Rugosidade	Relação W/H	% Área impermeável
1. Área urbana intensamente desenvolvida, com edifícios altos separados, porém próximos, com revestimento (centro da cidade).		8	> 2	> 90
2. Área intensamente desenvolvida com alta densidade, com edifícios de 2 a 5 andares, geminados ou muito próximos, revestidos com tijolo aparente ou pedra (centro antigo).		7	1,2 – 2,5	> 85
3. Área altamente desenvolvida, com densidade urbana média, casas, lojas e apartamentos, em fileiras ou isoladas, com pequenos afastamentos (zona residencial).		7	0,5 – 1,5	70
4. Área altamente desenvolvida com densidade urbana baixa, grandes edifícios baixos e estacionamentos pavimentados (shoppings, armazéns).		5	0,05 – 0,2	75 – 95
5. Área com médio desenvolvimento e baixa densidade, com casas de 1 ou 2 andares (subúrbios).		6	0,2-0,5 ou > 1 com árvores altas	35 – 65
6. Área de uso misto com grandes edifícios em áreas abertas (hospitais, universidades, aeroportos).		5	0,1-0,5 depende das árvores	< 40
7. Área semirural com casas dispersas em uma área natural (fazendas, propriedades rurais).		4	> 0,05 depende das árvores	< 10

Fonte: ROMERO, 2011, p.82.

Nessa relação apontada por Oke (2006), percebemos que a relação H/W é a que, muitas vezes, determina o grau de rugosidade de uma certa zona climática. Portanto, esse parâmetro também é um dos fatores que alteram diretamente a velocidade e a direção da ventilação urbana.

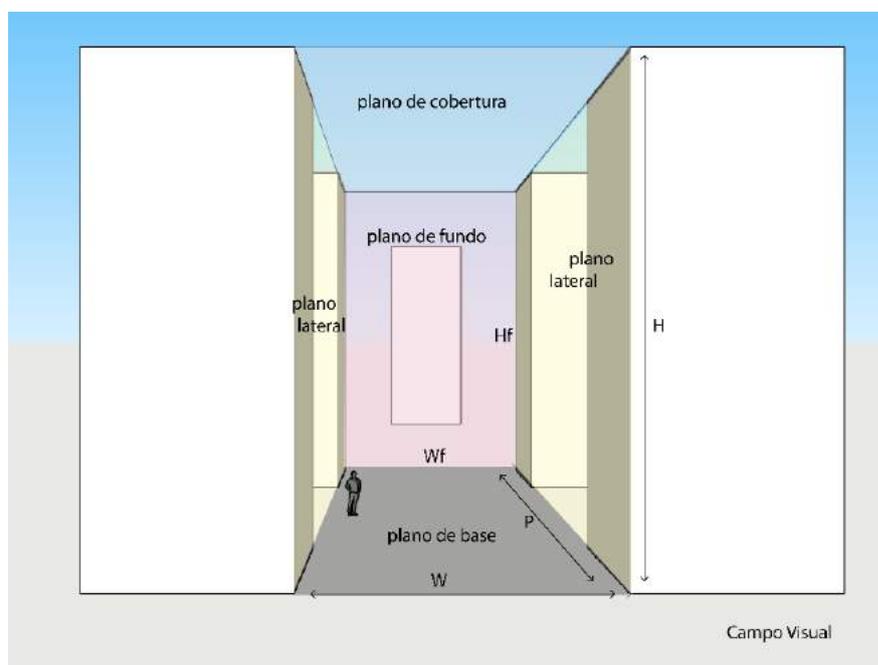
#### 4.2.2. A relação W/H e P

A relação W/H tem esse nome devido a abreviatura aos termos *Width* e *Height*, que significam, respectivamente, largura das vias ou dimensão do afastamento, e altura das edificações ou dos volumes. Essa relação é de fundamental importância para a leitura das proporções do espaço urbano e para a possível identificação dos afastamentos necessários entre os volumes construídos para a recuperação da velocidade e direção normal do fluxo do vento (ROMERO 2011; SALES, 2017).

Dentro dessa relação W/H, Romero (2011) adiciona um outro parâmetro a ser analisado: a profundidade. Essa nova relação permite uma análise tridimensional do espaço e a contemplação do espaço como um todo. O fator W/H/P define as fronteiras laterais como sendo as barreiras

artificiais existentes (os edifícios adjacentes, por exemplo) e depende da escala escolhida para análise pois leva em conta o foco estabelecido (o plano de fundo). Ou seja, o espaço analisado depende não só da altura do volume e da largura da via, mas também do campo visual e da escala analisada (**Figura 7**).

**Figura 7 - Relação W/H/P**



Fonte: Adaptado de Romero, 2011, pg.92.

Utilizando essa relação para compreensão do lugar, Romero (2011) classifica os espaços urbanos em três tipos: claustrofóbicos, de recolhimento e expansivos. Nos espaços claustrofóbicos, os fluxos de ar entre os edifícios são independentes e, por vezes, apresentam sombra de vento, pois o vento desliza sobre as cumeeiras dos edifícios e cria zonas de estagnação de ar. Nos espaços de recolhimento, os fluxos de ar entre os edifícios interagem entre si. Como dentro desses espaços, o espaçamento entre as construções (W) é, por vezes, igual à altura dos edifícios, Lee *et al.* (1980 *apud* BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006) aponta a interferência do efeito de esteira<sup>1</sup>, que produz regiões de sombra de vento na parte posterior do edifício. Para que isso não ocorra, o autor sugere que o W seja maior que a soma das regiões de sombra de vento. Nos ditos espaços expansivos, dentro da classificação de Romero (2011), o valor de W é igual ou maior a 4 vezes o valor da altura dos edifícios. É nesse último espaço, onde Lee *et al.* (1980 *apud* BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006) considera que a ventilação poderia ser melhor aproveitada sem gerar sombras

<sup>1</sup> Zona de turbulência incômoda na parte posterior do edifício. Fonte: PRATA SHIMOMURA, A.R. 2005, p. 53

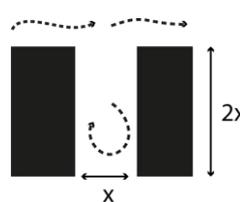
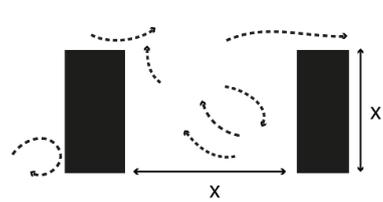
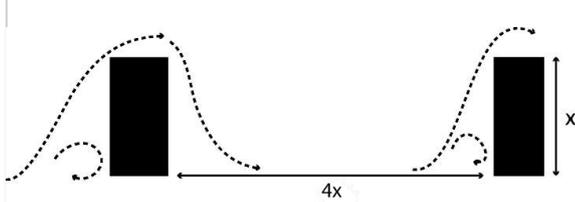
de vento. Estes autores, porém, desconsideram fatores como a temperatura do ar e o fator de visão do céu.

Mesmo que edifícios altos possam gerar sombras solares, a temperatura não é significativamente menor em países tropicais (DRACH, ROSSI e BARBOSA, 2014), isso acontece por conta da ventilação, que também não é alcançada em áreas ditas “claustrofóbicas”.

Em suma, ruas mais largas ( $W$ ) do que a altura vertical dos prédios ( $H$ ), podem facilitar a entrada dos ventos, e, em contraposição, edifícios mais altos que a largura das vias criam obstáculos na penetração dos ventos.

Segundo esses estudos, sistematizados no Quadro 2, além da rugosidade e da relação  $W/H$ , outra variável que auxilia na percepção ambiental é o Fator de Visão do Céu (FVC) que será abordado no item 4.2.3.

**Quadro 2** - Relação de percepção dos edifícios e seus entornos imediatos.

ESPAÇOS CLAUSTROFÓBICOS	ESPAÇOS DE RECOLHIMENTO	ESPAÇOS EXPANSIVOS
		
Densidade Alta	Densidade Média	Densidade Baixa
Proporções $W=1/2 H$ , $W=1/4 H$ , $W=1/8 H$	Proporções $W=H$ , $W=2H$ , $W=3H$ .	Proporções $W \geq 4H$
Espaços estreitos, proporções verticais prevalecem, não permitem visuais amplos.	Espaços harmônicos. Contornos marcados, definição forte.	Espaços excessivamente abertos, sem contornos definidos. As distâncias grandes enfraquecem os estímulos visuais.
Absorvem calor muito acima do nível do solo	A absorção de calor se dá próxima ao nível do solo.	A maior parte da radiação é refletida.
Amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável durante o dia e só é alterada por um fator extremo	Menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior	Possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior.
Os fluxos de ar entre os edifícios são independentes, e criam zonas de estagnação do ar (sombra de vento).	Os fluxos de ar entre os edifícios interagem entre si. Há a interferência da esteira, quando $W=H$ .	O fluxo de ar tende a passar sobre os edifícios. Há uma rugosidade isolada, o que significa que o espaço entre as construções é maior que a soma das regiões de separação do fluxo localizadas a sotavento e barlavento geradas entre as construções

Fonte: Adaptado de ROMERO, 2011, p. 93; BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p. 48.

### 4.2.3. Fator de Visão do Céu

O Fator de Visão do Céu (FVC), ou fator angular, trata-se de um parâmetro que representa a área de céu visível resultante da configuração das edificações, ou seja, a fração de céu disponível para a troca de calor. Assim como a relação  $W/H/P$ , o FVC depende das barreiras artificiais e, portanto, do campo visual.

Esse parâmetro permite analisar qual é a obstrução do céu causada pelos edifícios e, conseqüentemente, qual a capacidade de resfriamento e/ou calor de uma certa área. Qualquer elemento geométrico é, por sua vez, considerado uma obstrução à abóbada celeste.

Por ser um parâmetro que analisa a morfologia urbana, o FVC possibilita a compreensão da ventilação de determinada região – conhecida como cânion urbano, por demonstrar como as barreiras artificiais são também barreiras eólicas e regiões de alteração da direção e da velocidade do vento.

O escoamento do ar em cânions urbanos com  $H/W$  entre 1,5 e 2,0 é avaliado por Panão, Gonçalves e Ferrão (2006). Duas situações foram estudadas por eles em função da velocidade de transição do ar acima das coberturas: na primeira (**Figura 8** - letra a) a velocidade de transição do ar acima das coberturas é maior que a velocidade do ar:  $U_o < U_t$ , e na segunda (**Figura 8** - letra b) a velocidade do ar é maior que a velocidade de transição do ar acima das coberturas:  $U_o > U_t$ . Na primeira situação, o que se percebe é que a intensidade do vento acima das coberturas forma o vórtice I, e o fluxo convectivo gerado pela parede a barlavento forma o vórtice II. Na segunda situação, porém, o aquecimento da parede a barlavento não aparece (vórtice II), e apenas uma variante é considerada no interior do cânion: a intensidade do vento acima das coberturas.

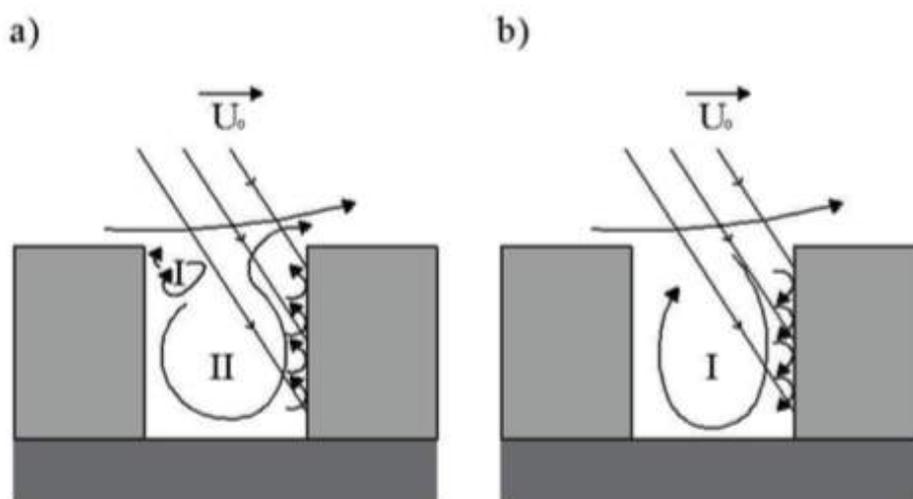
**Figura 8** - Regimes de escoamento do ar no interior do cânion urbano.

$U$  = Velocidade do vento

$U_0$  = Velocidade do ar (1,5 m do solo)

$U_t$  = Velocidade de transição do ar acima das coberturas

sendo, A)  $U_0 < U_t$  e b)  $U_0 > U_t$



Fonte: Silveira (2007) p.59 adaptado de FERRÃO, GONÇALVES E PANÃO (2006) p.10.

Analisado em conjunto com a relação  $W/H/P$ , o FVC é menor em espaços claustrofóbicos (Quadro 2) e a radiação solar direta presente na envoltória do edifício é, também, menor.

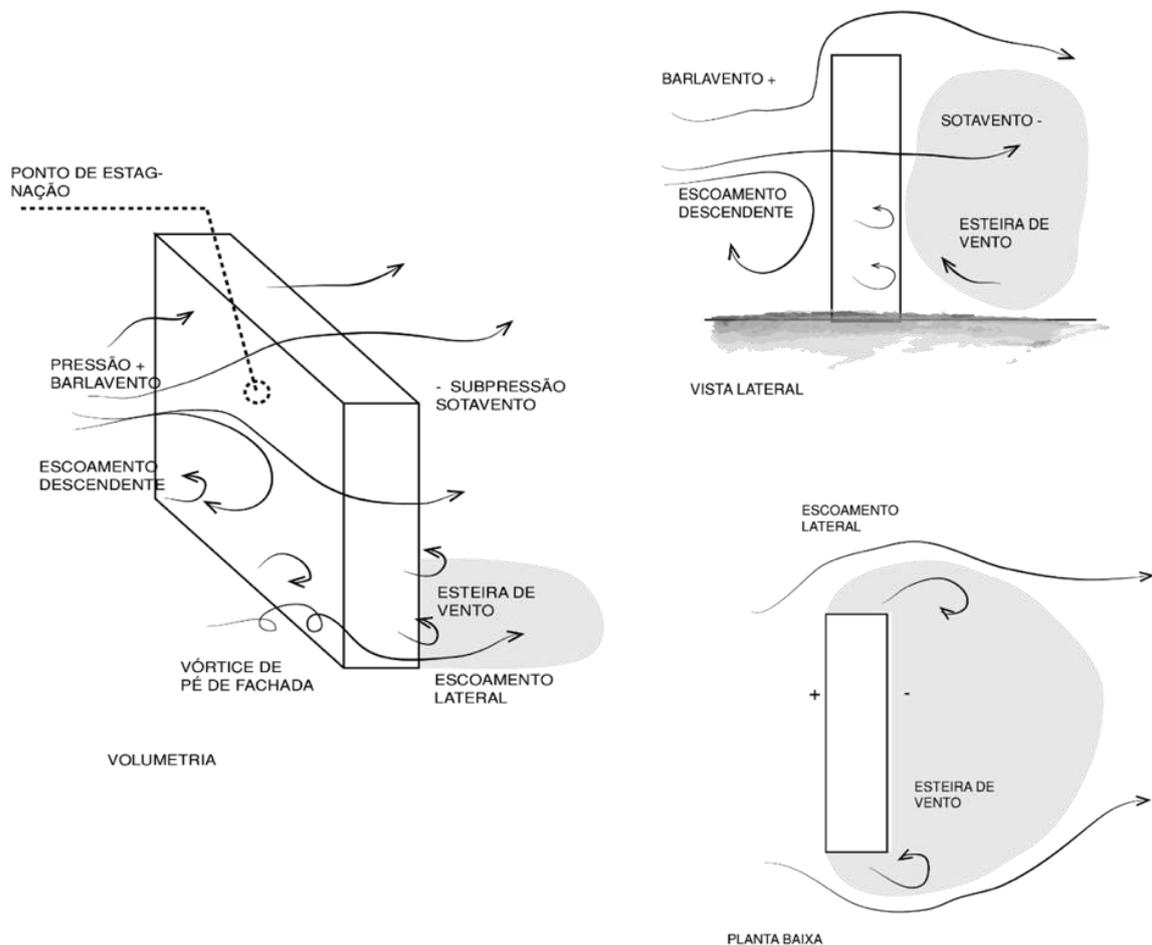
O Fator de visão do céu tem valores de 0 (zero) a 1, sendo 1 o valor que corresponde a uma área sem obstáculo algum. Ele pode ser analisado por meio de fotografias, por processamento de imagens, por diagramas, por gráficos ou por simulação computacional. No caso das fotografias, faz-se necessário uma lente do tipo “olho de peixe” que capture a visão  $180^\circ$  da região. No *plugin* “Leonardo” do *software* Envi-met v.4.4.3, é possível gerar mapas de fator de visão do céu de acordo com os dados inseridos da porção urbana.

Além do Fator de Visão do Céu (FVC), outro parâmetro é de importância fundamental para definição de ocorrência de sombras de ventos: as dimensões dos edifícios em planta e o posicionamento deles no tecido da cidade.

#### 4.2.4. Forma e disposição dos edifícios

A configuração e a orientação das ruas e dos edifícios podem afetar diretamente o clima urbano, e, conseqüentemente, os ventos da região. O arranjo entre os edifícios e a permeabilidade aos ventos são os fatores mais importantes para a manutenção das condições de conforto térmico no meio urbano. Dependendo da forma dos edifícios, correntes de ar são geradas ao seu redor (Figura 9) e resultam em diferentes efeitos aerodinâmicos. Esses efeitos resultam da localização, do comprimento, da largura, da altura e da orientação em relação aos ventos dos elementos construídos e não acontecem de forma isolada no contexto da cidade.

**Figura 9** - escoamento do vento em torno de um prisma apoiado no solo.

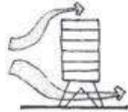
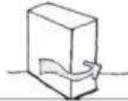
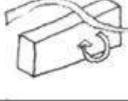
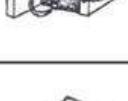


Fonte: Adaptado de COSTA FILHO, 2017, p. 39.

Segundo Gandemer (1975), os principais efeitos aerodinâmicos produzidos pelas massas construídas são: o efeito pilotis, o efeito de canto (ou esquina), o efeito esteira, o efeito turbilhão

ao pé do edifício (redemoinho), o efeito barreira, o efeito Venturi, o efeito união de zonas de pressão diferentes, o efeito pirâmide e o efeito de malha (Quadro 3).

**Quadro 3 - Efeitos aerodinâmicos do vento sobre conjunto de edificações.**

Esquema	Efeito	Definição	Características	Relações
	Efeito de Pilotis	Corrente de ar que penetra sob o edifício por meio de sua elevação do solo. Liga áreas de pressão positiva e negativa.	Entrada de ar difusa, saída em jato- localizada	$h \geq 15m$
	Efeito de Canto (Esquina)	Escoamento de ar nas arestas vivas (cantos) do edifício.	Gradiente horizontal elevado e desconfortável para o pedestre. Quanto mais alto o edifício, maior o efeito.	$h \geq 15m$ para edifícios isolados. $h \geq 30m$ , para conjuntos de edifícios.
	Efeito Barreira	Desvio em espiral ao cruzar o edifício com um ângulo de incidência de cerca de $45^\circ$	Zona de turbulência incômoda na parte posterior central do edifício. Ocorre em edifícios alongados.	$h < 25$ e $\geq 8h$ ; $d \leq h$ ; o efeito persiste por cerca de 2h.
	Efeito Venturi	Edifícios dispostos como funil alinhados em ângulos agudos ou retos em relação a ventilação dominante.	Saída em jato, muito incômoda na área de estrangulamento.	$h > 15m$ ; $c_1 + c_2 = 100m$
	Efeito de Canalização	Escoamento de ar por um conjunto construído que forma um corredor a céu aberto.	Por si só, não gera incômodo. Apenas quando a velocidade do vento é muito grande ou quando associado a outro efeito.	$h \geq 6m$ ; $d < 2h$
	Efeito Esteira	A união de áreas de pressão da ventilação produz redemoinhos. O vento tende a ficar turbulento atrás do edifício.	Zona de turbulência incômoda a parte posterior do edifício.	$15m \leq h \leq 35m$
	Efeito Turbilhão ao Pé do Edifício - Redemoinho	O vento que incide diretamente sobre a fachada, cria uma área turbulenta ao pé da face.	Zona de turbulência incômoda ao pé do edifício, que pode ser intensificada pela presença de um edifício mais baixo à frente.	$h \geq 15m$
	Efeito União de Zonas de Pressão Diferentes	Escoamento entre zonas de pressão diferentes formadas pela disposição de edifícios paralelos.	Alteração na direção dos ventos decorrente da altura dos edifícios.	$h \geq 15m$ , $d \leq h$ ; $a \geq h$ ; para $h > 100m$ , $d = e/4$
	Efeito de Malha	O vento circula por meio de um arranjo de edifícios que formam pátios centrais ou bolsões	O pátio central pode ao mesmo tempo, ser ventilado ou protegido, dependendo do interesse do projeto.	$h > e$ ; $b \leq P/4$ ; $S/h^2 \leq 10$ para $15m \leq h \leq 25m$ (efeito de proteção)
	Efeito Pirâmide	Escoamento do ar por meio de um arranjo de edifícios com formato piramidal.	Alta turbulência nas áreas mais altas. Em relação ao pedestre, esse efeito não tem grande repercussão.	Áreas críticas são os cantos dos edifícios e os terraços ou varandas

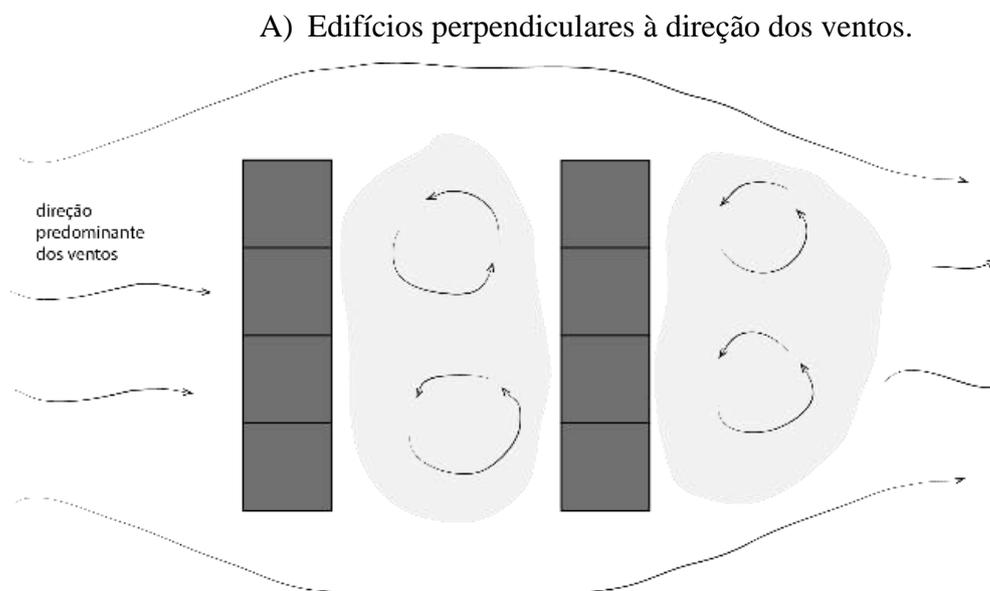
Fonte: Adaptado de ASSIS *et al.* (1995), COSTA FILHO (2017, p. 39-43), ROMERO (2013, p.92).

Os efeitos aerodinâmicos do vento sobre massas construídas devem ser usados no desenho urbano conforme as necessidades microclimáticas da cidade. Por exemplo, os edifícios com pilotis são aconselháveis para cidades densamente construídas, pois permitem a entrada de jatos de ventos em diversas direções. Os efeitos de canto, pelo contrário, devem ser evitados nessas mesmas áreas densamente construídas, pois prejudicam a circulação do pedestre. O efeito Venturi também pode ser utilizado positivamente em áreas urbanas que necessitam de alta ventilação, com atenção especial às áreas de estrangulamento que produzem uma saída do vento em jato. O efeito da canalização pode ajudar a levar o vento para áreas antes não ventiladas, e o efeito união de zonas de pressão diferentes pode alterar a direção dos ventos.

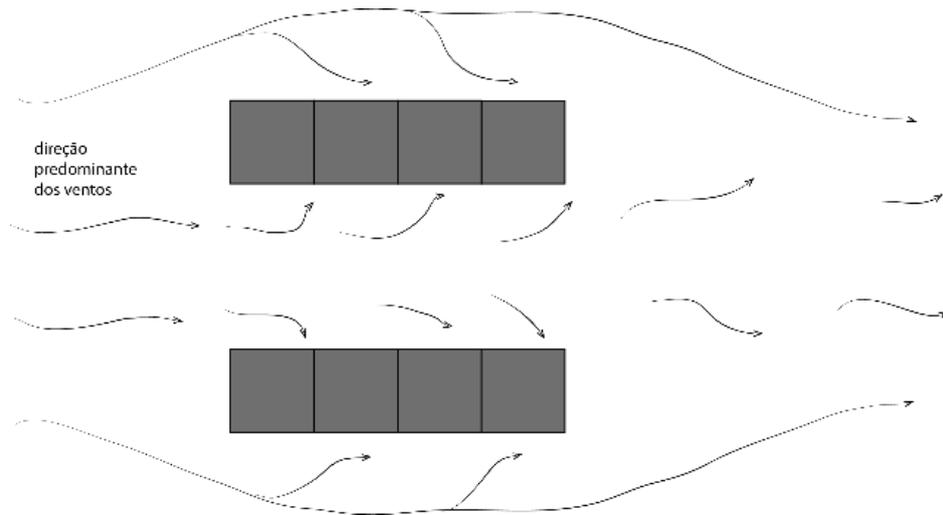
Romero (2016), pensando na configuração da cidade, analisa que se os primeiros edifícios formarem longas fileiras de mesma altura perpendiculares à direção do vento, eles desviam as correntes de ar e tudo que estiver atrás ficará na sua sombra, gerando o efeito barreira ( Figura 10– letra a). Enquanto que, quando os edifícios e as ruas são paralelos à direção do vento, este pode percorrer ao longo dos espaços e melhorar a ventilação urbana ( Figura 10 – letra b).

Ao mesmo tempo, locais com edifícios na mesma altura, tendem a transferir o fluxo de ventos do solo para as coberturas, enquanto que a diversidade morfológica horizontal e vertical dos gabaritos pode favorecer a ventilação para o pedestre.

**Figura 10** - Posição dos edifícios em relação à direção predominante dos ventos.



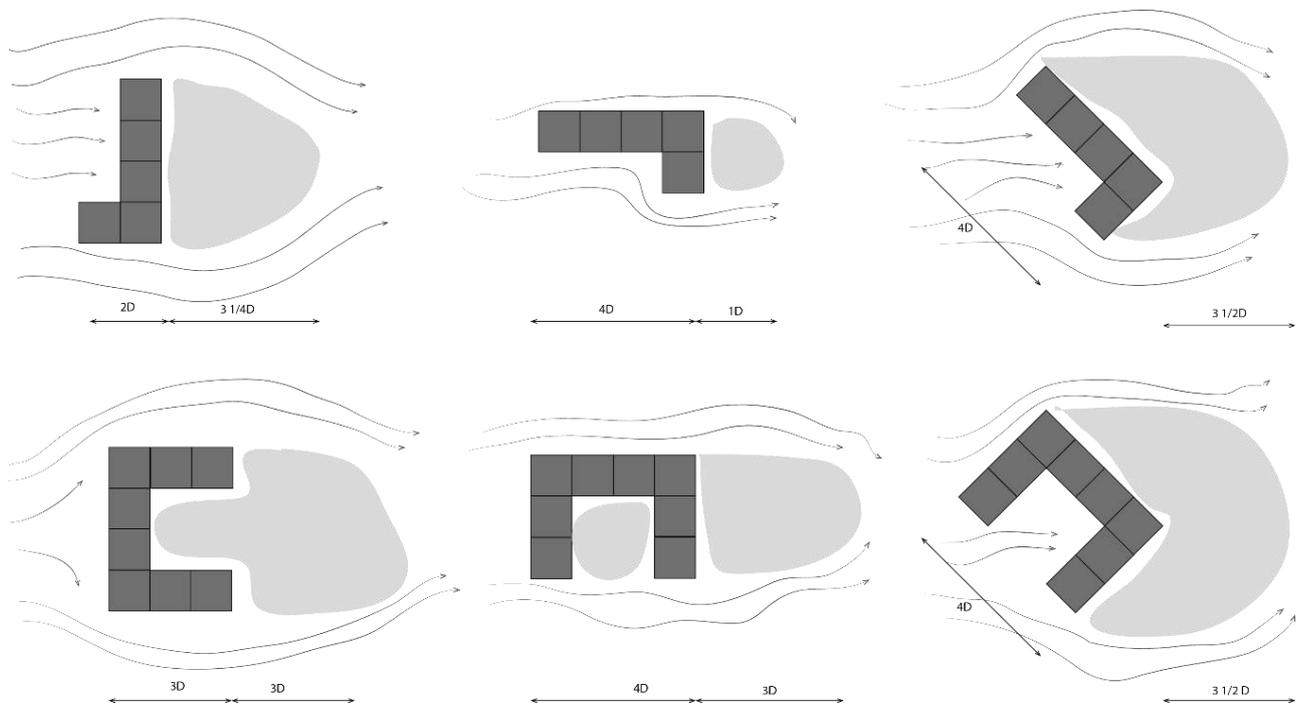
B) Edifícios paralelos à direção dos ventos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Evans (1980) detalha o comportamento do ar em torno de edifícios dispostos no formato “L” e “C”, conforme suas angulações em relação à direção dos ventos. Esses estudos ajudam a comprovar que a menor sombra de vento é encontrada quando os edifícios são dispostos paralelamente à direção do vento.

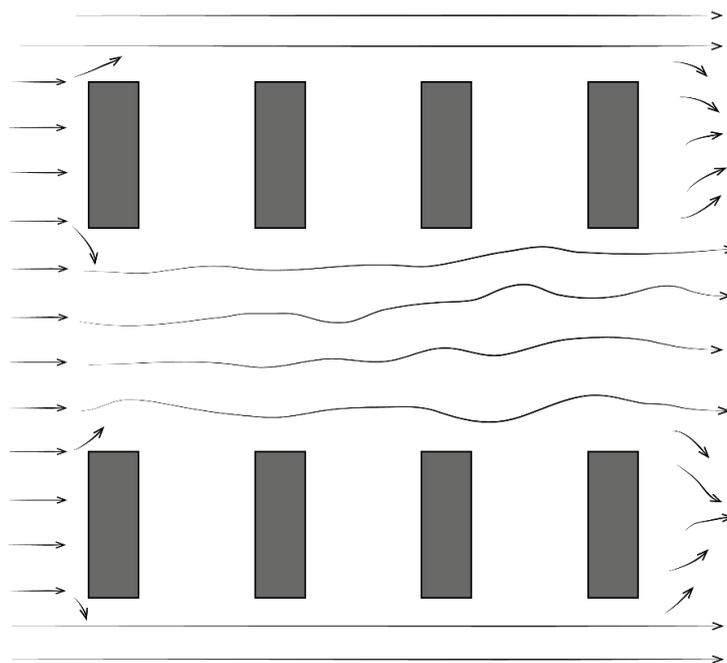
**Figura 11** - Comportamento do fluxo de ar em torno de edificações em 'L' e em 'C'.



Fonte: Adaptado de Evans, 1980 e Boutet, 1987.

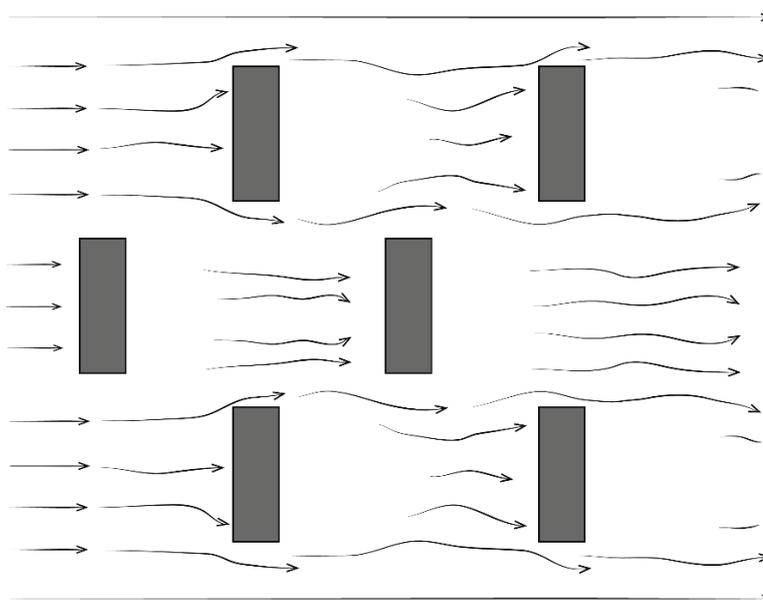
Na disposição de traçado em grelha, o qual será abordado com mais detalhes posteriormente, Bittencourt e Cândido (2006) comparam o arranjo escalonado com o arranjo normal. Para os autores, o arranjo escalonado reduz a área de sombra de vento se comparada com o arranjo normal ( Figura 12 e Figura 13) . Essa situação se inverte, porém, quando os edifícios estão dispostos obliquamente à malha (Figura 14 e Figura 15).

**Figura 12** - Fluxo do vento em torno de edifícios com arranjo normal.



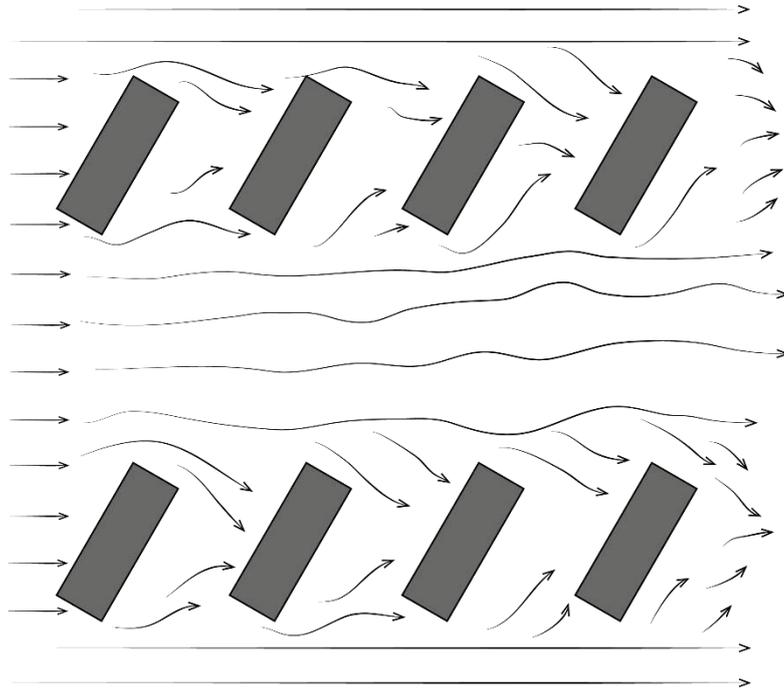
Fonte: Adaptado de BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p.47.

**Figura 13** - Fluxo do vento em torno de edifícios com arranjo escalonado.



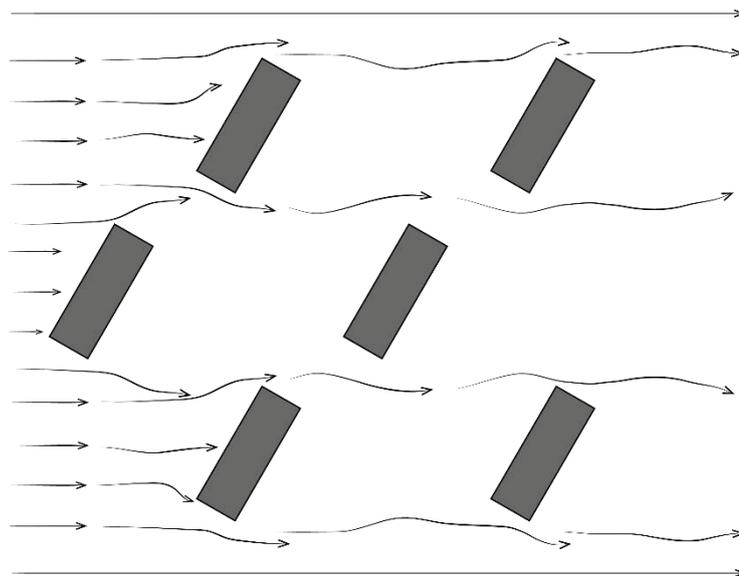
Fonte: Adaptado de BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p.47.

**Figura 14** - Fluxo do vento em torno de edifícios dispostos obliquamente com arranjo normal.



Fonte: Adaptado de BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p. 47.

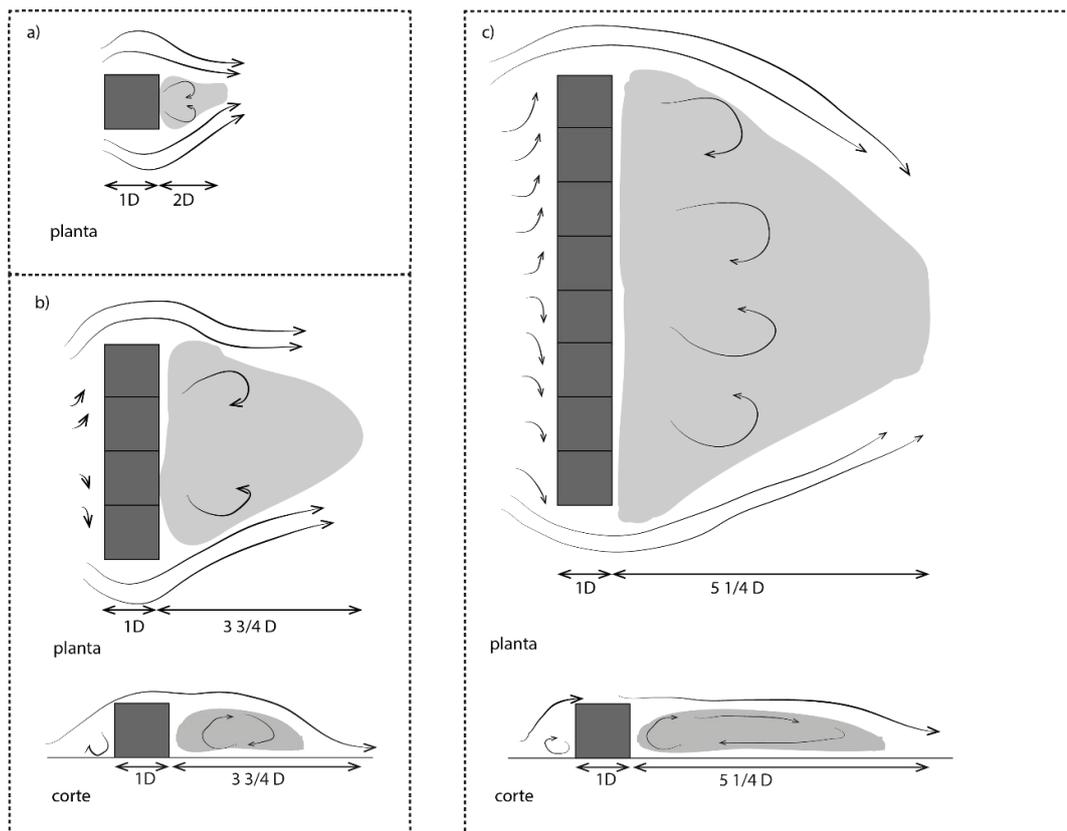
**Figura 15** - Fluxo do vento em torno de edifícios dispostos obliquamente com arranjo escalonado.



Fonte: Elaborado pela autora.

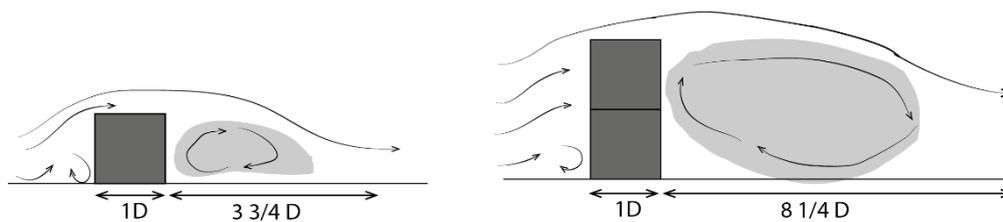
Evans (1979 *apud* BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p.50) comparou ainda a influência das dimensões de largura, profundidade e altura dos edifícios no tamanho da esteira (região de sombra de vento e turbulência na região posterior - Figura 16 e Figura 17 ). Nesse estudo, podemos perceber que a altura ( Figura 17 ) é o que mais influencia no tamanho da esteira, e, portanto, quanto mais alto o edifício, maior a sombra de vento gerado ao seu redor.

**Figura 16** – Influência das dimensões do edifício – efeito da largura e da profundidade.



Fonte: Adaptado de Evans,1980.

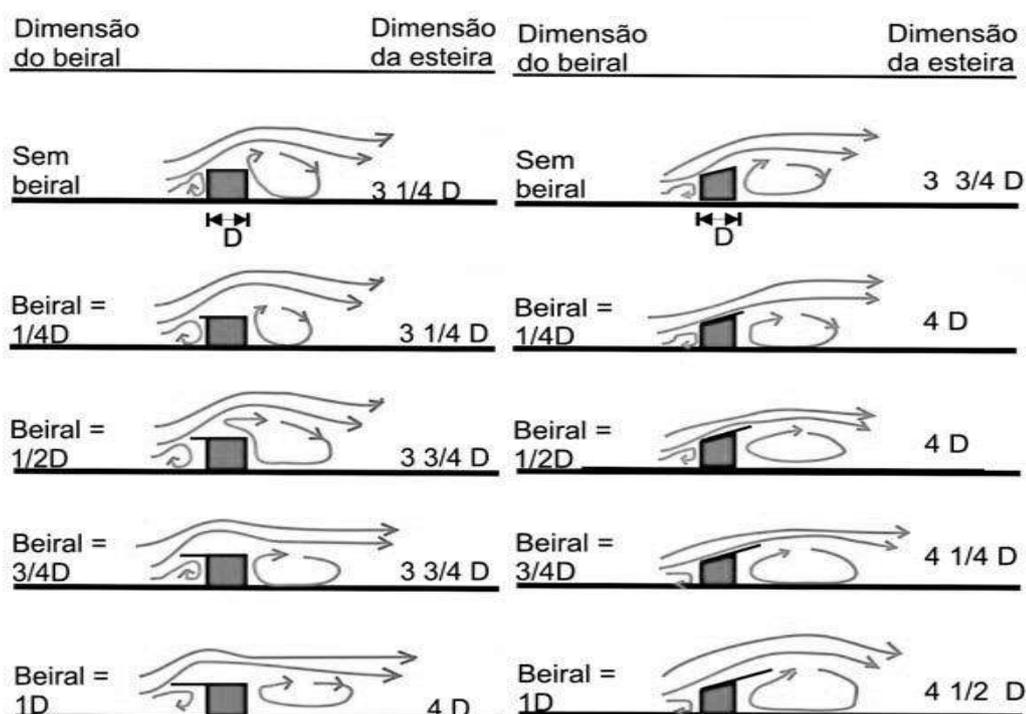
**Figura 17** -Influência das dimensões do edifício – efeito da altura.



Fonte: Adaptado de Evans,1980.

Outros elementos, como os beirais e as varandas dos edifícios, também afetam o comportamento da ventilação urbana. À medida que a inclinação do beiral aumenta (Ver Figura 18), a profundidade da esteira se expande, pois, a altura da construção (que, como já vimos, é um dos parâmetros de maior influência no tamanho da esteira) também aumenta (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006, p.54).

**Figura 18** - Efeito dos beirais no tamanho da esteira - com cobertura plana e inclinada.



Fonte: Evans,1980 e Boutet, 1987.

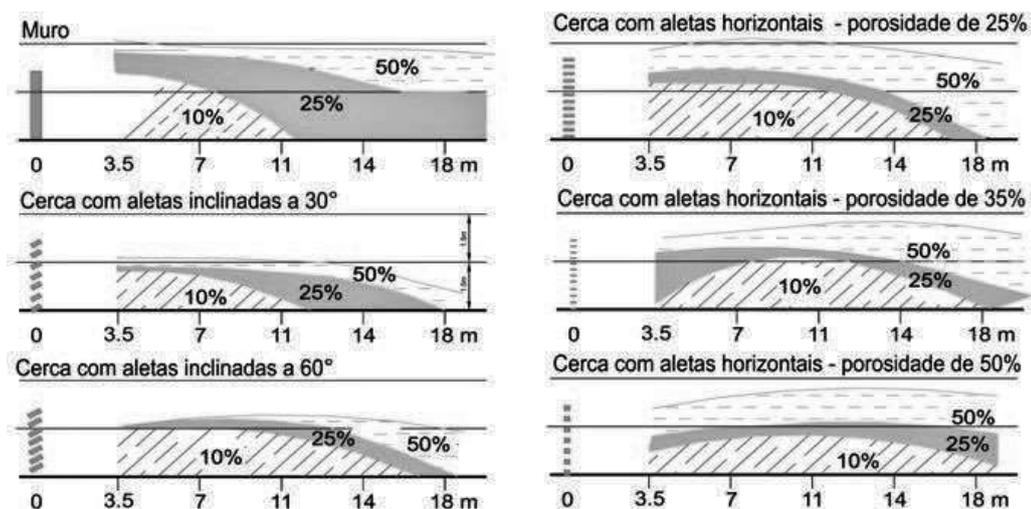
Além das massas edificadas, outros elementos de barreiras para a ventilação natural são encontrados nas cidades, como os muros, as massas vegetativas e o relevo natural.

#### 4.2.5. Outros elementos de barreira de obstrução da ventilação natural.

Um dos elementos de barreira de obstrução da ventilação natural encontrados nas cidades são os muros e as cercas. A altura e a forma deles são aspectos importantes para serem considerados quando se trata de ventilação natural (Figura 19). A sua presença pode produzir significativa redução no movimento do ar no interior das construções, principalmente se eles forem

altos e fechados. Quando feitos em cercas com 50% de áreas vazadas, por exemplo, os muros apresentam resultados significativamente melhores se comparados aos que possuem menor porosidade (muros fechados, ou mesmo cercas horizontais) (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2006; SALES, 2017).

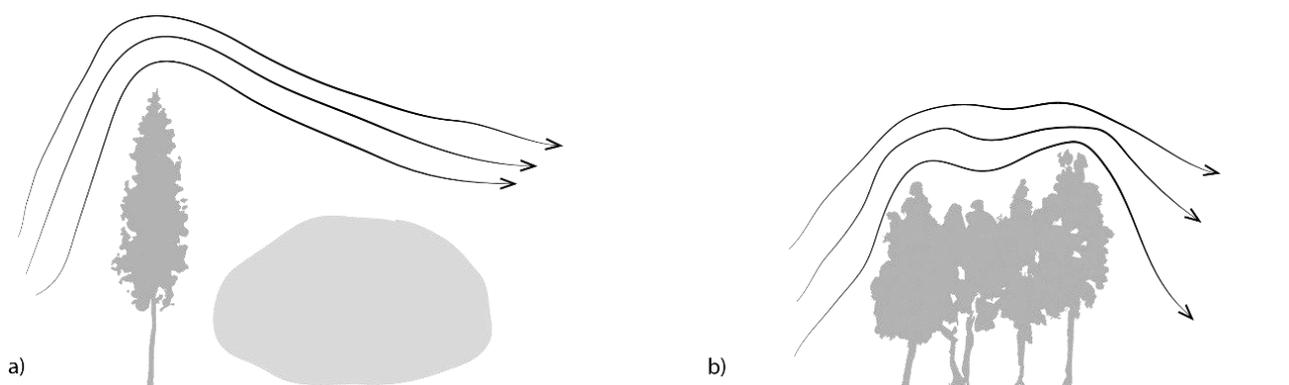
**Figura 19** - Efeito de cercas e muros com diferentes configurações.



Fonte: Boutet (1987)

As massas vegetativas são outros elementos encontrados nas cidades, que modificam o fluxo eólico em sua forma e direção. Se uma determinada região possuir árvores de grande porte porém dispostas em fileiras finas, elas podem produzir o efeito de esteira (Figura 20 letra a), em contraposição, no mesmo espaço, se for alocado uma densa área de vegetação poderá produzir uma pequena sombra de vento e uma maior ventilação (Figura 20 letra b). A solução de espécies vegetais é, então, fundamental para aumentar ou diminuir o vento em determinadas zonas.

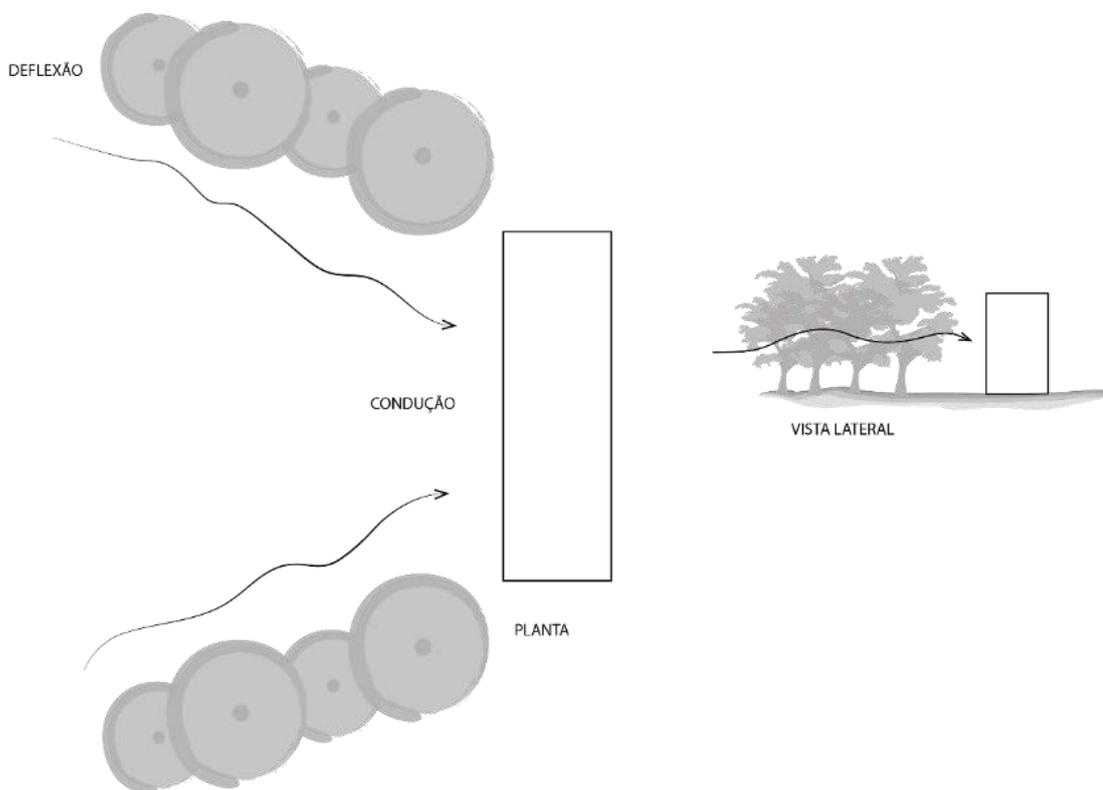
**Figura 20** - Efeito da vegetação na configuração do fluxo do vento.

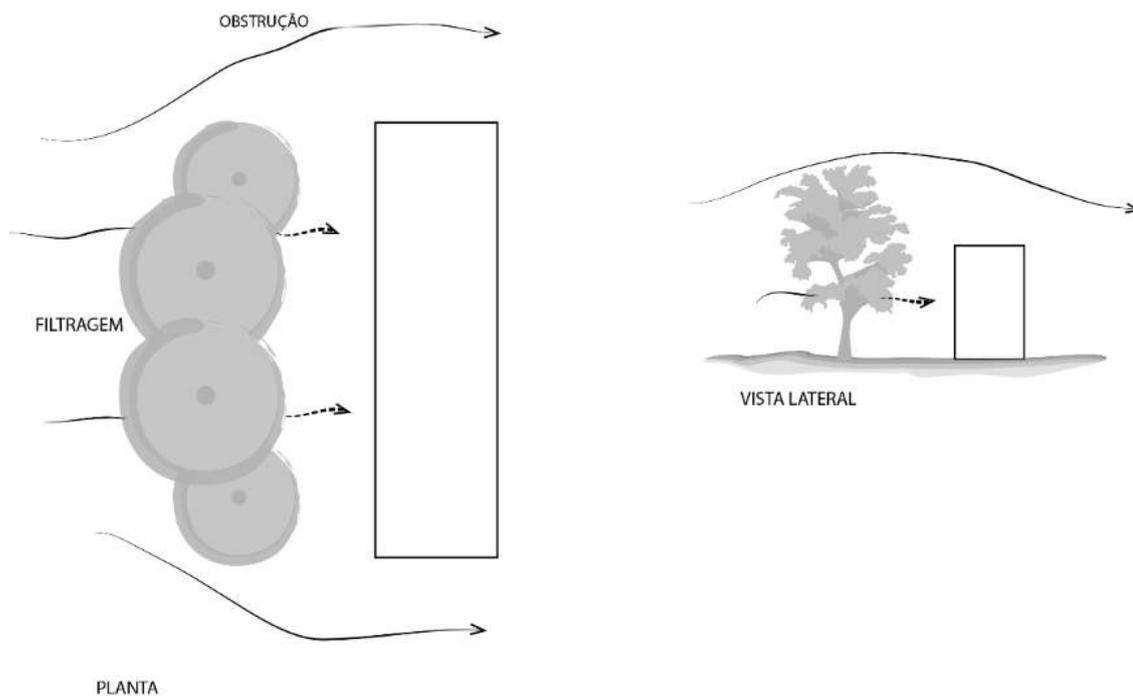


Fonte: Adaptado de Boutet (1987).

Segundo Mascaró (1996 *apud* COSTA FILHO, 2017, p.50), entre os efeitos de barreira que podem ser desempenhados pela cobertura vegetal, quatro se destacam: a deflexão, a condução, a obstrução e a filtragem (Figura 21). Esses quatro efeitos podem afetar o microclima de uma série de formas e reduzir a temperatura do ar, proporcionando um melhor conforto térmico urbano.

**Figura 21** - Vegetação como barreira de vento.





Fonte: Adaptado de Mascaró (1996).

### **4.3. ILHAS DE CALOR URBANA E ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO URBANO PARA MITIGÁ-LAS: A IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES DE VENTILAÇÃO.**

Os centros urbanos abrigam mais da metade da vida humana existente no planeta. Devido a ocupação desordenada de muitos centros urbanos, mudanças climáticas são cada vez mais uma realidade nos diversos países. O Brasil, por exemplo, está mais seco e quente a cada ano que passa, segundo Romero *et al.* (2019).

As mudanças climáticas acontecem tanto na escala macro (no planeta, no continente e no país), quanto na escala micro (na cidade e nos seus bairros). Dentro da microescala, é possível perceber essas mudanças de maneira mais clara, uma vez que sentimos o clima se tornar mais agradável conforme nos aproximamos de áreas menos urbanizadas. Percebemos também, cotidianamente, que meses chuvosos já não são tão chuvosos assim, e meses que costumavam a ser secos apresentam episódios de chuvas torrenciais.

É nessa perspectiva de como o ser humano alterou o clima e o microclima urbano, que abordaremos nesse capítulo o que caracteriza as Ilhas de Calor Urbanas e qual o mecanismo de planejamento urbano atrelado a ventilação urbana pode ser implantado para contê-las.

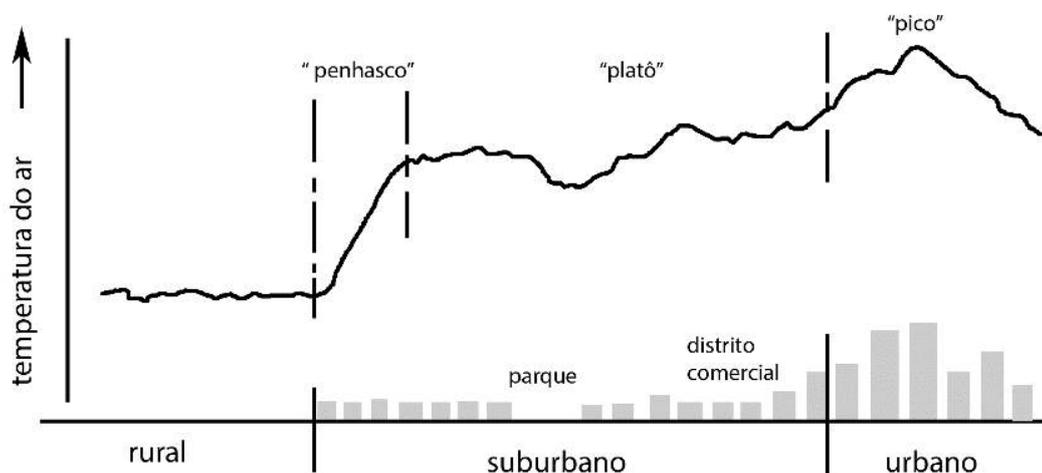
Utilizaremos como base teórica os estudos de OKE, 1987; ROMERO *et al*, 2019; GARTLAND, 2010; DUBREUIL *et al.*, 2014, REN *et al*, 2018; SU & JIANG, 2016; SUDER & SZYMANOWSKI, 2014; NG, 2009; ZHU, 2016; CUI & ZHENG, 2016.

### 4.3.1. Ilha de Calor Urbana

Segundo Oke, 1987, a Ilha de Calor Urbana é caracterizada pelo aumento do gradiente térmico entre o centro e a periferia (áreas rurais). Ela é, em suma, o resultado do balanço de energia modificado pelas superfícies artificiais e as emissões de gases urbanos resultantes da combustão – transportes, indústrias, energia- que ocasionam nas diferenças de temperatura entre as regiões urbano-rurais (Figura 22).

*“A forma e o tamanho exatos desse fenômeno variam no tempo e no espaço como resultado de características meteorológicas, locais e urbanas.” (OKE, 1987, p. 288)*

**Figura 22** - Seção Transversal de uma típica Ilha de Calor Urbana (ICU)



Fonte: Adaptado de Oke, 1987, p. 288.

Para Romero *et al* (2019), quando ocorre o fenômeno da Ilha de Calor Urbana – ICU- a temperatura do ar do ambiente urbano está mais elevada, a umidade relativa do ar está mais baixa e existe uma alteração na velocidade dos ventos e no regime de chuvas quando comparado às regiões microclimáticas rurais. Esse fenômeno é decorrente, dentre outras coisas, do adensamento urbano, do aumento do albedo, da rugosidade das superfícies e da remoção da vegetação.

As formas mais comuns para se identificar as ilhas de calor, segundo Gartland (2010 *apud* ROMERO *et al.*, 2019, p.19), são por meio das estações fixas, dos transectos móveis e do sensoriamento remoto. Para se identificar uma ilha de calor por meio das estações fixas, basta comparar os dados de uma estação localizada dentro da cidade e de outra localizada nos arredores, se a temperatura for maior no meio urbano, tudo indica que ali há uma ICU. A identificação por meio de transectos móveis acontece, na maioria das vezes, de forma complementar à identificação por meio das estações fixas, pois ela capta determinados pontos pré-determinados, mostrando a diferença de temperatura em determinado percurso. Por fim, a identificação por meio do sensoriamento remoto faz o uso de informações de bandas termais para obter detalhes da temperatura de superfície urbana. Este último tem, porém, suas limitações, pois trata apenas da temperatura de superfície, desconsiderando a temperatura do ar da região.

Dubreuil *et al.* (2014) afirma que a ICU é ainda mais nítida quando a velocidade do vento é baixa ou quando há estabilidade do ar com céu claro, pois nessas situações a influência do substrato acentua certos contrastes intraurbanos e os limites das áreas verdes.

Uma das formas de se conter a Ilha de Calor Urbana é a implantação de corredores de ventilação, pois estes dispersam os poluentes atmosféricos, melhoram a circulação do ar e trazem um efeito de resfriamento que reduzem, conseqüentemente, o uso de eletricidade em áreas urbanas. A seguir neste capítulo, analisaremos o que são esses corredores e como eles funcionam como mecanismo de planejamento urbano para conter o aumento da temperatura das cidades.

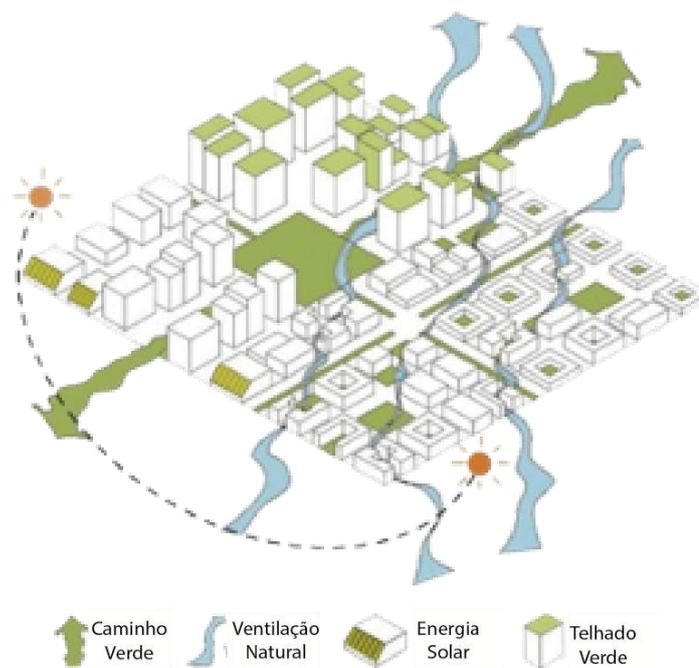
#### **4.3.2. Corredores de Ventilação**

O conceito de corredor de ventilação surgiu com o pesquisador alemão Kress (1979 *apud* REN *et al.*, 2018), que sugeriu que as pessoas considerassem unir, por meio de um corredor, dois elementos importantes da cidade para melhorar as condições de troca de ar e ventilação das áreas centrais: a área de funcionamento e área de compensação. As áreas de funcionamento seriam as indústrias e os edifícios necessários para a vida urbana, e as áreas de compensação seriam os parques, bosques e rios presentes na cidade. Esse corredor utilizaria as características do vento para ajustar o microclima urbano alterado pela urbanização e serviria, então, de conector urbano para permitir a circulação de um ar mais fresco.

Os corredores de ventilação podem ser entendidos como uma rede de parques, rios, rodovias, pontos e prédios baixos que, juntos, permitem que o ar viaje mais livremente e que impeçam que a urbanização desenfreada ocasione problemas climáticos nas cidades (Figura 23). Parte-se do

pressuposto que otimização da ventilação pode não só melhorar efetivamente a qualidade do ambiente humano, mas também propiciar economia de energia e reduzir emissões poluentes.

**Figura 23 - Corredores de Ventilação**



FONTE: Adaptado de Raven, J *et al*, 2016, p. 150.

Em 2003, Hong Kong, China, uma cidade com alta densidade, foi atingida por uma síndrome respiratória aguda grave, do qual muitas pessoas morreram devido ao alto índice de poluição da cidade. O governo, para evitar que a situação se repetisse, criou um comitê de estudos voltados para políticas urbanas “limpas”, nos quais vários estudos foram focados na ventilação como estratégia para manter a qualidade do ar na cidade (NG,2009).

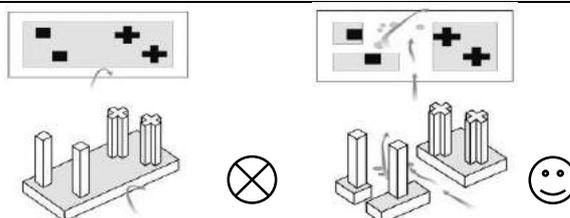
A síntese desses estudos consistiu na criação de políticas e diretrizes técnicas para o planejamento urbano de cidades com alta densidade com base nos estudos de NG, (2009) sobre a ventilação. Essas diretrizes servem tanto quanto método de implantação de projetos urbanos com base na ventilação como forma de mitigação das ilhas de calor urbano, como também, como forma de análise das áreas urbanas já consolidadas (Gráfico 1).

**Gráfico 1 - Diretrizes técnicas para o planejamento urbano.**

**DIRETRIZES TÉCNICAS PARA O PLANEJAMENTO DA VENTILAÇÃO URBANA DE CIDADES COM ALTA DENSIDADE.**

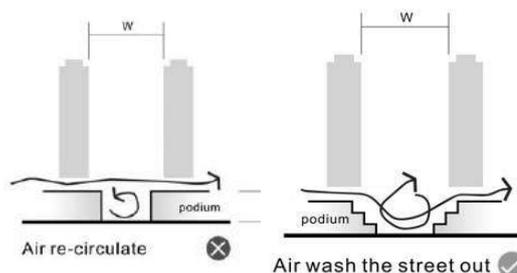
**DISPOSIÇÃO DOS EDIFÍCIOS**

O arranjo dos blocos deve ser feito de tal forma que os blocos atrás são capazes de receber o vento penetrando por meio das aberturas entre os blocos na fila da frente.



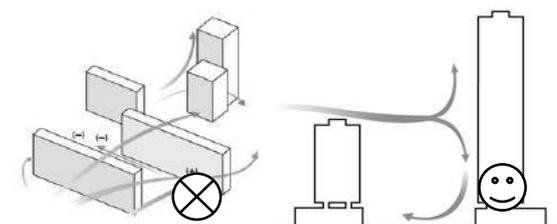
**ALTURA DOS EDIFÍCIOS**

As alturas dos blocos devem ser decrescentes para a direção em que o vento prevalece. Se não for possível, é melhor ter alturas variáveis do que alturas uniformes.



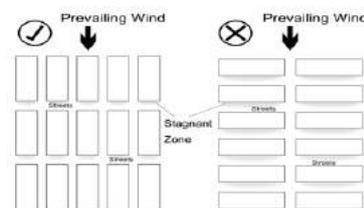
**PERMEABILIDADE DOS EDIFÍCIOS**

Vazios ao nível do solo são necessários para melhorar a ventilação entre os pedestres, isso irá melhorar não só o movimento do ar, mas também ajudará a remover os poluentes e o calor gerado no nível do solo. Para edifícios muito altos, a permeabilidade de nível médio, pode ser necessária para melhorar a ventilação.



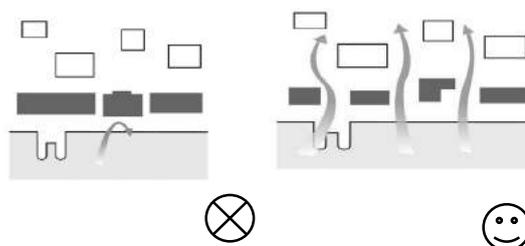
**TRAÇADO DA RUA**

Um conjunto de ruas principais e/ou largas avenidas principais devem ser alinhados em paralelo, ou até 30 graus para a direção do vento predominante, a fim de maximizar a penetração do vento predominante.



**LOCAIS A BEIRA-MAR**

Locais à beira-mar são os portões da brisa do mar e da brisa da terra devido ao resfriamento do mar e dos efeitos de aquecimento do sol. Os edifícios ao longo da orla marítima devem evitar o bloqueio das brisas marítimas / terrestres e ventos prevalecentes.



Fonte: Adaptado de NG 2009, p.09-12.

Para Zhu (2016) os ventos urbanos são modificados por meio:

- Da concentração de arranha-céus que resultam em uma superfície adjacente áspera e diminui a velocidade do vento urbano;
- Da localização incorreta de arranha-céus e o seu posicionamento que acabam criando corredores de ventilação em situações de vento fraco ou calmo;
- Dos grandes blocos de edifícios que fecham o traçado urbano e facilitam a formação de uma zona de sombra ao vento no lado de sotavento da construção.

O desmembramento dos edifícios - no sentido de que um só bloco de edifício pode ser transformado em vários blocos desconexos -, é, para ele, uma das alternativas para distribuição dos ventos urbanos e consequente minimização das sombras de vento. Esse desmembramento, no entanto, não pode ser feito de maneira aleatória e deve levar em conta que a mesma densidade e taxa de volume produzem formas arquitetônicas diferentes, que terá efeitos diferentes no ambiente aéreo urbano. Uma síntese do estudo feito por Zhu (2016), está apresentado na Tabela 1:

**Tabela 1 - Desmembramento dos blocos de edifícios**

<b>DIRETRIZES PARA A DISPOSIÇÃO DOS BLOCOS DE EDIFÍCIOS.</b>	
<b>ORIENTAÇÃO</b>	devem ser colocados no lado de vento dominante quando o resfriamento por aeração for necessário
<b>POSIÇÃO</b>	devem ajudar a formar corredores de ventilação com aberturas em ambas as extremidades, pois os corredores que abrem apenas de um lado reduzem intensamente a eficiência da ventilação
<b>COMPRIMENTO</b>	devem ser longos o suficiente e ter pequenas aberturas entre os blocos em ambos os lados
<b>TAMANHO</b>	na situação em que a fachada está no local de barlavento (direção do vento), quanto maior o tamanho da abertura entre os blocos, menor a velocidade de vento
<b>FORMA</b>	o plano curvo pode formar o campo de vento estável no gráfico de abertura e criar melhor efeito de indução do ar.

Fonte: Adaptado de Zhu, D. (2016), p.133-141.

Percebe-se, pelas Tabela 1 e Tabela 1, que essas diretrizes para a criação de corredores de ventilação urbana escritos por NG (2009) e Zhu (2016), apontam como os parâmetros já

apresentados no capítulo 4.2, podem ser implantados para o melhor aproveitamento da ventilação na cidade.

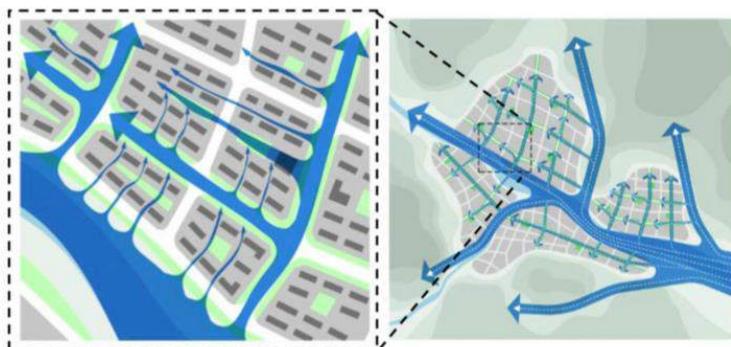
Suder e Szymanowski (2014) utilizaram ferramentas SIG para realizar a análise de dados de rugosidade, assumindo várias direções de fluxo de vento. Esse estudo permitiu determinar os locais de possíveis caminhos de ventilação na cidade que, se combinados, formavam grandes corredores de ventilação.

Cui & Zheng (2016) simularam, por meio do *software* PHOENICS, a influência dos edifícios tridimensionais verdes – a combinação de telhado do edifício, parede, varanda, janela e outro espaço especial com *design* verde de acordo com as características de diferentes plantas -, no microclima e na ilha de calor urbana na cidade de Jinan, capital da província de Shandong, na República Popular da China. Essa é uma região fria que atinge, porém, altas temperaturas no verão (em julho de 1955, a temperatura máxima registrada foi de 42,5 °C). A influência dos edifícios verdes é percebida, principalmente, em termos de ventilação, pois a temperatura do ar ao redor do edifício verde tridimensional mudou consideravelmente na direção vertical, com o ar quente subindo e o microclima tornando-se mais agradável. Logo, o que se conclui desse estudo é que outro fator de relevância na análise de corredores de ventilação e direcionamento do vento, é a vegetação.

Ren *et al* (2018) apontam que os principais passos para a construção de corredores de ventilação urbanos são:

- O alinhamento do corredor com a direção predominante do vento (Figura 24) – ou quando isso não for possível, que o ângulo entre o corredor e a direção predominante seja de no máximo 30 graus,

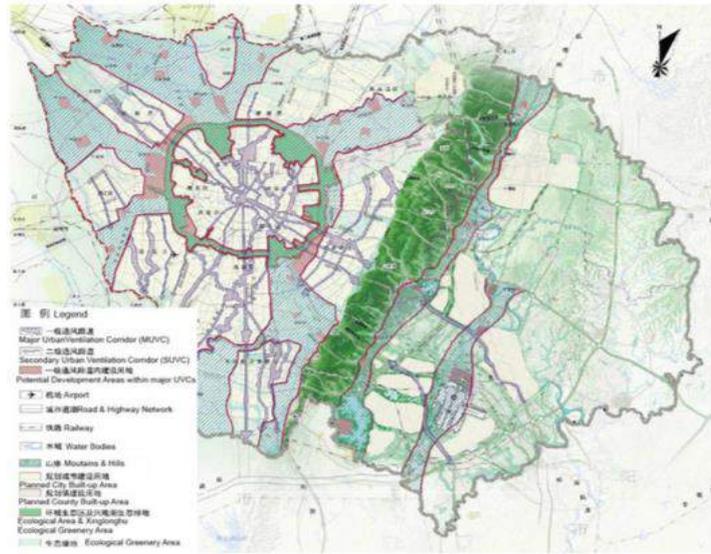
**Figura 24** - Corredor de ventilação urbano ao nível regional (esquerda) e ao nível da cidade (direita)



FONTE: Ren et al, 2018, p. 173

- O uso das vias da cidade como principal forma de deslocamento do vento, e o uso de rios, redes de estradas e outros locais que possuem ventilação mais forte para que não realize grandes demolições ou construções e para que preserve as características originais da cidade (**Figura 25**)

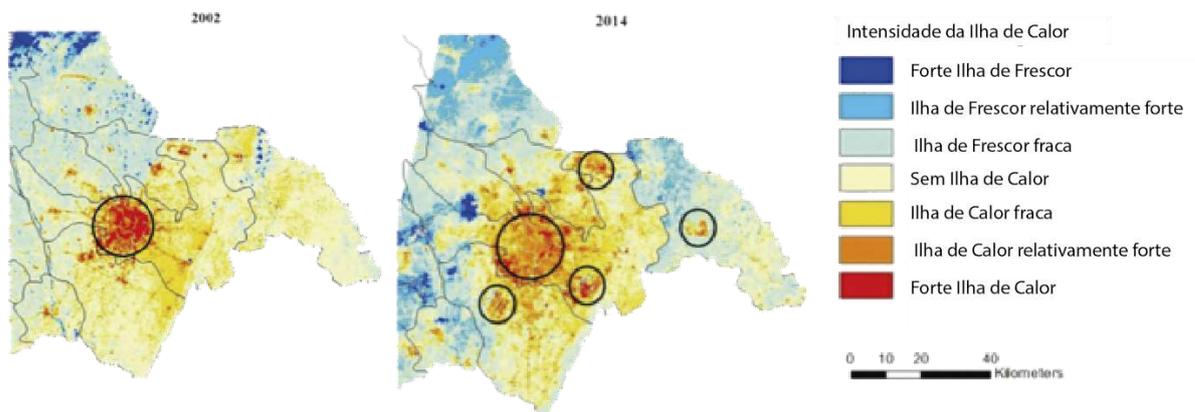
**Figura 25** - Trecho do Plano de Corredor de ventilação urbano do projeto de lei do Plano Diretor da Cidade de Chengdu (2016 - 2035).



FONTE: Ren et al, 2018, p. 181

- O cuidado especial com áreas de pouco vento e altas temperaturas (**Figura 26**),

**Figura 26** - Distribuição espacial das Ilhas de Calor Urbanas em Chengdu em diferentes anos.

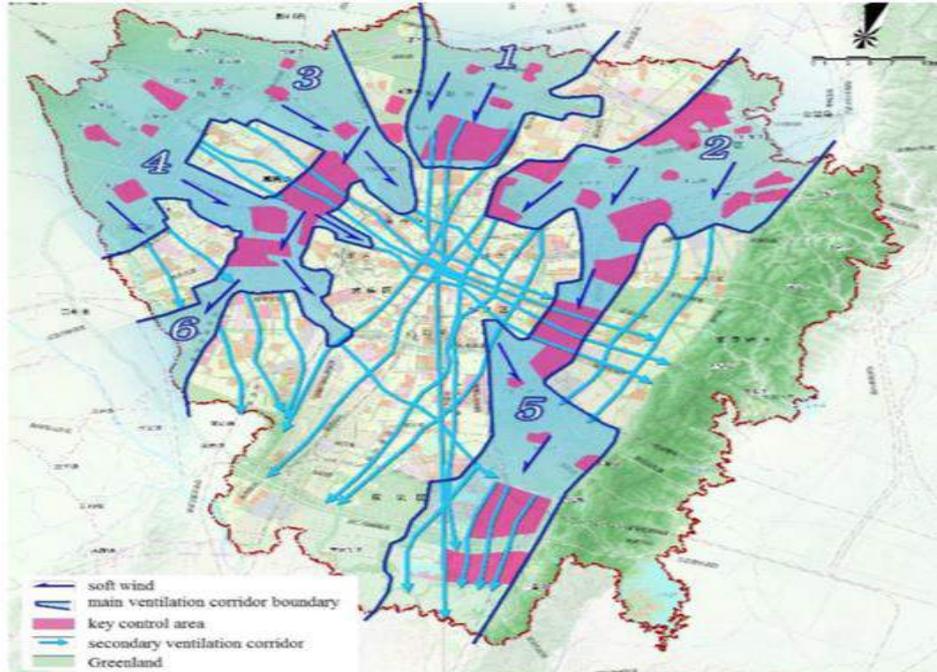


CHENGDU, CHINA

FONTE: Adaptado de Ren et al, 2018, p. 176

- E a combinação da construção dos corredores com um planejamento ecológico. (Figura 27)

**Figura 27** - Plano urbano de corredor de ventilação em Chengdu.



FONTE: Ren et al, 2018, p. 182

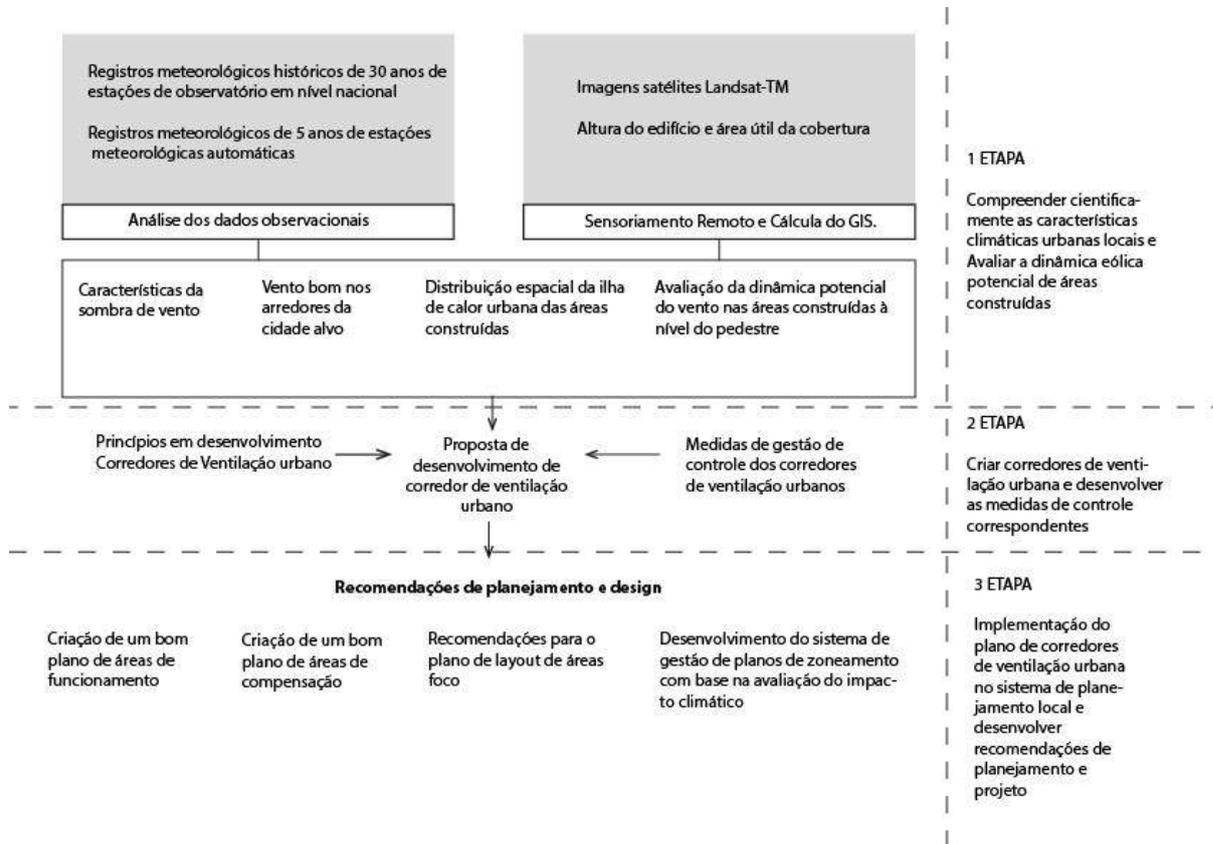
Segundo Ren *et al* (2018), a velocidade do vento apropriada para caracterizar um local como potencial corredor de ventilação é definida caso-a-caso pois depende de valores como: a frequência do vento em todas as direções, a frequência estática do vento, a frequência de brisas leves com base nos registros de vento observados a partir das estações automáticas locais, e o desenho do diagrama dos ventos.

Para chegar a esses resultados, Ren *et al* (2018) criaram uma metodologia de estudo que será analisada e aplicada nesse trabalho para análise do efeito da Superquadra “500” do Setor Sudoeste de Brasília na ventilação urbana (Capítulo 5).

## 5. METODOLOGIA REN *et al* (2018) E SUA APLICABILIDADE

A respeito da implantação de corredores de ventilação urbanos, Ren *et al.* (2018, p.173) sintetizaram suas pesquisas em um quadro simplificado com as etapas e o fluxo de trabalho (Quadro 4).

**Quadro 4** - Fluxo de trabalho e etapas principais da estrutura de pesquisa de aplicação do corredor de ventilação urbana.



Fonte: Adaptado de Ren *et al.*, 2018, p.171.

Nesse Quadro 4, Ren *et al* (2018) apontam 3 etapas principais no guia técnico:

- A primeira consiste em compreender cientificamente as características climáticas urbanas locais e avaliar a dinâmica eólica potencial das áreas construídas;
- A segunda consiste em criar locais potenciais para criação de corredores de ventilação urbana e desenvolver as medidas de controle correspondentes e;
- A terceira consiste na implementação do plano dos corredores de ventilação no sistema de planejamento urbano local e o desenvolvimento das recomendações de planejamento e projeto.

Para Ren *et al* (2018), a partir da análise observacional de dados climatológicos é possível identificar um mês – ou um dia – típico que contenha a melhor frequência de brisas leves e com sombra de vento sob condições típicas do clima e sem chuva. Por meio do sensoriamento remoto e da simulação computacional (*softwares* CFD- *Computational fluid dynamics*), pode-se analisar

as imagens e obter dados para a caracterização do espaço urbano como por exemplo: altura, largura e profundidade dos edifícios e o espaçamento entre eles para entender o comportamento da ventilação urbana. Utilizando-se desses dois mecanismos, a primeira etapa poderia ser concluída caracterizando as sombras de ventos das regiões, definindo o vento bom nos arredores da cidade alvo, entendendo a distribuição espacial das ilhas de calor urbanas das áreas construídas e avaliando a dinâmica potencial do vento em relação ao pedestre. Com as características climáticas urbanas locais obtidas na primeira etapa, segundo o mesmo estudo, pode-se propor corredores de ventilação urbanos, desenvolvendo os princípios e elaborando medidas de gestão de controle para a sua implantação.

As medidas de controle levam em consideração a direção predominante do vento sob condições climáticas normais, o ângulo de incidência de vento (que deve ser menor ou igual a 45 graus nos corredores de ventilação), a largura dos obstáculos internos (que nas áreas internas das quadras deve ser menor que 10 % quando comparado à largura dos corredores) e o comprimento do corredor de ventilação (que deve ser maior que 2 km).

**Tabela 2** - Classificação do potencial dinâmico do vento.

CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DINÂMICO DO VENTO			
CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	COMPRIMENTO DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE (M)	FATOR DE VISÃO DO CÉU
1	Nenhum ou muito baixo	>1.0	/
2	Relativamente Baixo	(0.50, 1.0)	<0.65
3	Moderado	(0.5,1.0)	≥0.65
4	Relativamente Alto	≤ 0.5	<0.65
5	Alto	≤ 0.5	≤0.65

Fonte: Adaptado de Ren *et al.*, 2018, p.171.

Por fim, Ren *et al* (2018) propõem que na terceira etapa sejam feitas recomendações de planejamento e design, definindo-se áreas de funcionamento e áreas de compensação citadas por Kress (1979 *apud* REN et al, 2018). Nas áreas de funcionamento, a largura dos corredores deve ser maior que 80m, o potencial dinâmico do vento deve ser de moderado a alto (Tabela 2), as fontes de ar fresco devem ser de fortes a moderadas e o volume da ventilação deve ser o equivalente a 40% das demais áreas planejadas. E, nas áreas de compensação, a intensidade da ilha de calor urbana deve ter um efeito leve, o que significa que a temperatura interna da ilha ultrapassa de 3 a 5 °C no dia, quando comparadas às áreas rurais e de 1 a 3°C no mês (Tabela 3), nessas áreas, o volume da ventilação deve ser também, correspondente a 40% das demais áreas planejadas.

**Tabela 3 - Classificação da intensidade da ilha de calor urbana**

CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR URBANA			
CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	INTENSIDADE DIÁRIA DA ILHA DE CALOR (°C)	INTENSIDADE MENSAL OU SAZONAL DA ILHA DE CALOR (°C)
1	Efeito Forte de Ilhas de frescor	≤ -7.0	≤ - 5.0
2	Efeito Relativo de ilha de frescor	(-7.0) – (-5.0)	(-5.0) – (-3.0)
3	Efeito leve de ilha de frescor	( -5.0) – (-3.0)	(-3.0) – (-1.0)
4	Sem ilha de calor	(-3.0) – (3.0)	(-1.0) – 1.0
5	Efeito leve de ilha de calor	3.0 – 5.0	1.0 – 3.0
6	Efeito relativo de ilha de calor	5.0 – 7.0	3.0 – 5.0
7	Forte efeito de ilha de calor	>7.0	>5.0

Fonte: Adaptado de Ren *et al.*, 2018, p.171.

Aplica-se nesse estudo apenas a primeira etapa da metodologia, em que caracterizamos climaticamente a região do projeto. Nessa etapa elegemos um mês e um dia típico com condições meteorológicas que caracterizasse o clima da região. Analisamos os dados históricos para a escolha do mês e os últimos 5 anos de estações meteorológicas para a escolha do dia. Para obtenção da dinâmica do vento, utilizamos o conceito de rugosidade de Romero (2011), o fator de visão do céu e os mapas de velocidade do vento obtidos por meio da simulação computacional realizada no *software* Envi-met v.4.4.3. Considerou-se um local com potencial para ser definido como corredor de ventilação aquele que o vento percorre livremente por mais de 2 km e que atinge velocidade próxima ou maior da registrada no dia.

Para caracterizar como potencial ilha de calor ou de frescor, utilizou-se a comparação entre: a temperatura de superfície antes da Superquadra (por meio do geoprocessamento) ser implantada e depois de já implantada (por meio de simulação computacional) e a temperatura do ar antes da Superquadra (registros das estações meteorológicas automáticas) e depois da Superquadra (pelas simulações computacionais realizadas).

## **6. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS URBANAS LOCAIS**

### **6.1. CLIMA DE BRASÍLIA- DF E SUAS CARACTERÍSTICAS**

Brasília está localizada a  $-15,79^\circ$  de latitude,  $-47,93^\circ$  de longitude e 1159,54 m de altitude. Segundo Romero (2016), o clima de Brasília pode ser classificado como tropical de altitude. Durante o período de chuvas, que vai de outubro a abril predominantemente, as condições meteorológicas se aproximam às características do clima tropical úmido. Porém durante o período da seca, de maio a setembro, o clima se aproxima ao tropical seco.

Analisando as Normais Climatológicas – registros meteorológicos históricos - no período de 30 anos de Brasília (Tabela 4), percebe-se que o mês com menor precipitação é junho, com maior temperatura média é outubro, com menor evaporação e maior umidade relativa é dezembro e com maior insolação é julho. Percebe-se também que a velocidade do vento, nesse período histórico, é em média 3,15 m/s.

Os ventos ocorrem mais frequentemente na direção leste segundo a Rosa dos ventos, feita pelo programa gráfico *Analysis SOL-AR* (Figura 28 e Figura 29). Tendo sua maior frequência

no inverno, em que atinge cerca de 28.6% de intensidade. Esses ventos têm velocidade de 3 a 7 m/s, atingindo os valores máximos na direção nordeste, durante o Outono.

Analisando também os dados fornecidos pelo INMET pelas estações automáticas de Brasília feito do último ano (Junho de 2019 à Abril de 2020 - Tabela 5), constata-se que não houve precipitações nos meses de julho e agosto de 2019. Agosto, portanto, foi o mês com maior quantidade de radiação solar e com maior velocidade de vento. Quanto à temperatura, Setembro teve maior máxima e julho a maior mínima.

**Tabela 4 - Normal Climatológica INMET (1981 - 2010)**

Normal Climatológica INMET (1981- 2010)											
Mês	Pressão atmosférica (hPa)	Temperatura Média	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Precipitação Total (mm)	Evaporação total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (horas)	Nebulosidade (0-10)	Direção Resultante do Vento	Intensidade do vento (m/s)
Janeiro	885,4	21,6	26,5	18,1	209,4	139,8	76,2	150,9	8	N	3,4
Fevereiro	886	21,7	27	18	183	135	74,7	158,9	7	NE	3,1
Março	885,8	21,6	26,7	18,1	211,8	132,4	76,8	166,5	7	NE	3
Abril	886,8	21,3	26,6	17,5	133,4	150,3	72,2	204,6	6	E	3
Mai	887,8	20,2	25,9	15,6	29,7	174,1	66,2	239,5	5	E	2,9
Junho	889,3	19	25	13,9	4,9	203,8	58,7	254,3	4	E	3,1
Julho	889,7	19	25,3	13,7	6,3	255,2	52,7	268,9	3	E	3,4
Agosto	889,1	20,6	26,9	15,2	24,1	318,3	46,8	264,4	3	E	3,4
Setembro	887,5	22,2	28,4	17,2	46,6	308,3	50,3	210,5	5	E	3,3
Outubro	886,1	22,4	28,2	18,1	159,8	232,2	62,8	183,1	7	E	3,1
Novembro	885,2	21,5	26,7	18	226,9	144	74,5	139,9	8	NE	3
Dezembro	885,1	21,4	26,3	18,1	241,5	124	78	126,8	8	NW	3,2

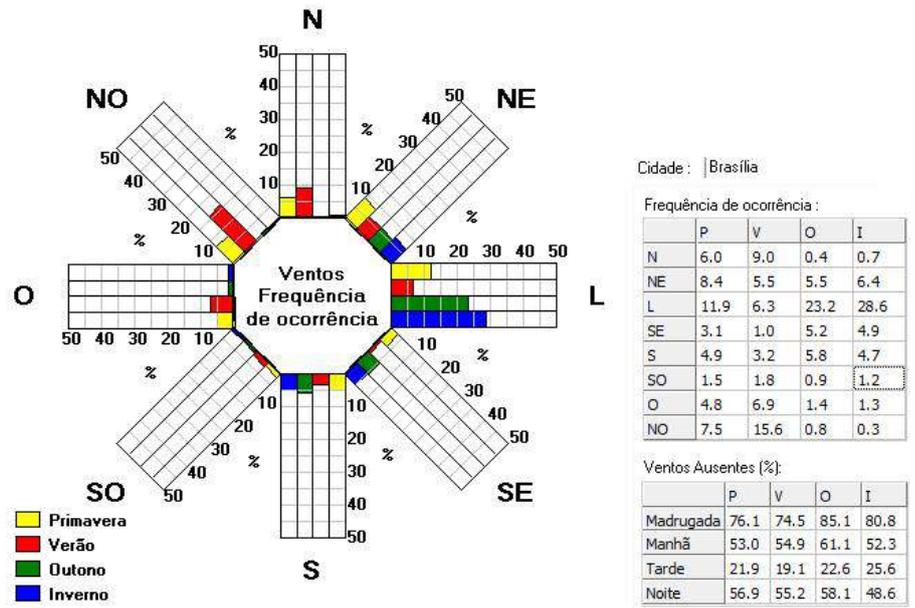
Fonte: Adaptado de Normais climatológicas de Brasília. 1981- 2010. INMET, Brasília – DF.

**Tabela 5 - Parâmetros médios 2019 - 2020**

Parâmetros médios 2019-2020																	
Mês	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto.Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m²)	Chuva (mm)
	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.		
Junho	19,42	20,15	18,74	63,94	66,97	60,91	11,91	12,42	11,42	890,62	890,82	890,41	2,44	115,13	5,26	789,14	0,01
Julho	18,92	19,74	18,13	54,38	57,41	51,36	8,71	9,24	8,18	890,20	890,41	889,98	2,49	132,81	5,42	853,61	-
Agosto	21,35	22,18	20,53	46,44	49,33	43,73	8,51	9,03	8,02	890,83	891,06	890,61	2,68	111,01	5,78	1.102,94	-
Setembro	24,63	25,46	23,82	38,82	41,32	36,39	7,87	8,46	7,28	888,12	888,36	887,88	2,68	106,88	5,88	923,86	0,01
Outubro	24,39	25,25	23,61	50,53	53,68	47,39	11,98	12,60	11,36	886,26	886,52	885,99	2,26	141,61	5,36	1.025,11	0,03
Novembro	22,83	23,59	22,11	68,90	72,26	65,33	15,96	16,57	15,36	885,25	885,53	884,97	2,04	186,58	5,08	942,95	0,29
Dezembro	22,45	23,12	21,81	73,64	76,95	70,27	17,07	17,66	16,49	885,89	886,16	885,62	2,06	167,06	4,86	968,42	0,36
Janeiro	22,15	22,79	21,56	78,17	81,09	75,03	17,66	18,22	17,11	885,71	885,97	885,44	2,40	238,76	5,71	838,69	0,43
Fevereiro	21,76	22,41	21,16	79,95	83,04	76,68	17,80	18,40	17,24	886,93	887,19	886,67	1,95	178,77	4,62	761,87	0,28
Março	21,61	22,21	21,04	80,28	83,08	77,43	17,74	18,26	17,28	886,69	886,95	886,43	2,12	160,83	4,91	830,39	0,38
Abril	21,28	21,87	20,72	79,06	81,76	76,13	17,17	17,67	16,69	888,11	888,35	887,87	2,04	135,90	4,77	792,30	0,25

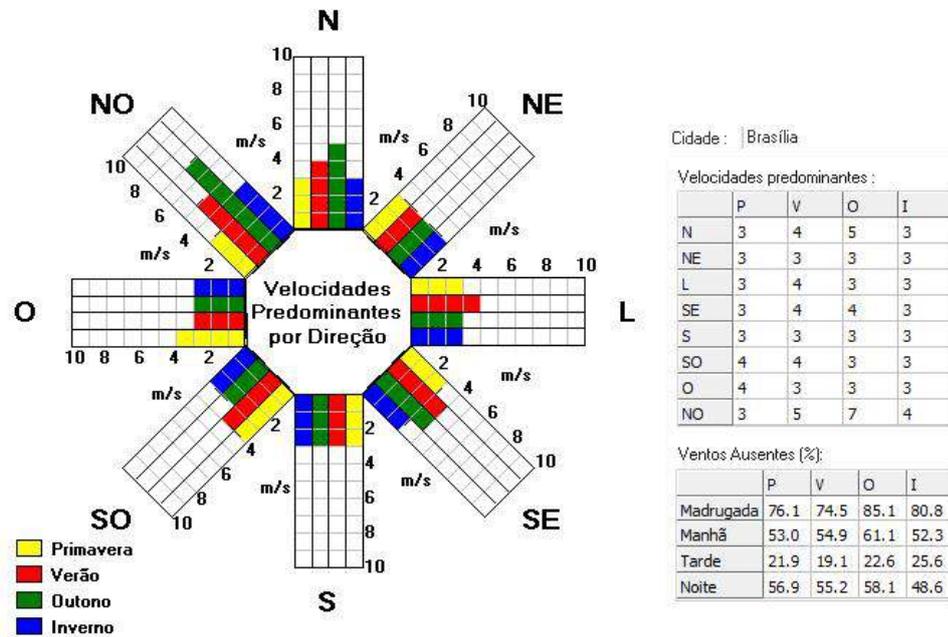
Fonte: Adaptado de Normais climatológicas de Brasília. 1981- 2010. INMET, Brasília – DF.

**Figura 28** - Rosa dos Ventos - Frequência de ocorrência de ventos.



Fonte: Analysis SOL-AR

**Figura 29** - Rosa dos ventos- Velocidade predominante do Vento

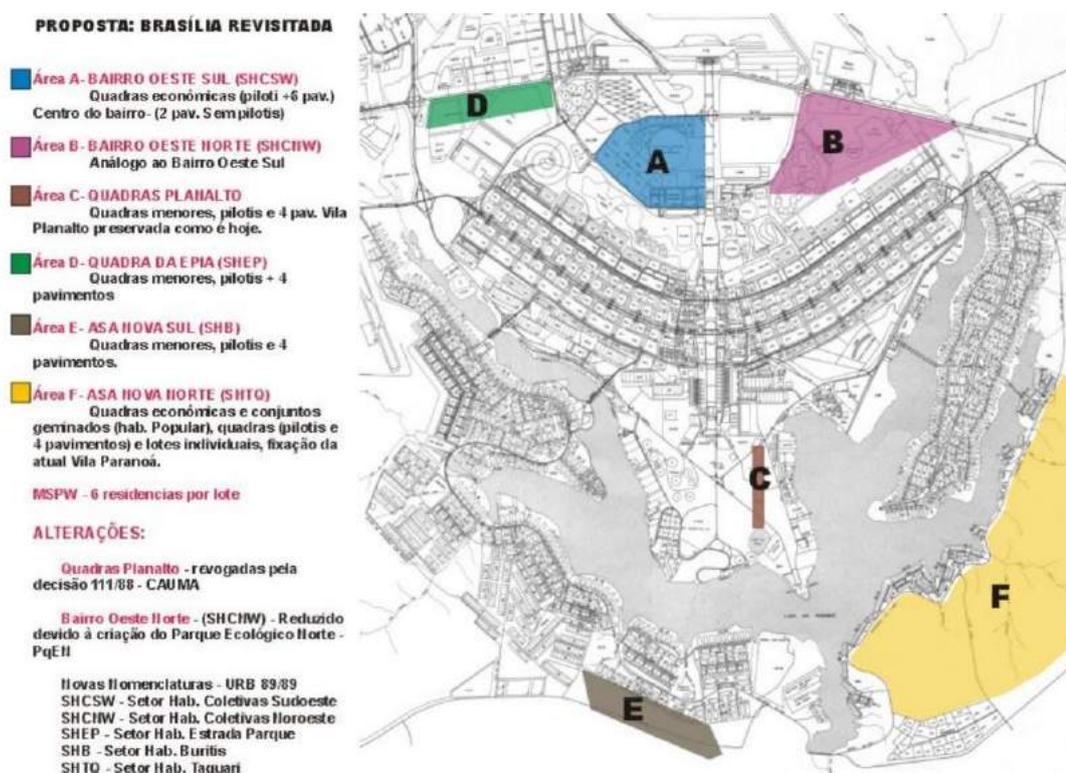


Fonte: Analysis SOL-AR

## 6.2.O SETOR SUDOESTE DE BRASÍLIA

O Setor Sudoeste surgiu como resultado de um desmembramento de porção de terras antes pertencentes à RA I- Plano Piloto, juntamente com áreas integrantes da RA Cruzeiro. Esse setor foi planejado conforme o documento Brasília Revisitada, elaborado por Lucio Costa em 1987, e está inserido na área de Brasília tombada como Patrimônio Cultural da Humanidade (Figura 30).

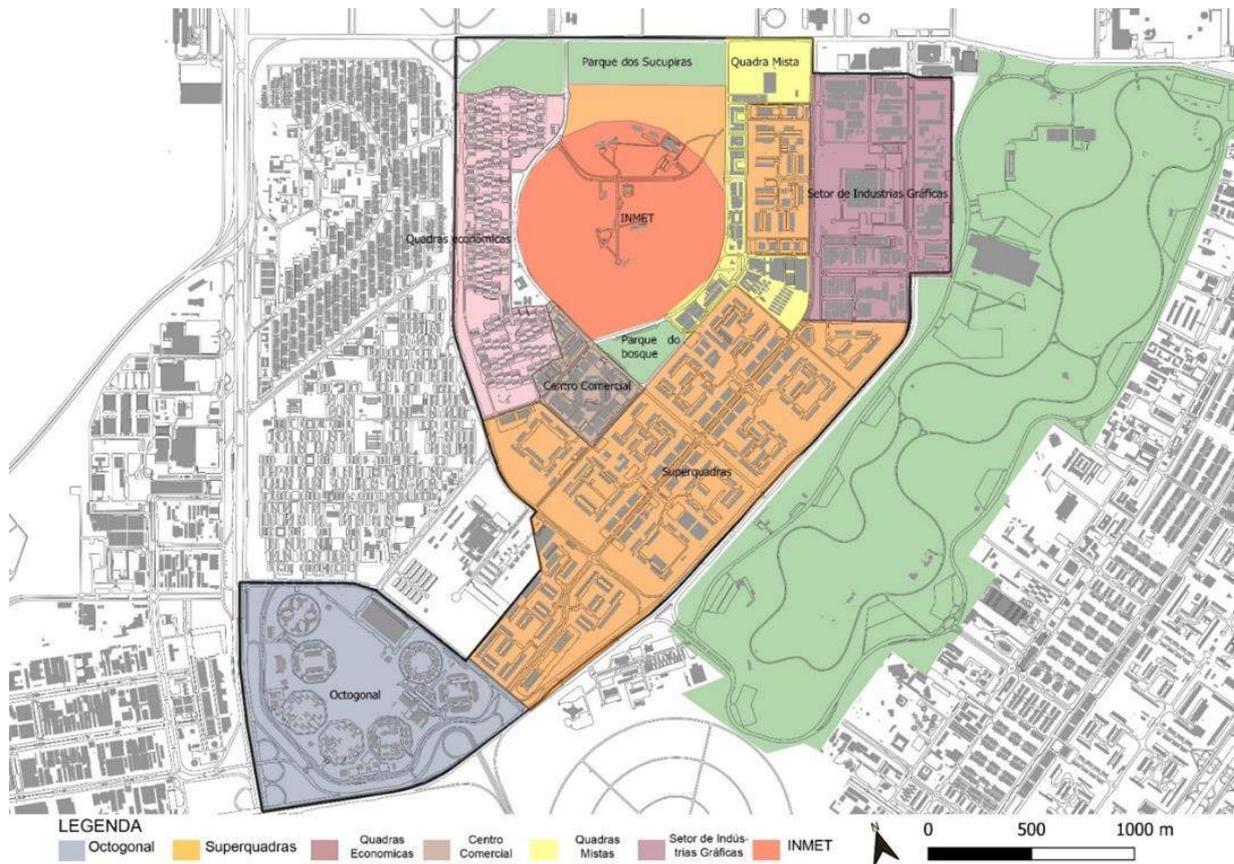
**Figura 30 - Proposta Brasília Revisitada**



Fonte: Blog urbanistas por Brasília. Disponível em <  
<http://urbanistasporbrasil.com/uploads/9/4/0/4/9404764/brasiliarevisitada.pdf>> acesso  
em 10 10 2019

O Setor Sudoeste possui uma área de 424,51 hectares distribuídos em Superquadras, quadras econômicas, quadras mistas, centro comercial, INMET, Parque dos Sucupiras, Parque do Bosque, Setor Octogonal e o Setor de Indústrias Gráficas (Figura 31).

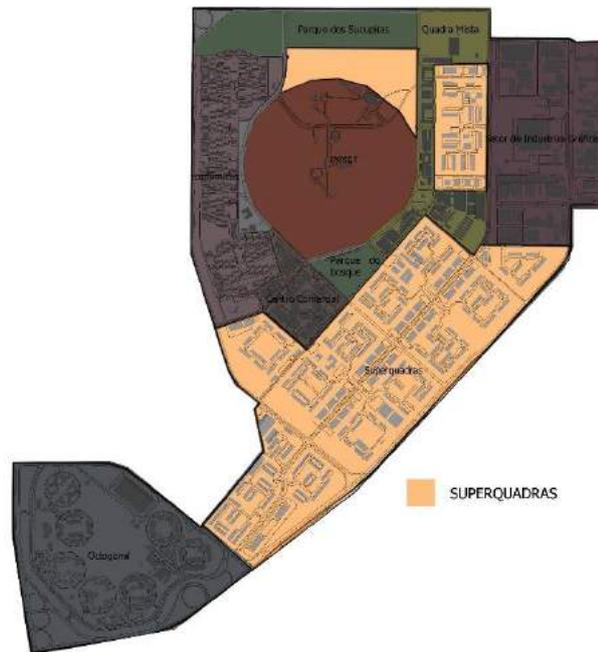
**Figura 31-** Mapa Atual Setor Sudoeste



Fonte: Elaboração própria.

As Superquadras do Sudoeste possuem configuração semelhante às Superquadras Sul e Norte, seguindo o padrão de blocos isolados, altura constante (seis pavimentos) e livre circulação de pedestres no térreo - pilotis abertos (Figura 32). Ao contrário do que acontece nas Superquadras Sul, as Superquadras do Sudoeste possuem vegetação menos densa, tanto nas áreas internas das quadras, como nas áreas externas (Figura 33).

**Figura 32 - Mapa Superquadras Sudoeste**



Fonte: Elaboração própria.

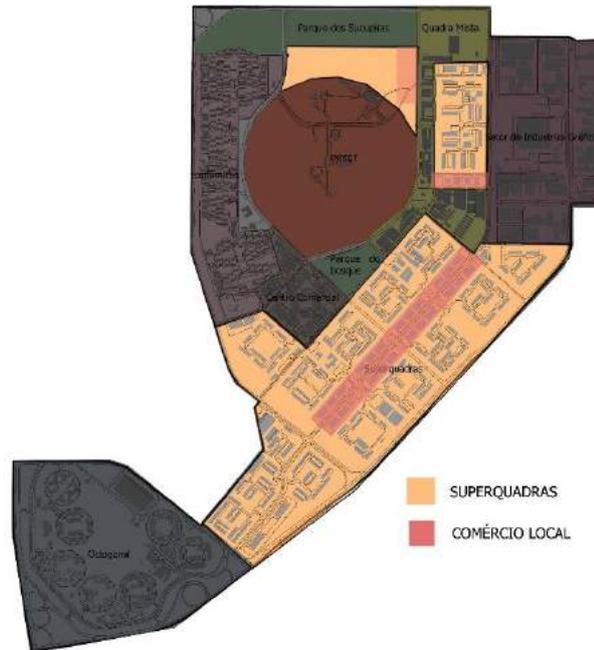
**Figura 33 - Vegetação Superquadra Sul x Superquadra Sudoeste**



Fonte: Acervo Pessoal.

Essas Superquadras são articuladas entre si por pequenos centros de bairro – comércios locais (Figura 34), com ocupação mais densa, gabaritos mais baixos (dois pavimentos sem pilotis) e uso misto (Figura 35).

**Figura 34** - Mapa Comércios Locais Sudoeste



Fonte: Elaboração própria.

**Figura 35** - Comércio Local Sudoeste 103



Fonte: Acervo Pessoal.

As quadras econômicas surgiram para responder à demanda habitacional popular e garantir a diversidade do bairro. Essas quadras são compostas por edifícios de 3 pavimentos, sobre pilotis, com relação indireta com o espaço público por meio de faixas de estacionamento (Figura 36 e Figura 37). Esses blocos não possuem elevador ou garagens.

*“ Na Quadra Econômica — espécie de "pré-moldado" urbano — a disposição escalonada dos blocos (pilotis e três pavimentos) ao longo da trama viária losangular abre, no interior de cada quadra espaço livre para instalação dos complementos da moradia: lugar para jogos ao ar livre, "áreas de encontro" cobertas para os moços e para os velhos, creche, jardim de infância. A existência deste "quintal comum", com a quase totalidade de chão aberta ao uso de todos, e desses complementos ou "extensões da habitação", ensejando desafogo de tensões, possibilitam convívio doméstico em clima de descontração, mesmo em apartamentos mínimos, além de assegurar boa densidade populacional (cerca de 500 hab/ha). Ao mesmo tempo, essa implantação compacta reduz sensivelmente o custo da infraestrutura urbana uma vez que não compromete grandes superfícies. ” (COSTA, L. – Brasília revisitada, 1987, pg. 8).*

**Figura 36** – Mapa das Quadras Econômicas do Setor Sudoeste



Fonte: Elaboração própria.

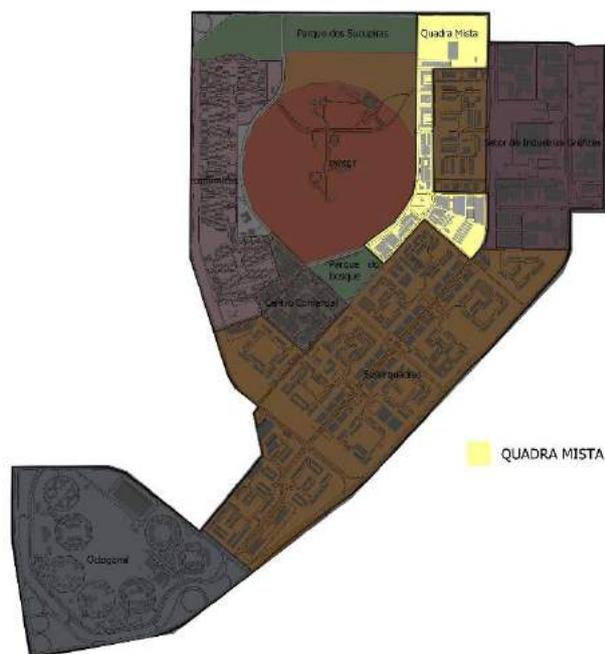
**Figura 37** - Quadras Econômicas do Setor Sudoeste



Fonte: Acervo Pessoal.

As quadras mistas possuem edifícios com diversos usos e altura máxima de 3 pavimentos, sem a exigência de pilotis (Figura 38). É comum, nessa região, ver condomínios de edifícios. Uma particularidade é a quadra mista 02 (logo à frente da localização da Superquadra 500), em que há um setor de oficinas mecânicas (Figura 39).

**Figura 38** – Mapa das Quadras Mistas do Setor Sudoeste



Fonte: Elaboração própria.

**Figura 39** - Quadras Mistas do Setor Sudoeste



Fonte: Acervo Pessoal.

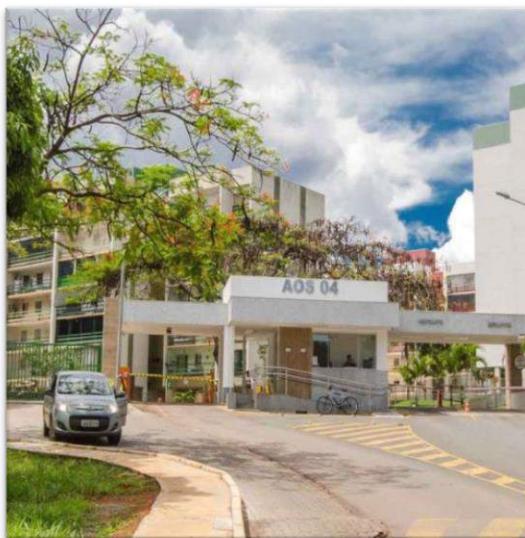
Como parte do Setor Sudoeste, temos acoplados dois outros setores: O Setor Octogonal e o Setor de Indústrias Gráficas (Figura 40 e Figura 41). A octogonal é composta por 8 quadras de

condomínios fechados e entrequadras comerciais, e as Indústrias Gráficas possuem diversos galpões, locais para atividades bancárias e de imprensa.

**Figura 40** – Mapa do Setor Octogonal e do Setor de Industrias Gráficas.



**Figura 41** – Foto do Setor Octogonal e do Setor de Industrias Gráficas.



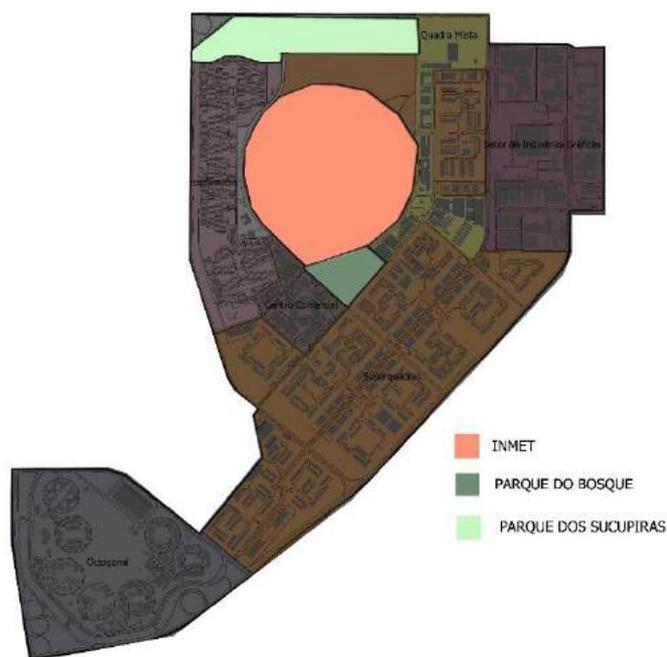
Fonte:  
<https://vivamapio.com/detalhe/758682/>



Fonte: [www.sudoeste.df.gov.br/2019/06/07/audie-ncia-publica-sig/](http://www.sudoeste.df.gov.br/2019/06/07/audie-ncia-publica-sig/)

Além dessas áreas, o Setor Sudoeste também é composto por grandes áreas verdes como o: INMET (Instituto Nacional de meteorologia), o Parque do Bosque e o Parque dos Sucupiras (Figura 42 e Figura 43).

**Figura 42** – Mapa das áreas verdes do Setor Sudoeste.



**Figura 43**– Fotografia do INMET e do Parque dos Sucupiras



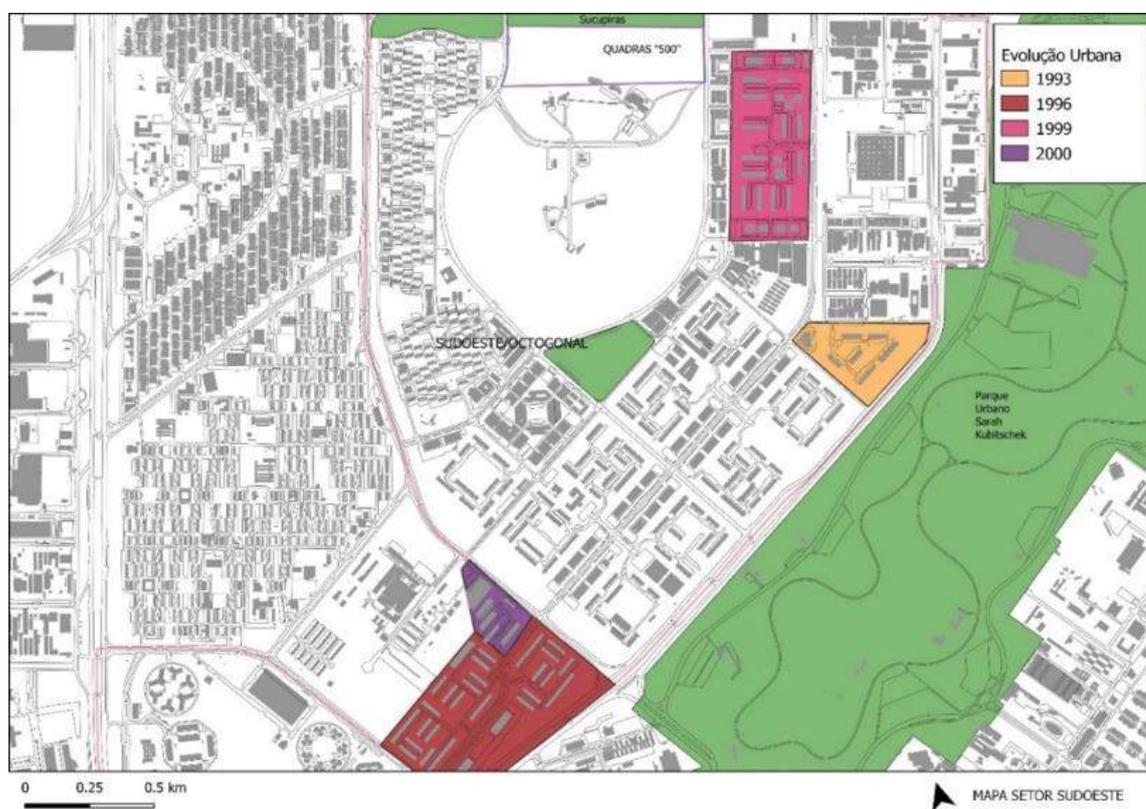
Fonte:  
<https://www.contextoexato.com.br/post/mp-recorre-de-decisao-do-stj-que-liberou-a-expansao-do-setor-sudoeste-em-brasil20190904>

Fonte:  
<https://mistobrasilia.com/2020/05/29/ampliad-o-prazo-para-sugestoes-ao-plano-do-parque-das-sucupiras/>

Segundo a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios- PDAD- 2018 realizada pela CODEPLAN DF, atualmente a população desse setor que previa o limite de 51 500 habitantes, alcançou os 53 770 habitantes em uma área também ampliada - 505,80 hectares (86% de ocupação da área total da RA- 585,61 ha) com densidade demográfica de 104,77 hab./ha.

Alterações no código de obras da cidade, assim como a pressão do capital imobiliário, fizeram com que o bairro fosse se distanciando do planejado (Figura 44). Em 1996, três novas quadras foram criadas expandindo o território do Setor Sudoeste e, conseqüentemente, aumentando o número de habitantes previsto no plano inicial. Três anos mais tarde, em 1999, um re-parcelamento deu origem a Superquadra 300 com 19 projeções. Em 2000, novas projeções foram criadas na SQSW 305 e junto a elas, um sistema viário próprio foi implementado.

**Figura 44 - Evolução Urbana.**



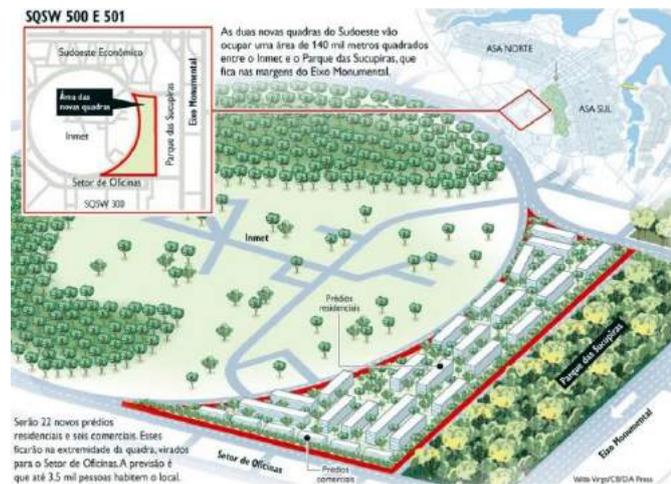
Fonte: Adaptado de SALGADO, CRMMC. (2011), p. 71.

Em 2006, foi lançado um projeto de construção de uma nova Superquadra no Sudoeste, denominada “Quadra 500”, que envolve a construção de 22 prédios residenciais de seis andares, seis edifícios comerciais e um lote institucional (Figura 45).

O complexo, localizado na região entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Parque das Sucupiras, pertencia a Marinha do Brasil e foi permutada com a construtora Antares sem nenhuma licitação. No relatório Brasília Revisitada elaborado por Lucio Costa (Figura 46)

não havia previsão de ocupação para o terreno em que está localizado o complexo, portanto a sua implementação fez com que o Setor Sudoeste se distanciasse ainda mais do planejamento inicial - tanto em extensão territorial, quanto em número de habitantes.

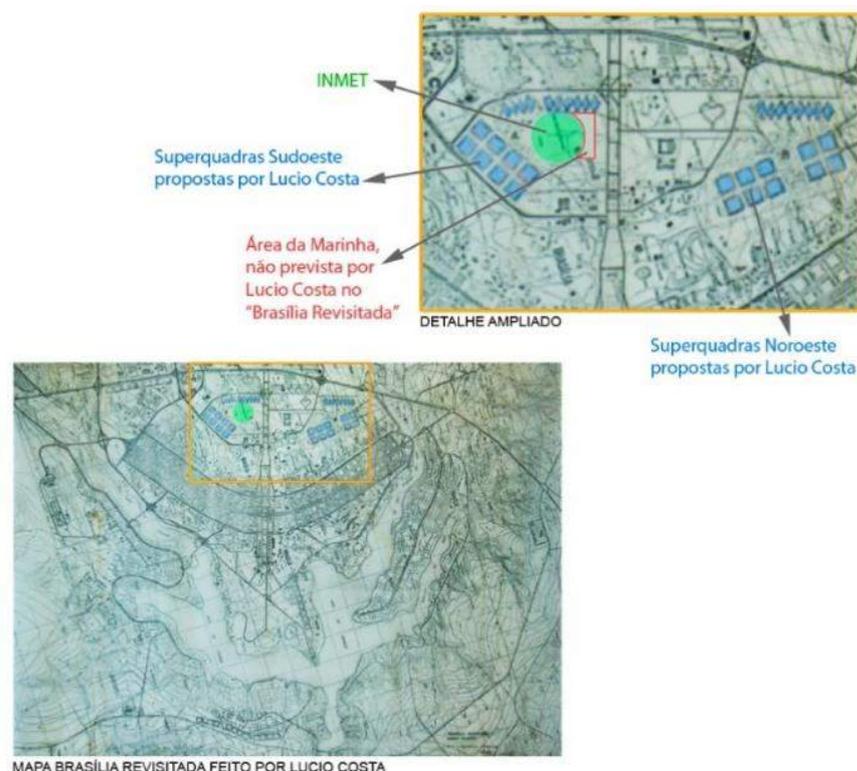
**Figura 45** - Projeto da nova quadra 500 do Setor Sudoeste.



Fonte: Urbanistas por Brasília. Disponível em

<<https://urbanistasporbrasil.files.wordpress.com/2015/05/br-df-brasil-sqsw500.jpg>>

**Figura 46** - Área não prevista no Brasília Revisitada.



Fonte: Urbanistas por Brasília. Disponível em

<<https://urbanistasporbrasil.files.wordpress.com/2015/05/500.jpg>>

Segundo Lopes, Ramos e Batella (2018), em 2006, quando a área foi entregue à construtora Antares, a previsão era de que os edifícios que ali existiriam, teriam apenas 3 pavimentos e 2 016 habitantes. Em 2007, porém, foi aprovado em reunião do IPHAN (ofício 545/2007) que o gabarito dos prédios pertencentes a Superquadra 500 teriam 6 pavimentos e pilotis, assim como as demais Superquadras do Setor Sudoeste, aumentando significativamente o número de moradores e, conseqüentemente, a quantidade de recursos utilizados por eles (Figura 47).

**Figura 47-** Planta da ocupação da Superquadra Sudoeste 500.



Fonte: Portal das Quadras 500. Disponível em < [quadra500sudoeste.com](http://quadra500sudoeste.com) >

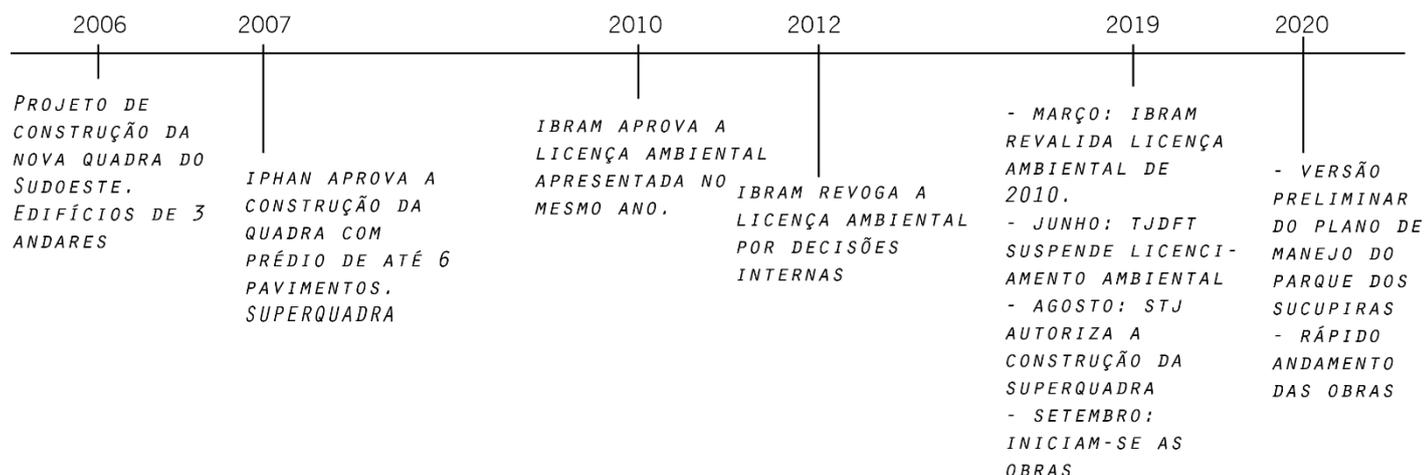
Em 2010, o Instituto Brasília Ambiental - IBRAM aprovou a licença ambiental em que previram 2 500 habitantes para a região. Em 2012, porém, essa licença foi revogada por decisões internas e o órgão só revalidou a licença ambiental (executada e entregue em 2010) em março de 2019. Em agosto de 2019, o STJ autorizou a construção da Superquadra, que teve suas obras iniciadas no mês seguinte - setembro - do mesmo ano.

No final de 2019, a região do Parque dos Sucupiras também se tornou um local ameaçado pelo novo empreendimento. A lei distrital 6.269/2019 considerou a região do Parque como uma Zona Ecológica – Econômica de Dinamização na Subzona Produtiva com equidade 4, ou seja, aprovou a inclusão socioeconômica de atividades relacionadas à cultura e ao turismo. A versão preliminar do plano de manejo do parque, 2020 – que ainda está sob aprovação – prevê uma grande área de infraestrutura, que, de acordo com Fernando de Castro Lopes<sup>2</sup> será ocupada com 11 quadras de esporte e outros equipamentos. Essas quadras e equipamentos serviriam para dar suporte a Superquadra 500 (Figura 48).

---

<sup>2</sup> Reportagem: “ Por um plano de manejo realmente ecológico para o parque das sucupiras”. Disponível em: [https://secure.avaaz.org/po/community\\_petitions/ao\\_presidente\\_do\\_ibram\\_instituto\\_brasilia\\_ambienta\\_por\\_um\\_plano\\_de\\_manejo\\_realmente\\_ecologico\\_para\\_o\\_parque\\_das\\_sucupiras](https://secure.avaaz.org/po/community_petitions/ao_presidente_do_ibram_instituto_brasilia_ambienta_por_um_plano_de_manejo_realmente_ecologico_para_o_parque_das_sucupiras) . Último acesso <18 05 2020>.

**Figura 48** - Linha do tempo – Projeto das Superquadra Sudoeste 500.

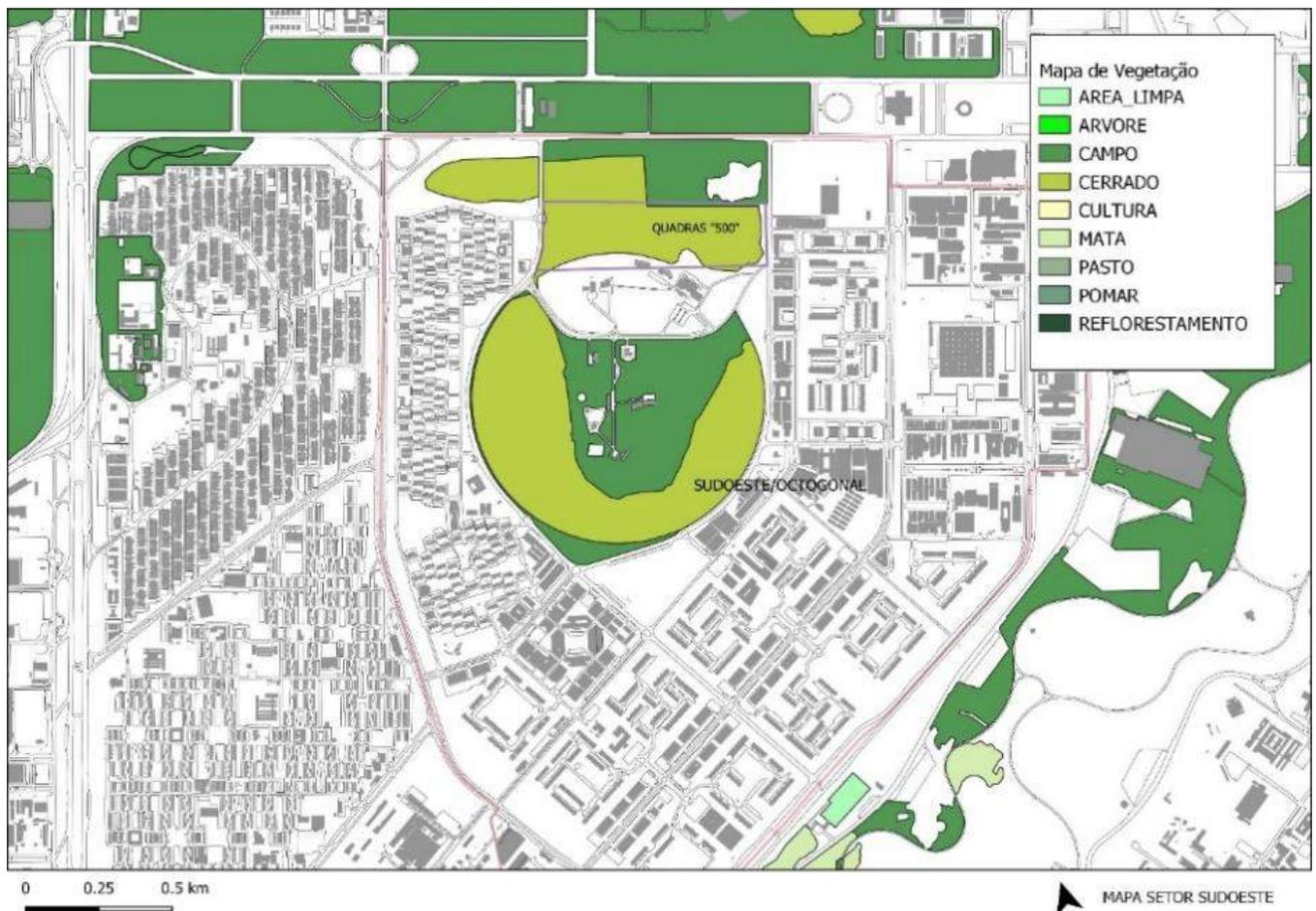


Fonte: Elaboração Própria.

Por essa região do parque do Sucupiras e da Superquadra 500 ser uma área de cerrado nativo – uma das poucas remanescentes no Plano Piloto - o impacto negativo do empreendimento é ainda mais agravado (Figura 49).

*“Quanto aos danos ambientais, destacamos que o cerrado ali remanescente é o último fragmento de vegetação nativa na área central de Brasília. São cada vez mais conhecidos os argumentos técnicos contrários à supressão desse recurso natural, tendo em vista as mudanças climáticas por que passa a região. Considera-se que a presença de árvores no local funciona, como se pode facilmente constatar, como um consistente e natural “condicionador de ar”, propiciando aos moradores dos arredores uma temperatura alguns graus abaixo do que é registrado nas áreas cobertas por contínua camada asfáltica.”* LOPES, RAMOS e BATELLA, 2018, p. 3

**Figura 49** - Mapa de Vegetação



Fonte: Elaboração Própria.

Segundo o Portal da Quadra 500 Sudoeste, os edifícios dessa superquadra terão 48 apartamentos. Contando que são 22 prédios residenciais de seis andares, a média de apartamentos do local atingirá 1056 apartamentos. Ainda segundo o Portal da Quadra 500, cada apartamento terá 4 suítes e 4 vagas para garagem, ou seja, estima-se que morarão 4 pessoas por apartamento. Com isso, chegamos ao resultado de aproximadamente 4 224 novos habitantes para a região. Esse valor de mais de 4 mil pessoas corresponde a quase 1,7 vezes do previsto no estudo de impacto ambiental realizado em 2010, em que previram o aumento de 2 500 habitantes no Setor Sudoeste com o novo empreendimento.

Portanto, além de ser uma área frágil ambientalmente e sem previsão de ocupação no planejamento da cidade, uma ocupação de tal tamanho impacta tanto na infraestrutura do bairro, como também no conforto microclimático da região. Com a construção do empreendimento, a vegetação nativa foi totalmente suprimida, tornando o que antes era solo permeável em superfície impermeabilizada (Figura 50 e Figura 51). Essa superfície não permeável impacta diretamente na

temperatura de superfície da região. A temperatura do ar – medida a 1,5 m /do solo – também sofrerá alterações, uma vez que os edifícios construídos podem se tornar barreiras de ventilação ou até mesmo canalizadores de ventos.

**Figura 50** - Fotografia aérea terreno antes e na construção da Superquadra 500.



Outubro de 2018

Setembro de 2020

Fonte: Google Earth.

**Figura 51** - Fotografia da Superquadra 500 em 2020.



Fonte: Portal DF TV, reportagem exibida em 31 de julho de 2020.

### **6.3. CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA DA SUPERQUADRA DO SUDOESTE 500 (SQSW 500).**

A caracterização do microclima da Superquadra do Sudoeste 500 foi realizada em duas etapas:

- A primeira etapa foi a elaboração do mapa de temperatura de superfície pelo *freeware* Qgis versão 2.18, para caracterizar climaticamente a região antes da construção do empreendimento;

- E a segunda etapa foi a simulação computacional, por meio do *Software* Envi-Met versão 4.4.3, para caracterizar climaticamente a região após a construção do empreendimento.

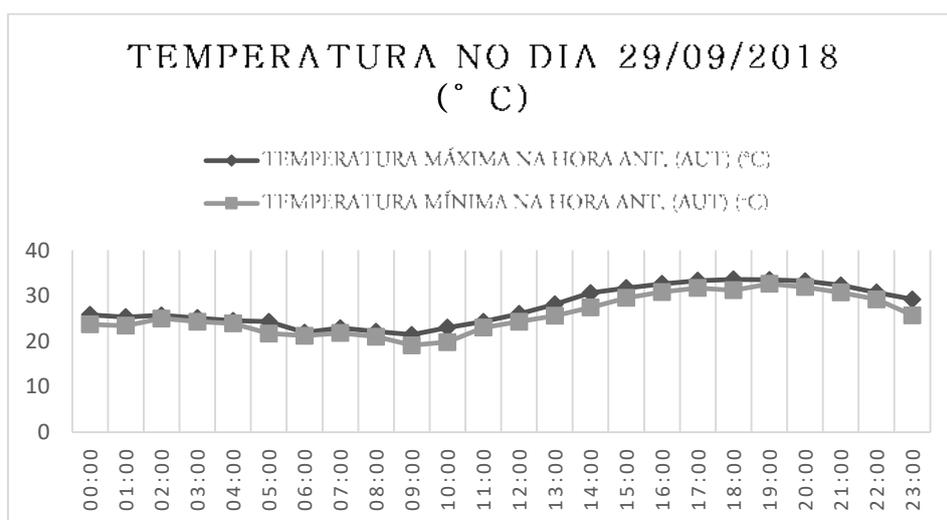
Os resultados obtidos pelo QGIS corresponderam a temperatura superficial média do dia 29 de setembro de 2018, já os resultados obtidos pelo Envi-met tiveram como resultado os mapas de temperatura potencial do ar e de superfície, mapas de velocidade dos ventos e de fator de visão do céu, nos horários 09h, 15h e 21h, do dia 08 de setembro de 2018.

### 6.3.1. Mapa antes da construção da Superquadra 500.

O QGIS é um *software* livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Utilizando como plataforma o QGIS, a extração dos dados foi feita pelo *plugin* *Land Surface Temperature*. Esse *plugin* extrai a temperatura da superfície terrestre de imagens e calcula a emissividade da superfície terrestre usando a abordagem NDVI.

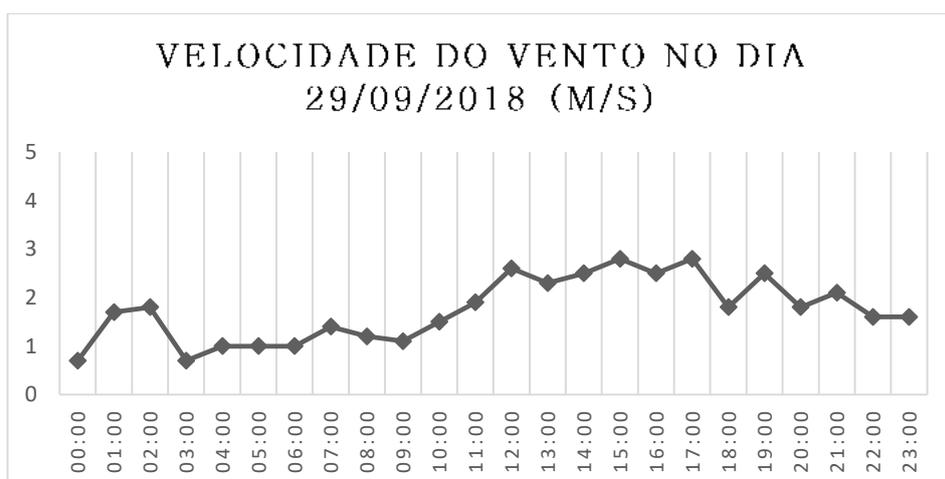
Pelo portal do *Earth Observing System* para a Região Administrativa de Brasília, extraímos a imagem do LandSat 08, bandas 4, 5 e 10, e os metadados. O Satélite registra as imagens quinzenalmente e, por esse motivo, a escolha da fotografia para a realização do mapa foi no dia com menos nuvens do mês de setembro de 2018: o dia 29. Nesse dia, a temperatura máxima registrada foi de 33,6 °C às 18 horas (Gráfico 1), não choveu e o vento atingiu a velocidade média de 1,7 m/s (Gráfico 2).

**Gráfico 2 - Temperatura no dia 29/09/2018**



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

**Gráfico 3-** Velocidade do vento no dia 29/09/2018



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

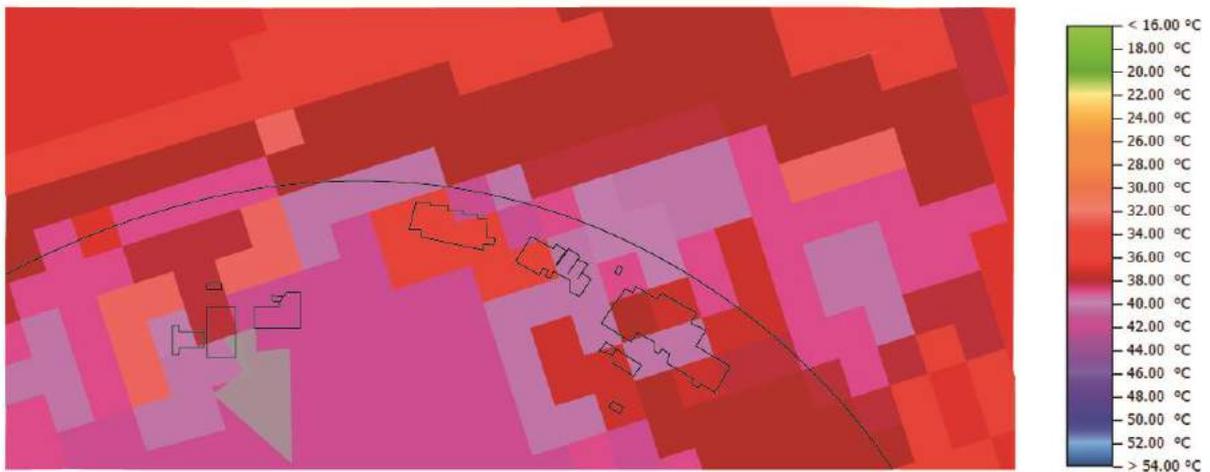
O horário de passagem desse satélite é entre 10 horas e 12 horas, e, portanto, adota-se como base para esse estudo o horário das 12 horas. Nesse horário, o vento estava a 2,6 m/s e as temperaturas máximas e mínimas registradas foram, respectivamente, 26 °C e 24,3 °C. Com esses dados e utilizando o *plugin Land Surface Temperature*, geramos o mapa de temperatura de superfície do recorte antes da construção do empreendimento.

- **Resultados**

O Mapa de temperatura de Superfície do dia 29/09/2018 apresenta a temperatura do solo no horário entre 10 e 12 horas. Nele, podemos ver que antes da implantação da Superquadra 500, o local tinha temperaturas que variavam de 37 a 42 °C (Figura 52). A variação de 5 °C na temperatura da superfície se deve, provavelmente, às massas vegetativas que eram presentes na região (Figura 53). Superfícies urbanas revestidas por materiais permeáveis, como a vegetação, refrescam a camada de ar adjacente e protegem a radiação solar. No caso da vegetação rasteira, mais especificamente da grama, em épocas de seca - como a data em questão - se comporta como superfície impermeável no que diz respeito a temperatura superficial, percebe-se, portanto, que é justamente no local em que está presente esse tipo de vegetação, que a temperatura atinge seus níveis mais altos. Ressalta-se, sobretudo, que a temperatura de superfície tende a ser maior que a temperatura do ar, medida a 1,5 m acima do solo.

**Figura 52** - Mapa de temperatura de superfície do dia 29 09 2018.

Mapa de temperatura de superfície - 29 09 2018



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 53** - Fotografia Aérea do Terreno.

Fotografia aérea do local - Outubro de 2018



Fonte: Google Earth - Outubro de 2018

### **6.3.2. Mapas depois da construção da Superquadra 500.**

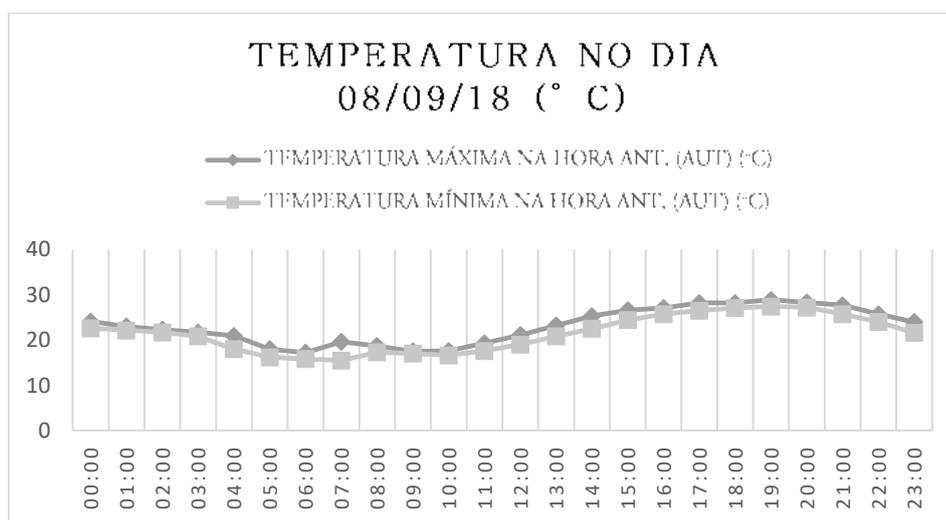
O ENVI-MET é o programa do tipo CFD (Computational Fluid Dynamics) utilizado na escala microclimática, para investigações de poluição do ar, conforto de pedestres e fluxo de ar no entorno de edifícios. Esse programa trabalha com a análise de frações urbanas.

Para a simulação, foram utilizados dados climáticos configurados a partir do arquivo climático formato EPW (Energy Plus Weather) obtido no portal do EnergyPlus para a Região Administrativa de Brasília. Foi utilizado o método desenvolvido por Adário, Silva e Silva (2019) que força o comportamento do vento, da temperatura, da umidade e da cobertura de nuvens pela aba “Full Forcing” do Envi-met.

Para a escolha do dia da simulação, utilizamos como base a metodologia de Ren, C. et al (2018), segundo a qual, um dia típico para a análise da ventilação é aquele que contenha a melhor frequência de brisas leves e com sombra de vento sob condições típicas do clima e sem chuva. Há uma limitação de datas: por serem dados com correções estatísticas, os dados disponíveis têm como ano limite o ano de 2018. Analisando, portanto, esse ano, o mês mais quente e seco foi o de setembro. O dia mais típico, com condições típicas do clima, ventos que se comportaram conforme os ventos típicos do decorrer do ano, e sem chuva, foi o dia 08 de setembro, e, portanto, foi a data escolhida para a simulação.

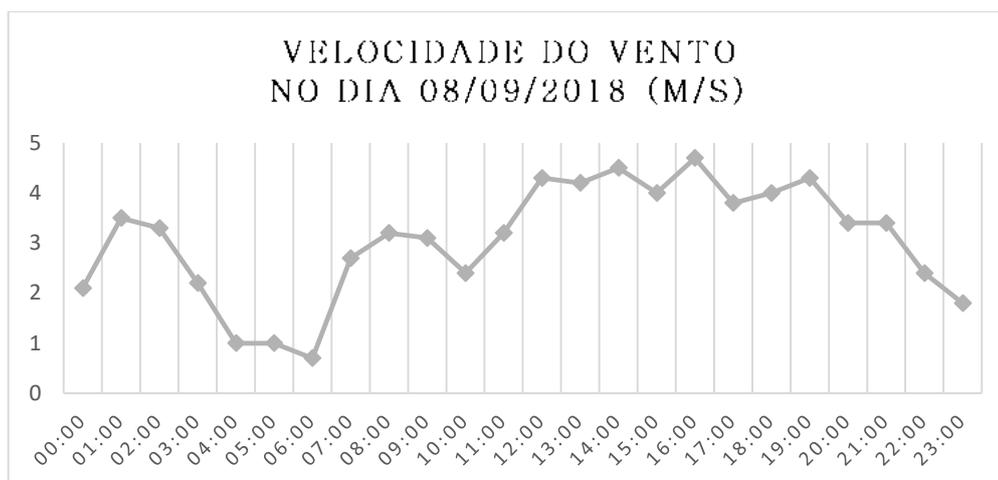
No dia 08/09/18, a temperatura máxima atingida foi de 28,9 °C no período noturno (Gráfico 3) e os ventos atingiram velocidade média de 3,1 m/s, tendo seu pico às 16 horas em que atingiu 4,7 m/s (Gráfico 4).

**Gráfico 4 - Temperatura no dia 08/09/2018**



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

**Gráfico 5 - Velocidade do Vento no dia 08/09/2018**

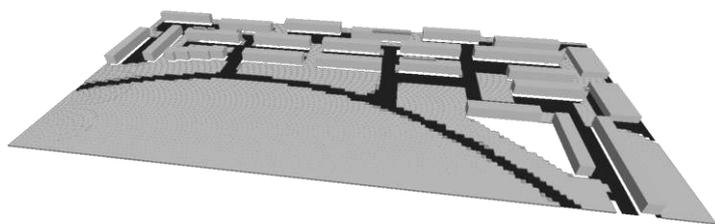


Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

Os materiais utilizados na modelagem foram: asfalto (asphalt), pavimento de concreto cinza (concrete pavement gray) para calçadas e abaixo de edificações (pilotis), solo argiloso (loamy soil) e grama (grass) para as áreas permeáveis do terreno.

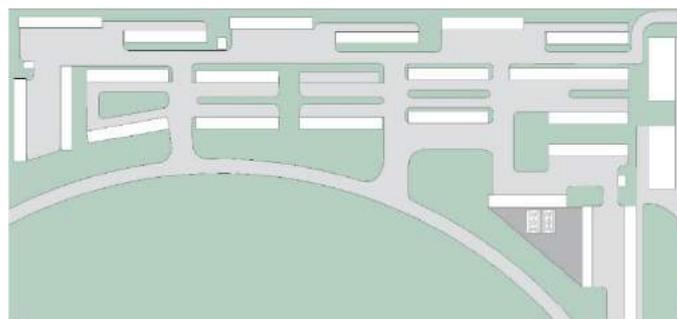
A dimensão do modelo adotado foi de 145 (eixo x), 67 (eixo y) e 30 (eixo z), e, portanto, o tamanho do grid foi de 5 x 5 x 2 (dx x dy x dz). O Norte está rotacionado 18 graus em relação ao sentido anti-horário (Figura 54 e Figura 55).

**Figura 54** – Modelo Envi-Met da Superquadra 500.



Fonte: Elaboração Própria.

**Figura 55** – Disposição dos Blocos na Quadra 500.

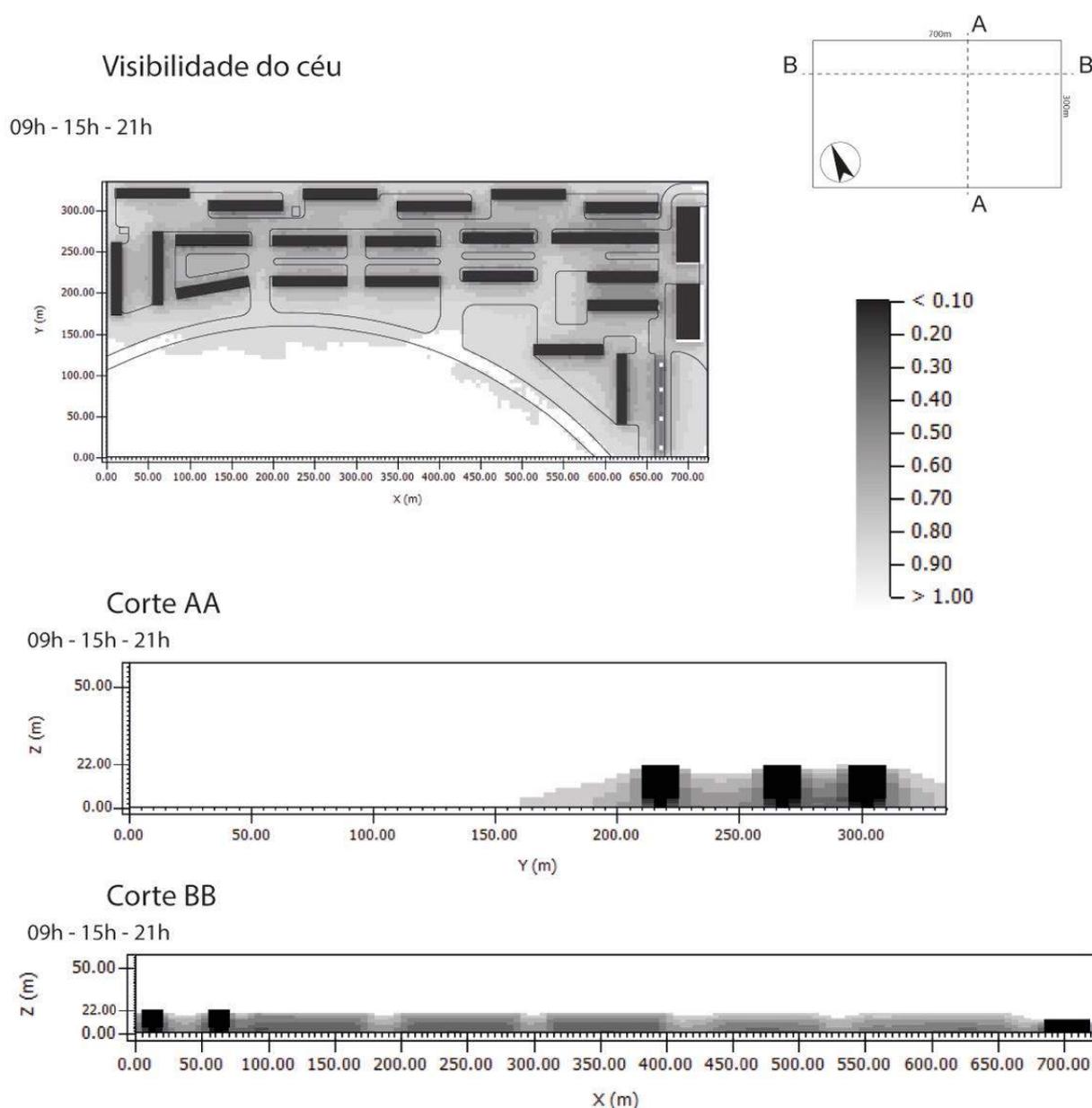


Fonte: elaboração própria.

- **Resultados**

O Mapa de Fator de Visão do Céu revela que, com a implantação da Superquadra 500 do Sudoeste, os locais próximos aos edifícios têm visão de apenas 39%. A máxima chegou a 97% nos locais mais próximos ao Instituto INMET e a mínima de 0, nos pilotis dos edifícios. A média é de aproximadamente 70% (Figura 56).

**Figura 56** - Mapa de Fator de Visão do Céu



Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

Quanto à temperatura potencial do ar e da superfície analisada nos horários de 9h, 15h e 21h (manhã, tarde e noite), percebe-se que o período mais crítico é o da tarde. Nesse período, a temperatura do ar atinge máxima de 44 °C.

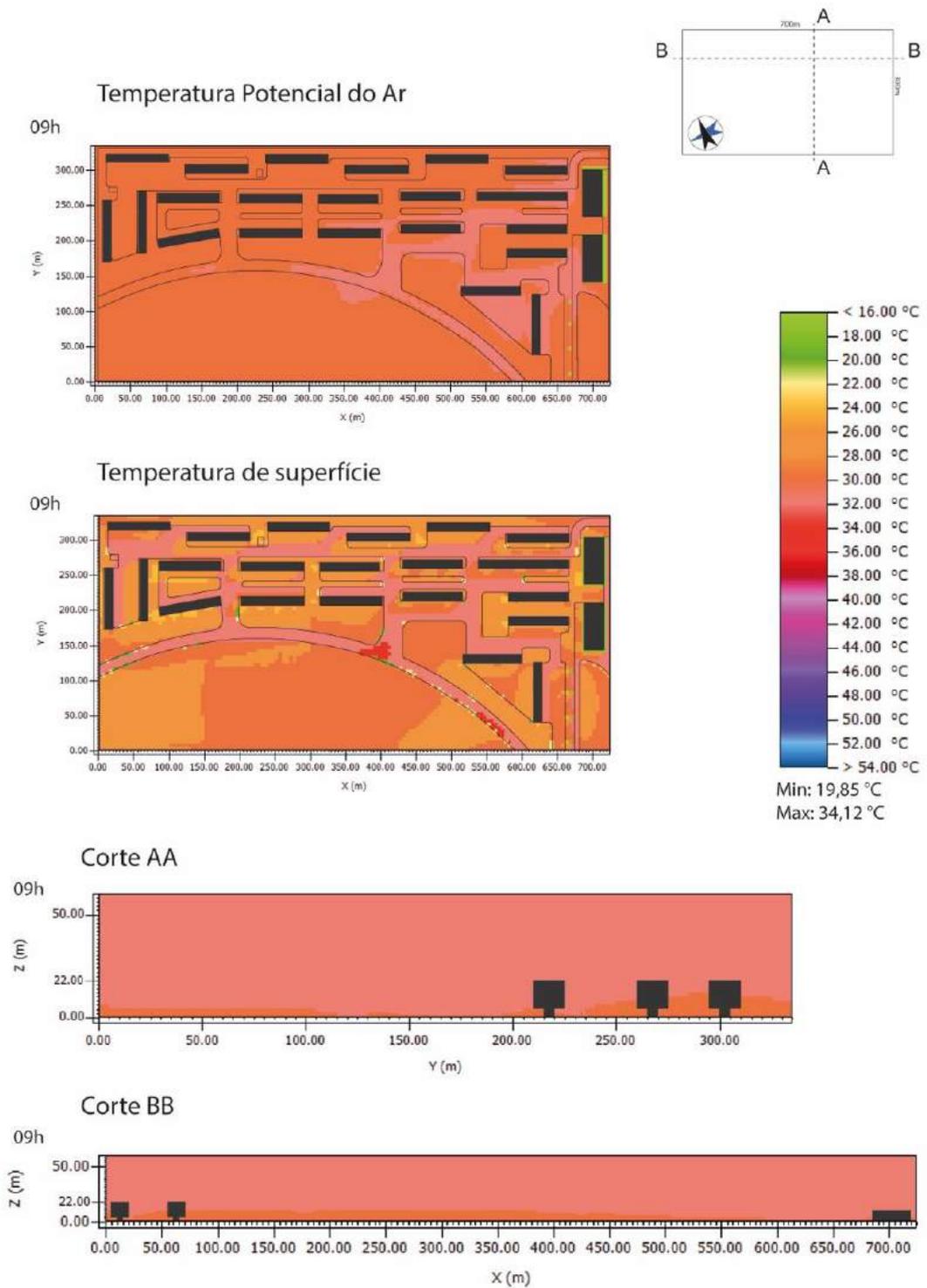
Às 09 horas, a temperatura potencial do ar da Superquadra é na sua maior parte de 30 °C. A mínima registrada no horário é embaixo dos pilotis dos prédios comerciais de 3 andares, e, em algumas partes a leste da quadra, a temperatura atinge 32,57 °C, provavelmente por conta das áreas sem sombreamento e abertas do local.

Quanto à temperatura superficial às 09 horas, percebe-se uma grande variação de temperatura, sendo a mínima registrada de 19°C, embaixo dos pilotis, e a máxima de 34,12 °C, em dois pontos no decorrer das vias. O asfalto e as áreas pavimentadas registram temperaturas mais altas quando comparadas com o restante da Superquadra (Figura 57).

No período da tarde, simulado no horário de 15 horas, a temperatura potencial do ar tem sua média mais alta, registrando, aproximadamente, 44 °C no interior da quadra. Mais uma vez, percebemos a temperatura mais branda nos pilotis dos edifícios comerciais que estão a leste na quadra. No limite norte e oeste da superquadra, a temperatura atinge, aproximadamente 38 °C. Pelo Corte AA e BB, percebe-se que a radiação incide de forma mais branda nos edifícios a norte e o aumento de temperatura no interior da quadra (Figura 58).

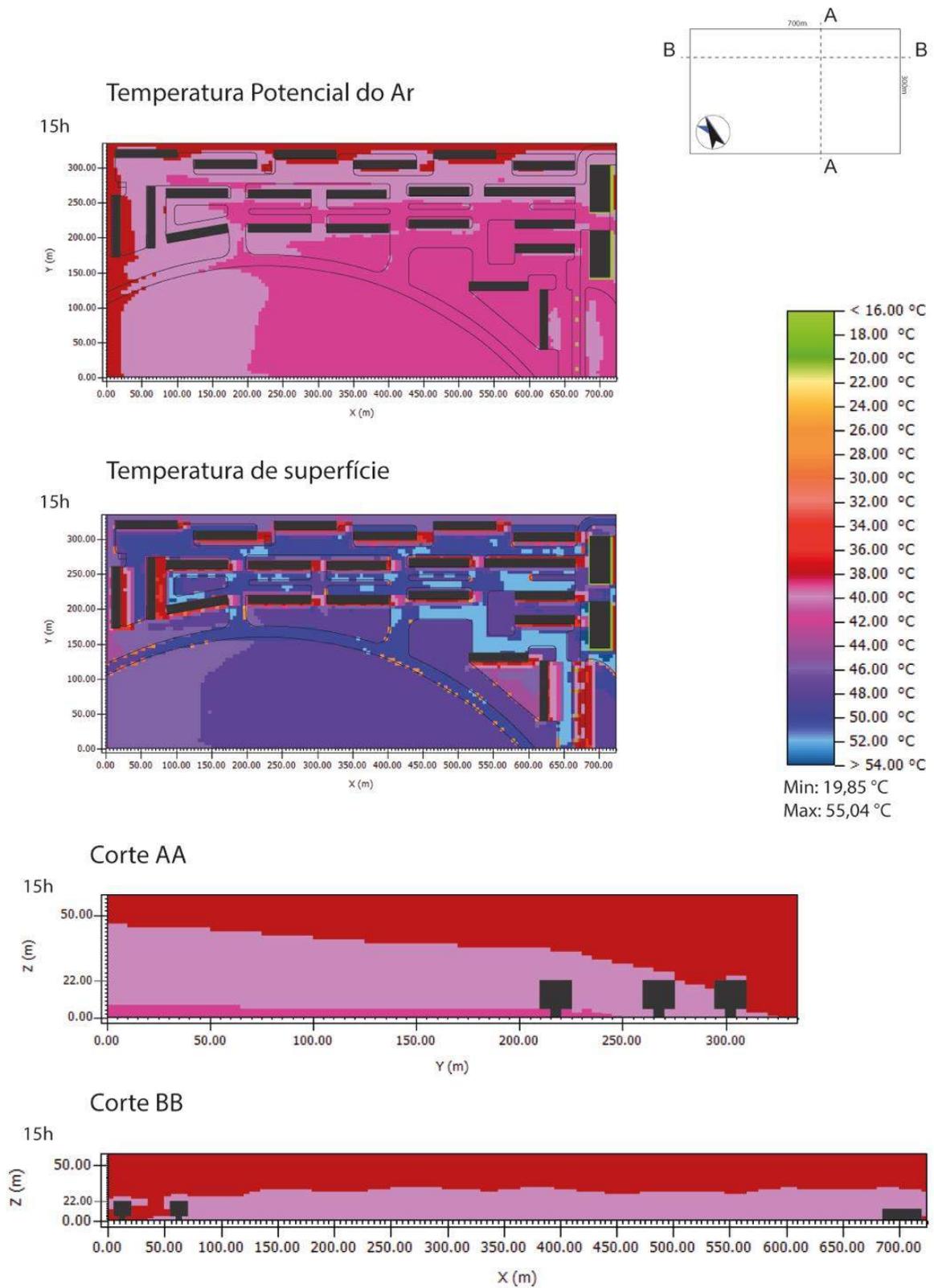
Às 21 horas, a temperatura potencial do ar diminui e atinge máxima de 32,03 °C e de mínima de 28,71°C. A temperatura superficial também tem seus índices menores nesse horário, apresentando mínimas de 18,36 °C e máxima de 32,36 °C. Pelos cortes feitos na simulação, percebe-se que o eixo Z com a temperatura em aproximadamente 30 °C atinge quase toda a quadra (Figura 59).

**Figura 57 - Simulação Computacional - ENVI MET - 09 horas.**



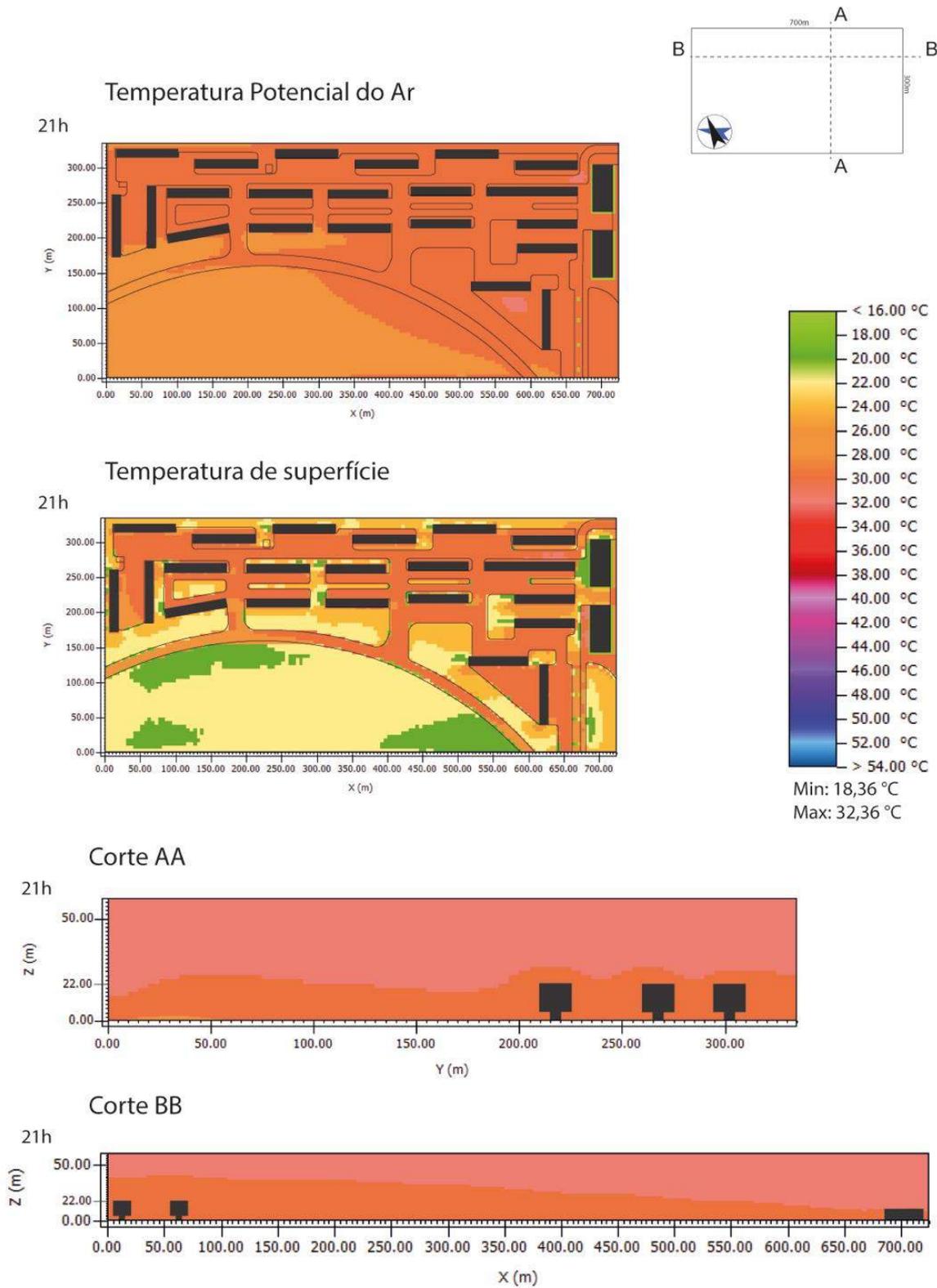
Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

**Figura 58-** Simulação Computacional - ENVI MET -15 horas.



Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

**Figura 59 - Simulação Computacional - ENVI MET - 21 horas**



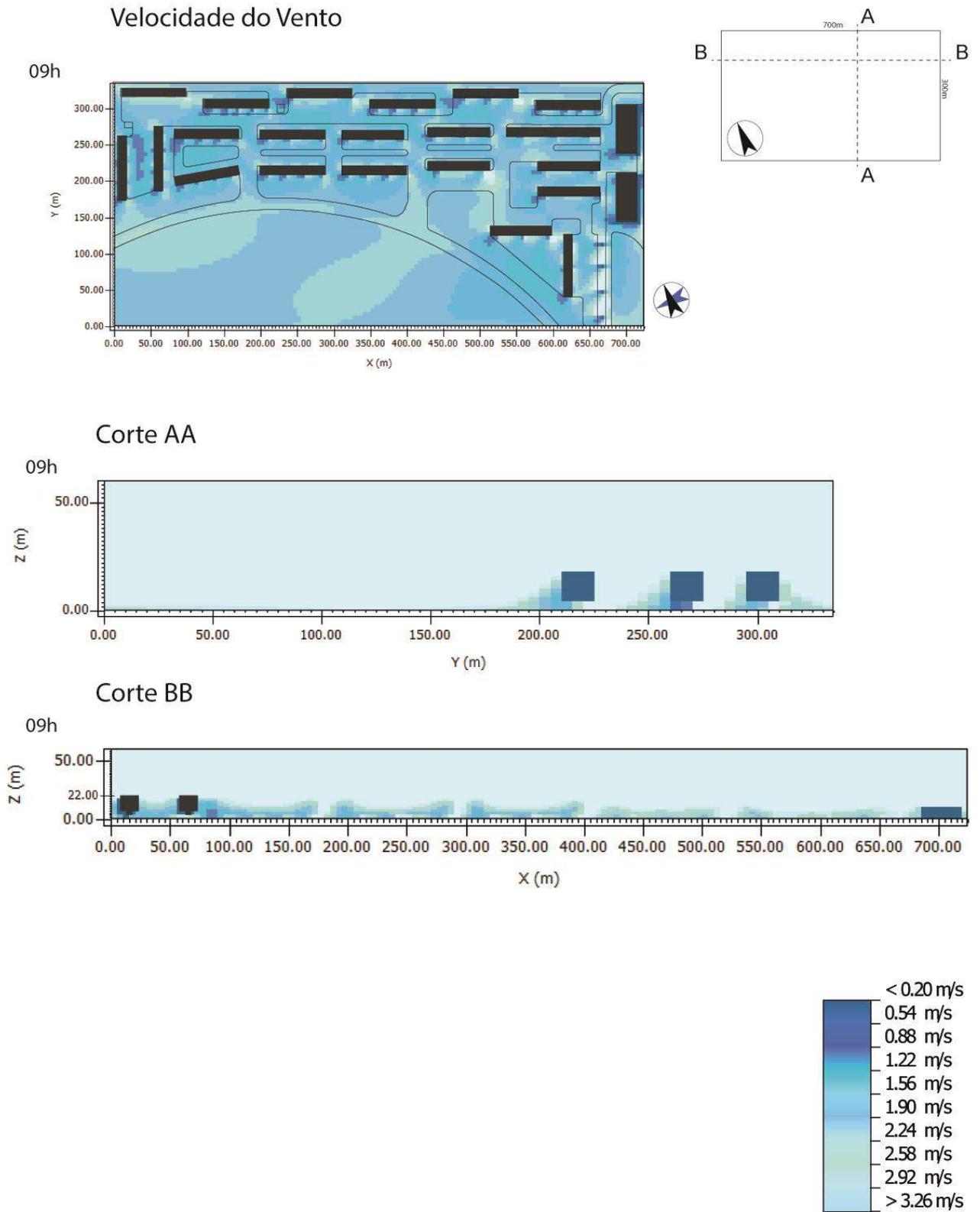
Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

Em relação à velocidade dos ventos, percebe-se pelos mapas que a direção e a velocidade mudam no decorrer do dia. No período da manhã, indicado pelo mapa da velocidade do vento das 09 horas, o vento apresentava direção Leste. Nesse período, a máxima foi de 3,60 m/s em alguns pontos no interior da quadra, formando alguns corredores canalizadores de vento. A média geral foi de 1 a 1,60 m/s nas vias de acesso à quadra (Figura 60).

Às 15 horas, a velocidade do vento na quadra toda atinge velocidade de 1 a 1,90 m/s, sendo que a registrada para o mesmo horário nas estações automáticas era de 3,8 m/s (Figura 61).

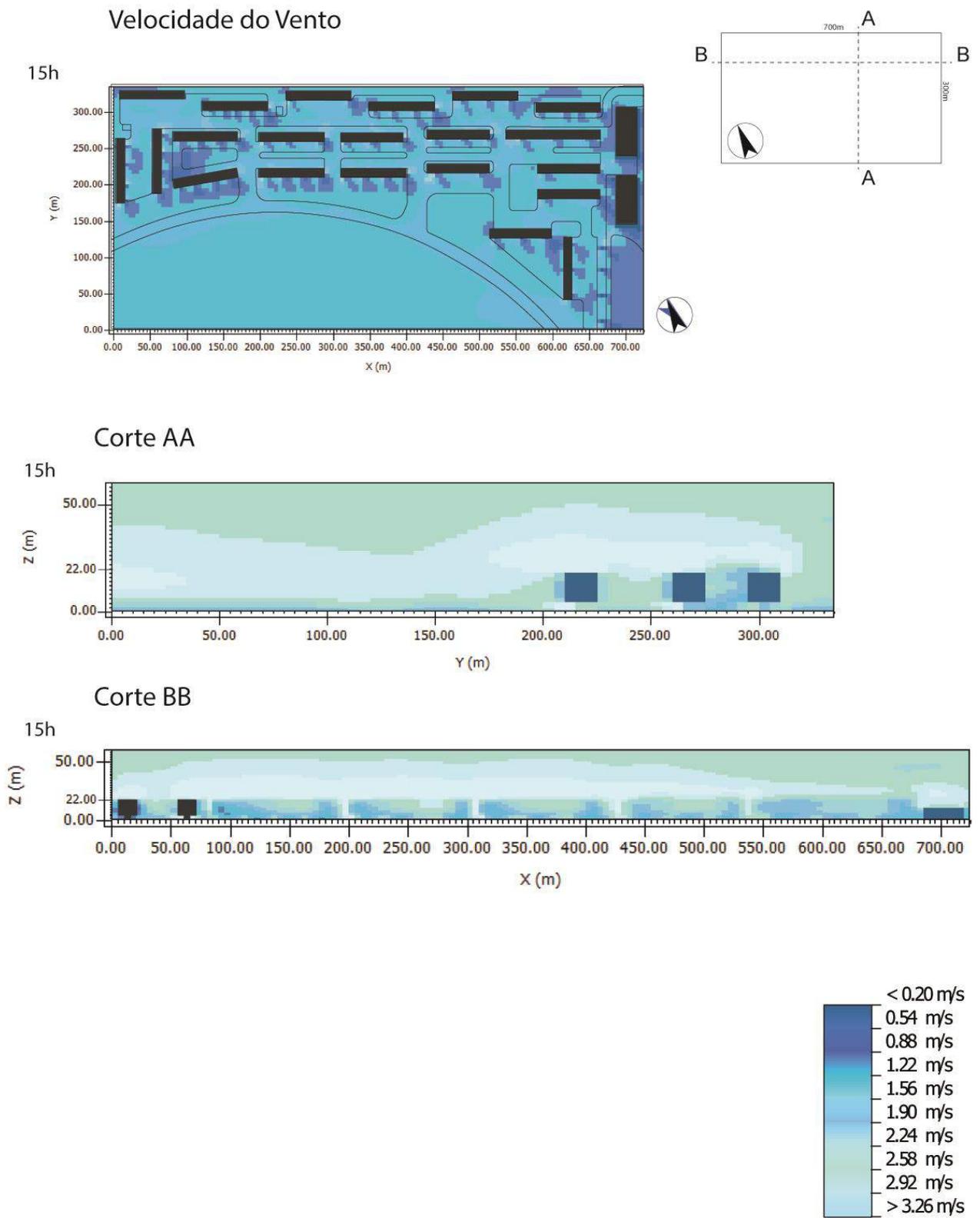
O mapa da velocidade do vento das 21 horas mostra o quão estagnado fica o vento nesse período. A maior parte da quadra, o vento tem velocidade de 0,40 a 0,70 m/s. Nesse período, a velocidade máxima atingida é de 1,39 m/s a sudeste do recorte. O vento, que nesse horário incide na direção Sudeste, percorre três corredores formados pelas vias principais, perdendo velocidade conforme se aproxima dos edifícios do noroeste da quadra (Figura 62).

**Figura 60** - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 09 horas



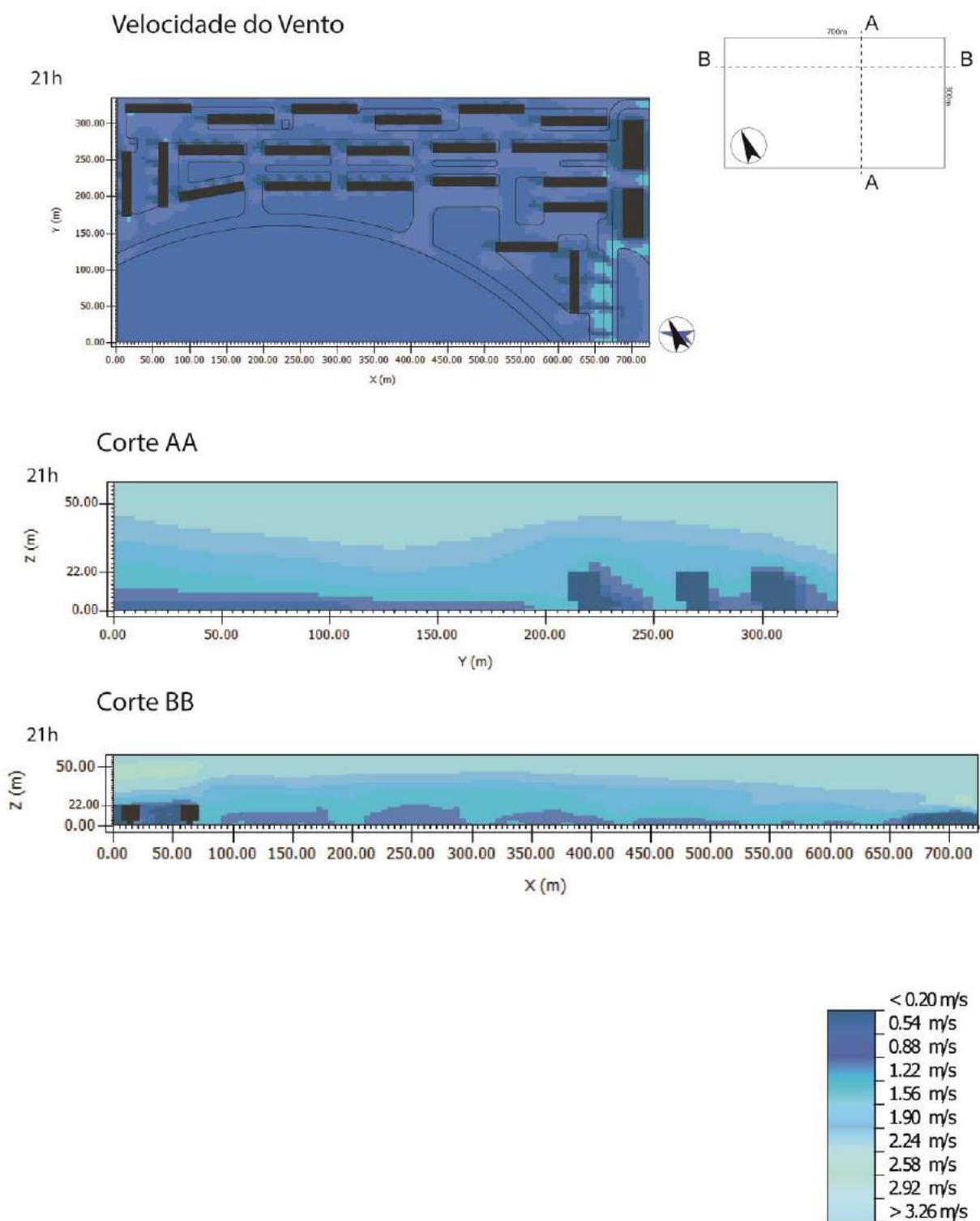
Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

**Figura 61** - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 15 horas



Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

**Figura 62** - Simulação Computacional da Velocidade do Vento- ENVI MET - 21 horas



Fonte: Elaboração Própria – *plugin* LEONARDO, Envi-Met v.4.4.3.

## 7. ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, utiliza-se como parâmetros iniciais a relação H/W, a porcentagem da área impermeável do terreno, o Fator de Visão do Céu (FVC) e a Rugosidade (Tabela 6). Esses parâmetros serviram como base para caracterizar, segundo a metodologia de Ren,C *et al* (2018), o Potencial Dinâmico do vento, as fontes de ar fresco e a intensidade da ilha de calor urbana da região.

**Tabela 6 - Parâmetros e ferramentas utilizadas.**

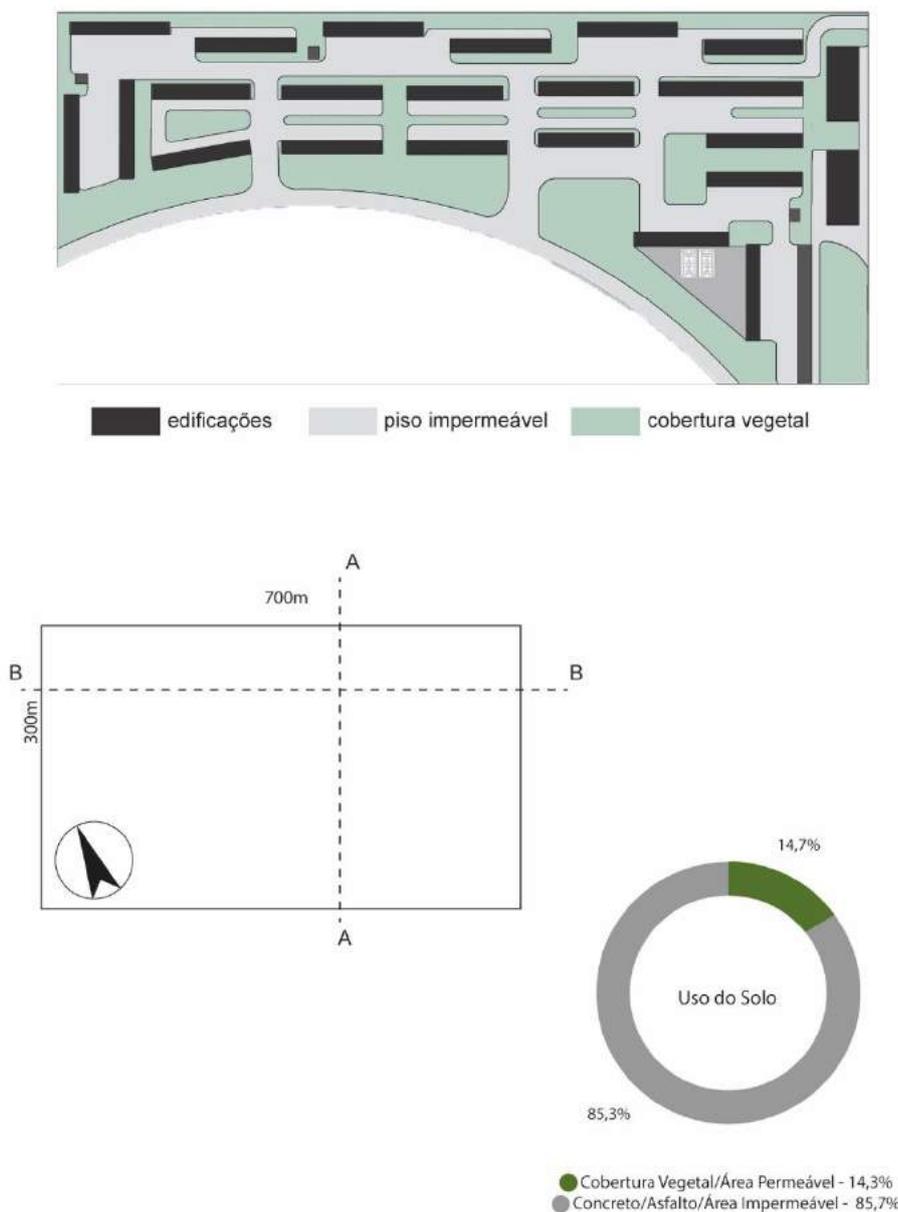
PARÂMETRO	FERRAMENTA
RELAÇÃO H/W	MAPA GEOPORTAL, AUTOCAD.
% DE ÁREA IMPERMEÁVEL	MAPA GEOPORTAL, AUTOCAD
FATOR DE VISÃO DO CÉU	ENVI-MET
RUGOSIDADE	ANÁLISE SEGUNDO ROMERO (2011)
POTENCIAL DINÂMICO DO VENTO	RUGOSIDADE; FATOR DE VISÃO DO CÉU
FONTES DE AR FRESCO	% DE ÁREA IMPERMEÁVEL
INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR URBANA	ENVI-MET; INMET

Fonte: Elaboração Própria.

A relação H/W verifica a proporção dos espaços urbanos. Utilizando como base a tabela de Romero (2011, p. 93) e Bittencourt E Candido (2006, p. 48) replicada no item 4.2.2. Quadro 02, constata-se que há, na Superquadra 500, vários espaços de recolhimento. Isso porque a altura média (H) dos edifícios é de 21 metros, e a largura das vias (W) é de 34, ou seja, uma relação de  $H= 0,62 W$ . Essa relação é indicativo de locais com densidade média, em que a absorção de calor se dá próximo ao nível do solo e os fluxos de ar entre os edifícios interagem entre si, gerando, em alguns pontos, efeitos de esteira de vento. Analisando por meio do mapa gerado pelo Envi-met v.4.3.2, o fator de visão do céu da Superquadra - ou seja, a área de céu visível - tem a média de 0,7.

Quanto a porcentagem de área impermeável, conclui-se que a quantidade de áreas pavimentadas será de 85,3% na Superquadra 500, ou seja, mais da metade da quadra que antes era solo permeável, tornar-se-á asfalto ou concreto (Figura 63).

**Figura 63** - Uso do Solo na Superquadra 500 do Sudoeste.



Fonte: Elaboração própria.

Para classificar a rugosidade da Superquadra, utilizou-se como base a classificação de diferentes formas urbanas de Romero, 2011 (Quadro 01 do capítulo 4.2.1) e a classificação do potencial dinâmico do vento adotado por Ren et al, 2018 (Tabela 05 do capítulo 5). Na análise da Tabela 7, utilizamos os parâmetros já mencionados de Fator de visão do céu, porcentagem de área impermeável, relação W/H e rugosidade.

**Tabela 7 - Classificação do Potencial Dinâmico do Vento.**

<b>Classificação do Potencial Dinâmico do Vento</b>					
POTENCIAL DINÂMICO DO VENTO	FVC	DESCRIÇÃO	RUGOSIDADE	% DE ÁREA IMPERMEÁVEL	RELAÇÃO W/H
Nenhum ou muito baixo	0	Área urbana intensamente desenvolvida, com edifícios altos separados, porem próximos.	8	>90	>2
Relativamente baixo	> 0,65	Área intensamente desenvolvida com alta densidade ou densidade média, edifícios geminados ou muito próximos, ou casas, apartamentos em fileiras com pequenos afastamentos.	7	>70	0,5 - 1,5
Moderado	≥0,65	Área altamente desenvolvida com densidade urbana baixa, grandes edifícios baixos ou com médio desenvolvimento e baixa densidade com casas de 1 ou 2 andares.	6	35 - 65	0,02- 0,5
Relativamente alto	<0,65	Áreas de uso misto com grandes edifícios em áreas abertas.	5	<40	0,05- 0,5
Alto	≤0,65	Área semirural com casas dispersas em uma área natural.	4	<10	>0,05

Fonte: Elaboração própria.

Quanto a ventilação da Superquadra, analisamos os mapas obtidos com a simulação computacional em que a direção dos ventos no dia 08/09/2018 comporta-se similarmente aos

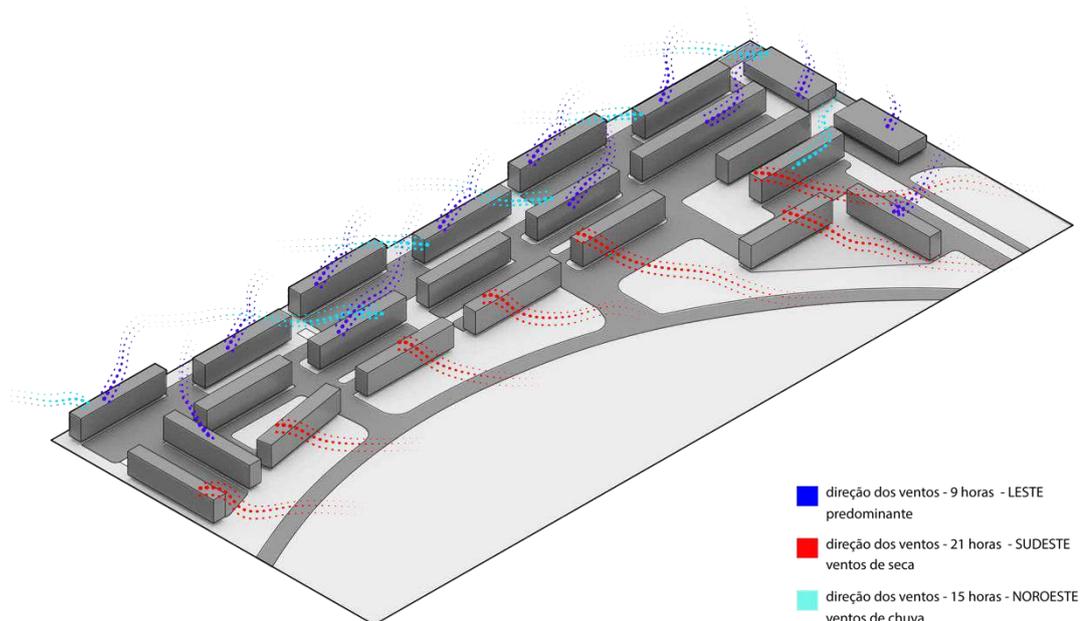
ventos no decorrer do ano em Brasília, sendo eles: os ventos predominantes advindos do Leste, os ventos de chuva originários do Noroeste e os ventos de seca advindos do Sudeste.

Os ventos do Leste - simulados no horário das 09 horas – são canalizados pelos edifícios dispostos no mesmo sentido (Leste-Oeste), porém encontram barreiras – os dois edifícios implantados na perpendicular ao noroeste da quadra – que acabam impedindo que a ventilação chegue com velocidade ao final da quadra e, conseqüentemente, das quadras mistas que estão no entorno imediato noroeste da Superquadra (representado em azul escuro nas figuras 10 e 11).

Os ventos do Noroeste – de chuva (representados em azul claro nas figuras 10 e 11), percorrem os edifícios escalonados ao nordeste da Superquadra, porém também encontram barreiras que o impedem de chegar com velocidade máxima de 2,14 m/s no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

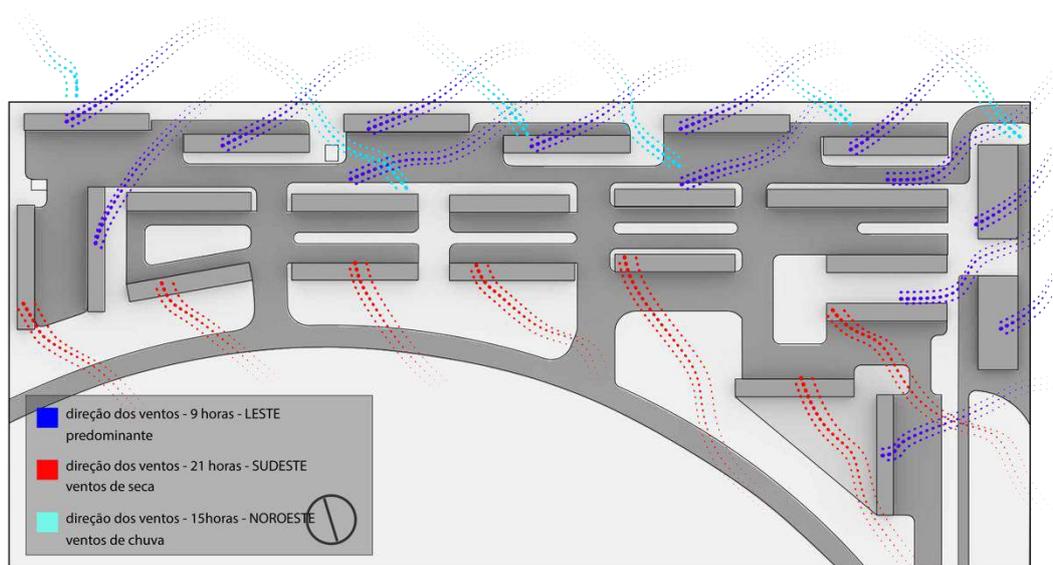
Por fim, os ventos de Seca (que vêm no sentido Sudeste- Noroeste) e que antes da implantação da Superquadra, chegavam com velocidade de 1,39 m/s no Parque dos Sucupiras situado a Nordeste da Superquadra, também encontraram os edifícios dispostos linearmente no sentido Leste-Oeste, como barreira para a velocidade do vento, que chega nessa área a 0,40 m/s (representado em vermelho na Figura 64 e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

**Figura 64** – Perspectiva da direção dos Ventos na Superquadra 500.



Fonte: Elaboração Própria.

**Figura 65** - Planta da direção dos ventos na Superquadra 500.



Fonte: Elaboração Própria.

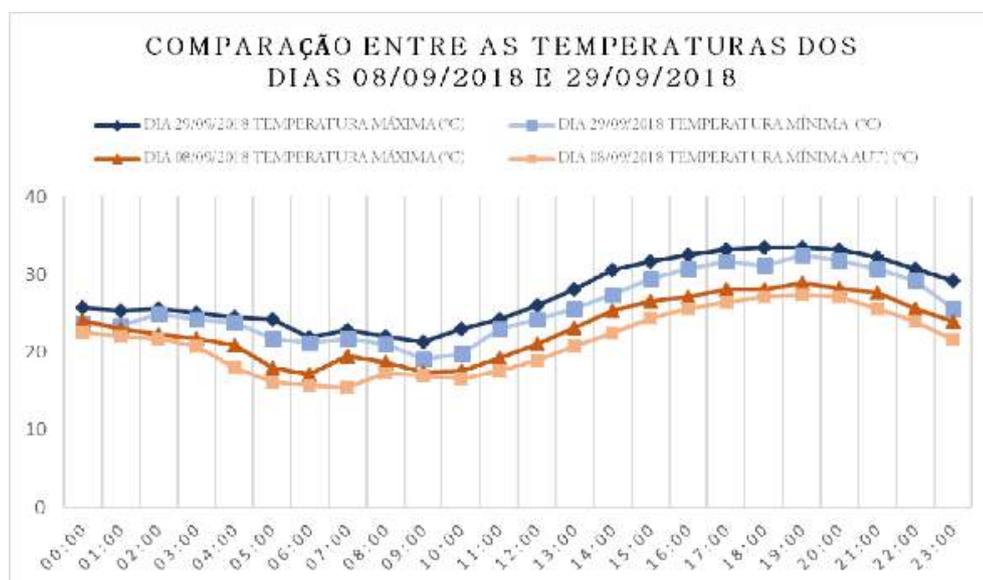
Para essa localidade, considera-se corredores de ventilação os espaços em que o vento atinge velocidade maior ou igual a 3 m/s e que percorra livremente por mais de 2 km. Segundo a tabela síntese (Tabela 7) e a simulação computacional realizada no local, classifica-se a quadra com potencial dinâmico de vento relativamente baixo, pois apesar dos ventos serem canalizados pelas vias da Superquadra, eles encontram barreiras na maioria das vezes feita pelos próprios edifícios, que diminuem sua velocidade e formam sombras de vento.

Quanto a intensidade da ilha de calor urbana, utiliza-se os mapas de temperatura de superfície antes e depois da implantação da superquadra 500 do Sudoeste para classificá-la de efeito forte de ilha de frescor a efeito forte de ilha de calor. Quanto a esse parâmetro, ressalta-se que os dias escolhidos possuem temperaturas ao longo do dia com comportamentos semelhantes, porém o dia 29/09/2018 teve temperaturas mais elevadas e menos ventilação ao longo do dia (Gráfico 5). A velocidade do vento do dia 08/09/2018 teve, porém, um pico, por volta das 06:30, mais baixo do que a média geral do dia 29/09/2018 (Gráfico 6).

Mesmo com esse cenário de temperaturas mais brandas e ventos com maior velocidade no dia 08/09/2018, quando comparamos os mapas de temperatura de superfície do terreno antes e depois da construção da Superquadra 500, vemos que a temperatura após a construção, se elevou bastante. No horário das 12 horas do dia 08 de setembro de 2018, em que as estações automáticas

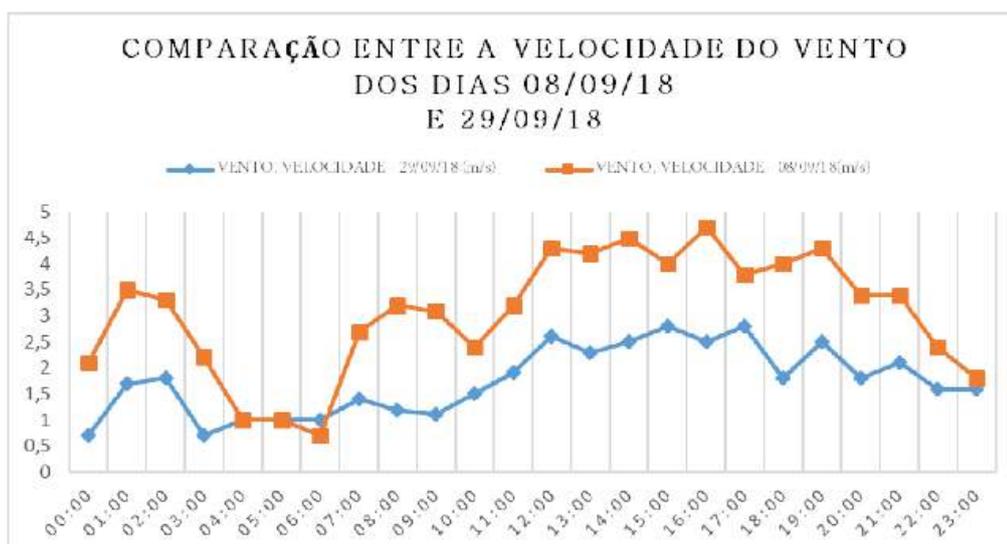
registraram temperatura máxima de 26,6 °C e o geoprocessamento indicou temperatura máxima de média de 37,5°C, a Superquadra - caso já estivesse construída - elevaria a temperatura do local para 51,41, ou seja, 13,91 °C a mais (Figura 66).

**Gráfico 6** - Comparação entre as temperaturas.



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

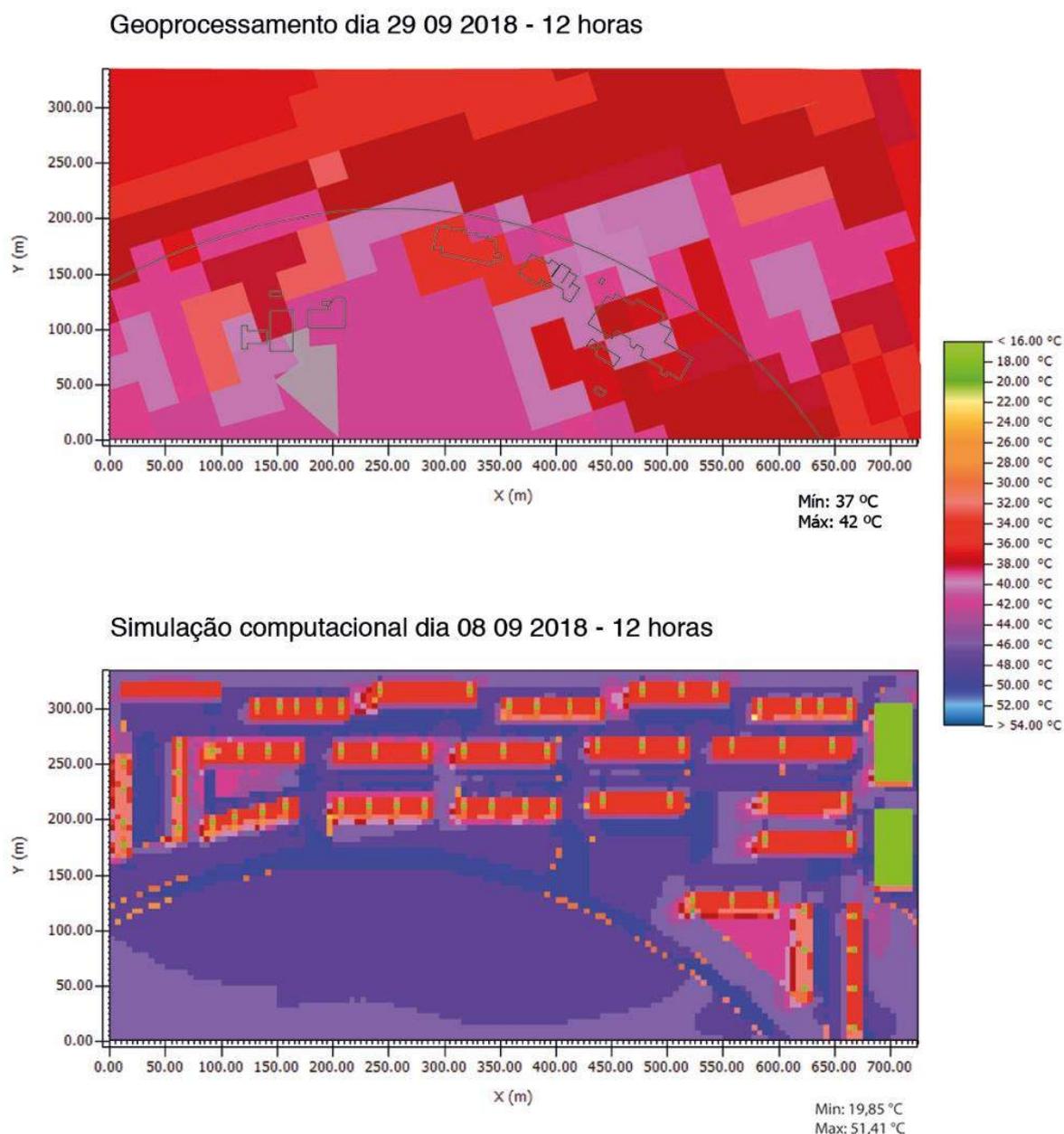
**Gráfico 7** - Comparação entre as velocidades do vento.



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados das estações automáticas do INMET, Brasília – DF.

Ressalta-se que a estação meteorológica automática de Brasília está localizada na sede do INMET, que faz divisa com o terreno da Superquadra 500.

**Figura 66** – Comparação entre as temperaturas superficiais.



Fonte: Elaboração própria com base nos mapas extraídos do QGis e do Envi-met.

Nesse horário a velocidade do vento registrada pelas estações automáticas foi de 4,3 m/s enquanto que na simulação - em que está presente a Superquadra- a velocidade máxima atingida foi de 3,26 m/s (Tabela 8 e Gráfico 7). Nos demais horários simulados - 09, 15 e 21 horas - percebe-se uma diminuição significativa na velocidade dos ventos no período da tarde e da noite. Pela manhã, sobretudo, o vento, que nesse horário tem sua direção predominante - Leste /Oeste -

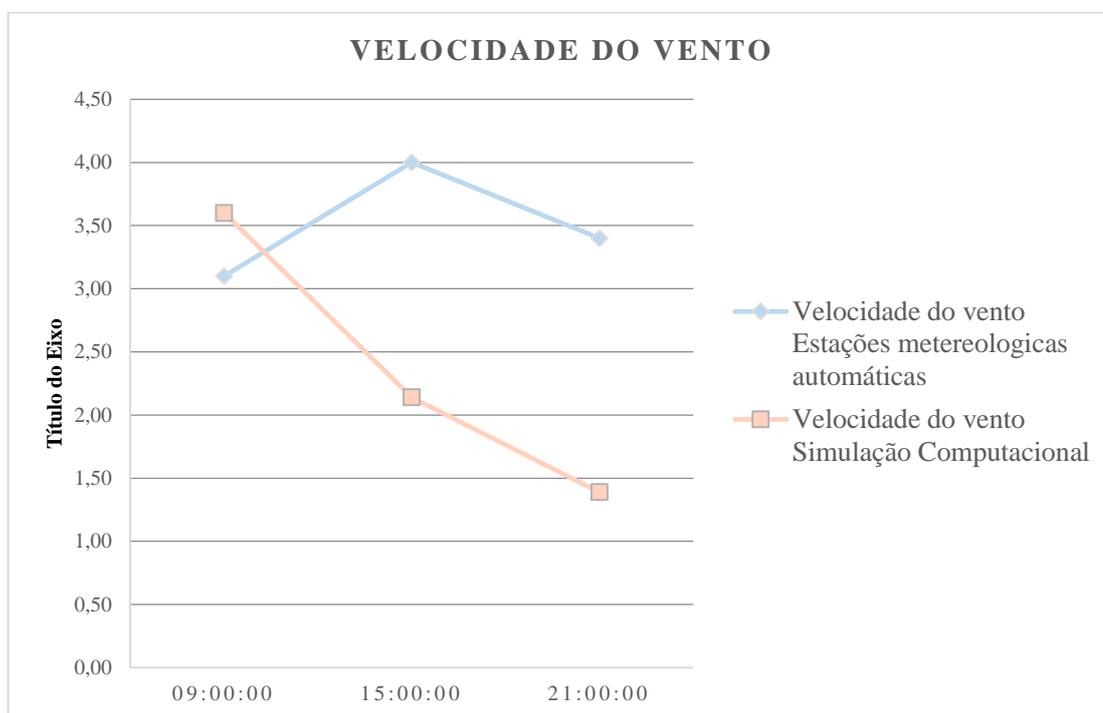
atinge velocidade um pouco mais elevada - 0,50 m/s a mais - da registrada no mesmo horário e dia pelas estações automáticas.

**Tabela 8** - Comparação da velocidade do vento.

Horário	Velocidade do vento	
	Estações meteorológicas automáticas	Simulação Computacional
09:00:00	3,10	3,60
12:00:00	4,30	3,26
15:00:00	4,00	2,14
21:00:00	3,40	1,39

Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 8** - Gráfico de comparação entre as velocidades do vento.



Fonte: Elaboração Própria.

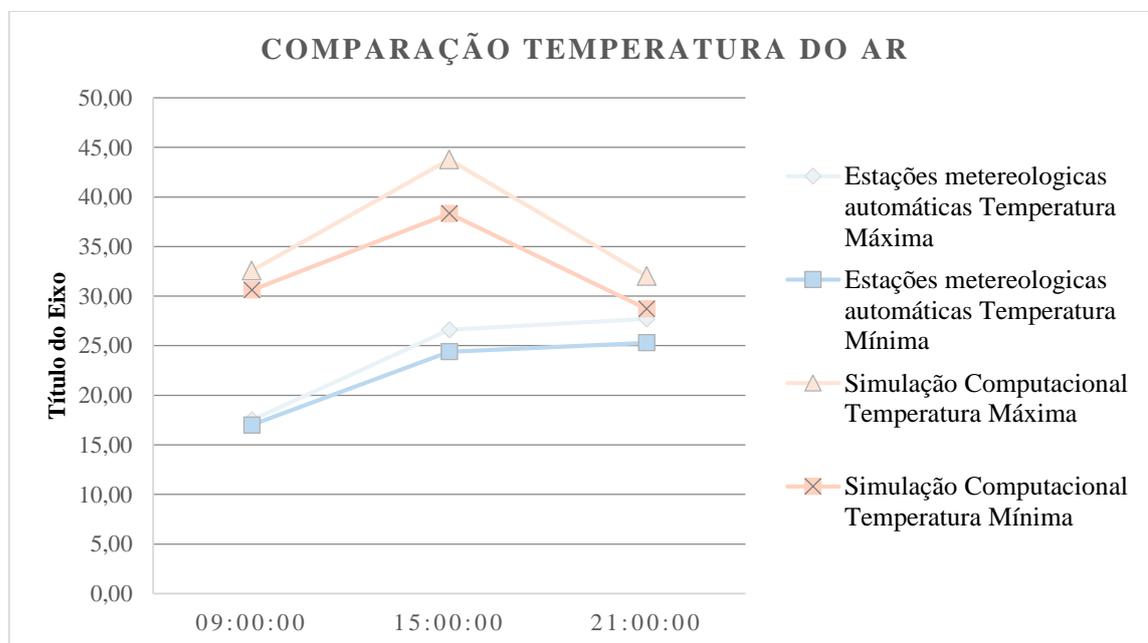
Quanto a temperatura do ar, obtida a 1,5 m do solo, compara-se os dados obtidos pelas estações meteorológicas automáticas para o dia 08/09/2018 com os dados obtidos por meio da simulação computacional via Envi-Met v.4.4.3 para o mesmo dia (Tabela 9 e Gráfico 11). Percebe-se, portanto, que tanto a temperatura máxima, quanto a temperatura mínima registrada, atinge valores maiores com a Superquadra. Essa diferença, no período da tarde, é de 17,16 °C.

**Tabela 9** - Comparação da temperatura do ar.

Horário	Estações meteorológicas automáticas		Simulação Computacional	
	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
09:00:00	17,5	17	32,57	30,60
15:00:00	26,6	24,4	43,76	38,34
21:00:00	27,7	25,3	32,03	28,71

Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 9** - Gráfico de comparação da temperatura do ar.



Fonte: Elaboração própria.

Pela análise da diferença de temperatura de superfície e do ar antes e depois da construção da Superquadra 500, e de acordo com o quadro elaborado com base na metodologia de C. Ren et

al, 2018, conclui-se que o local ocasionará para a superquadra e suas áreas adjacentes um forte efeito de ilha de calor (Tabela 10).

**Tabela 10** - Classificação da intensidade da ilha de calor urbana da área com base na temperatura do ar e na temperatura superficial diária.

<b>CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR URBANA</b>		
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>DIFERENÇA ENTRE A TEMPERATURA (°C)</b>
<b>1</b>	Efeito Forte de Ilhas de frescor	$\leq -7.0$
<b>2</b>	Efeito Relativo de ilha de frescor	$(-7.0) - (-5.0)$
<b>3</b>	Efeito leve de ilha de frescor	$(-5.0) - (-3.0)$
<b>4</b>	Sem ilha de calor	$(-3.0) - (3.0)$
<b>5</b>	Efeito leve de ilha de calor	$3.0 - 5.0$
<b>6</b>	Efeito relativo de ilha de calor	$5.0 - 7.0$
<b>7</b>	Forte efeito de ilha de calor	$>7.0$

Fonte: Elaboração Própria.

## 8. CONCLUSÕES

Tendo como objetivo geral contribuir para as orientações climáticas, utilizando a ventilação natural urbana como forma de promover a qualidade ambiental urbana e como objetivos específicos analisar a qualidade ambiental da Superquadra 500 do Sudoeste e o seu impacto no meio urbano, o estudo foi realizado em três etapas. Na primeira etapa, foi feito um levantamento de como a ventilação natural pode auxiliar nos projetos de planejamento urbano e quais as formas de evitar a criação de ilhas de calor nas regiões centrais da cidade, para isso, utilizou-se da biografia disponível online e fisicamente.

Após esse estudo inicial, a pesquisa voltou-se para o estudo das características climáticas da região, entendendo como a implantação dos edifícios traria uma nova dinâmica dos ventos e, conseqüentemente, novas temperaturas para o local. Aplicou-se para isso, tanto dos conhecimentos adquiridos na primeira etapa, como os *softwares* disponíveis no mercado: Envi-met e QGis.

Na terceira parte da pesquisa, os dados obtidos por meio das estações automáticas do INMET e os resultados das simulações retrataram de forma satisfatória o comportamento da ventilação e da temperatura nessa região. A análise dos resultados nos mostrou que mesmo com o cenário de temperaturas mais brandas e ventos com maior velocidade no dia 08/09/2018, quando comparado os mapas de temperatura do terreno antes e depois da construção da Superquadra 500, vê-se que a temperatura após a construção se elevou bastante. No horário das 15 horas em que as estações automáticas registraram no dia 08 de setembro daquele ano, temperatura máxima de 26,6°C, a Superquadra, se já estivesse sido construída, registraria temperatura potencial do ar máxima superior à 41,75 °C, ou seja, 15,15°C a mais. Quanto a temperatura de superfície, a temperatura máxima atingida antes da construção da Superquadra foi de 42°C, enquanto que a simulação computacional para o mesmo horário registrou máxima de 51, 41 °C, ou seja, quase 10°C a mais.

Além da temperatura elevada, a implantação dos edifícios da Superquadra 500 prejudicarão a ventilação urbana tanto no interior da própria quadra, como também no seu entorno imediato. Os edifícios serão barreiras para a ventilação predominante (Direção Leste-Oeste), para os ventos de Seca (Direção Sudeste- Noroeste) e para os ventos de chuva (direção Noroeste- Sudeste).

A vegetação do Parque dos Sucupiras, localizado no entorno imediato Noroeste da Superquadra 500, terá seus efeitos inibidos, pois além da sua ventilação que adquirirá menor velocidade no período da noite, a ventilação do período da tarde, que é intensificada pela vegetação

do parque, será barrada pelos edifícios da Superquadra 500 e não chegará com velocidade ao Sudeste da quadra.

Em conclusão, o cenário simulado revela o aumento significativo na temperatura e na ventilação - em termos de velocidade e direção - da superquadra. A região que antes servia como um corredor de ventilação urbano para o bairro - interligando Parque dos Sucupiras ao instituto INMET e ao Parque dos Bosques - se tornará uma área com forte efeito de ilha de calor urbana para o bairro existente que já apresenta padrões menores de sustentabilidade que os projetados por Lucio Costa.

Ressalta-se com esse estudo, a importância da criação de planos de corredores de ventilação urbana nas fases iniciais de projetos urbanos e de planos diretores das cidades. O planejamento urbano pautado apenas no desenvolvimento econômico e na valorização imobiliária, como aconteceu na Superquadra em questão, acaba por danificar a qualidade ambiental das nossas cidades. Como continuação para a pesquisa, sugere-se a utilização dos *softwares* e da metodologia abordada nessa pesquisa, para auxiliar nas simulações e possíveis implantações dos edifícios nas quadras como forma de planejamento, ou seja, antes do início da construção dos empreendimentos urbanos.

## REFERÊNCIAS

- ADÁRIO, Júlia & SILVA, Bárbara & SILVA, Caio Frederico e. (2019). *Simulação Computacional como ferramenta de análise da contribuição da vegetação para o conforto humano*. In: 2º Seminário de Pesquisa em Ambiente Construído, nov. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337589042\\_Simulacao\\_Computacional\\_como\\_ferramenta\\_de\\_analise\\_da\\_contribuicao\\_da\\_vegetacao\\_para\\_o\\_conforto\\_humano/references](https://www.researchgate.net/publication/337589042_Simulacao_Computacional_como_ferramenta_de_analise_da_contribuicao_da_vegetacao_para_o_conforto_humano/references) >. Acesso em 12 de fev. de 2021
- BITTENCOURT, Leonardo, & CÂNDIDO, Christina. (2006). *Introdução à ventilação natural*. 2ª Edição. Maceió: Editora Edufal, 1 de janeiro de 2006.
- BOUTET, T.S. *Controlling air movement: A manual for architects and builders*. Nova York: McGraw-Hill, 1987.
- CASTELO BRANCO, Lorena Mileib Burgos (2009). *Microclimas urbanos no Plano Piloto de Brasília: o caso da Superquadra 108 Sul*. 2009. Xii, 139 f. iL. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- CODEPLAN (2018). Estudos e Pesquisas socioeconômicas. *PDAD - Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios*. Brasília - DF, UPT Central, Sudoeste- Octogonal. Disponível em <<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Sudoeste-Octogonal.pdf> > Acesso em 30 de set. 2020
- COSTA, Lucio (1987). Decreto nº 10 829 de 14 de outubro de 1987. *Brasília Revisitada: complementação, Preservação, Adensamento e Expansão Urbana*. Brasília: Diário Oficial do Distrito Federal. 23 de outubro de 1987.
- COSTA FILHO, A. C. (2017). *Rugosidade e Porosidade do Tecido Urbano como Critérios de Análise Qualitativa da Ventilação Natural em Cidades Litorâneas*. 2017. 199 f. Tese (Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie. 1 fevereiro de 2017.
- CUI, Yan-qiu; ZHENG, Hai-chao (2016). *Impact of Three-Dimensional Greening of Buildings in Cold Regions in China on Urban Cooling Effect*. *Procedia Engineering* 169 (2016) 297-302. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.036> Acesso em 04 de jan 2021.

- DRACH, P.R.C.; ROSSI, A.M.G; BARBOSA, G.S. (2014). *Análise de Projeto Urbano a partir de parâmetros urbanos sustentáveis: alteração morfológica de Copacabana e algumas de suas consequências climáticas (1930 – 1950 – 2010)*. Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.6, n3, p.275-287, set./dez. 2016.
- DUBREUIL, Vincent; QUÉNOL, Hervé; FOISSARD, Xavier; AMORIM, Margarete (2014). *Métodos e monitoramento da variabilidade da ilha de calor em cidades de porte médio: Rennes/França e Presidente Prudente/Brasil*. C.A.Silva, E.S.Fialho, E.T.Steinke. Experimentos em climatologia Geográfica., UFGD, pp.67-84, 2014, 858147095-5.
- EVANS, B. Natural Air Flow around Buildings. Teaching the teachers on building climatology. Notas de aulas... The National Swedish Institute for Building Research, Estocolmo, 1973.
- GANDEMER, J. (1975) *Wind Environment around Buildings: Aerodynamic Concepts, “International Conference on Wind Effects on Building and Structures*. In: Proceedings of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Cambridge University Press, Heathrow, pp.423–432.
- GARTLAND, Lisa (2010). *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GIVONI, B. (1969). *Man, climate and architecture*. Elsevier Pub.Co. Ltd. 364.
- GRIMMOND, C. S. B. & , OKE, T. R. (1999) *Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form*. J. Appl. Meteor., **38**, 1262–1292.
- IBRAM, 2020. *Versão Preliminar do Plano de Manejo do Parque Ecológico das Sucupiras*. Brasília - DF. Disponível em < <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/plano-manejo-sucupiras.pdf>> Acesso em 17 de maio de 2020)
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). *Normais Climatológicas do Brasil 1981 - 2010*. Disponível em < <https://portal.inmet.gov.br/normais> > Acesso em 20 de julho de 2020.

- 
- (Brasil). *Dados Históricos anuais das estações automáticas de Brasília*. Disponível em < <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em 20 de julho de 2020.
- LANDSBERG, H. E. (1981). *Urban climate(the)*. 1<sup>a</sup> Edição, Volume 28. Academic Press. pp. 275-28. Julho de 1981.
- LOPES, F; RAMOS, V.; BATELLA, T. (2018). *Carta aberta aos integrantes do Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal (CONAM-DF)*. Disponível em < [http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/Quadras-500-Mocao-ao-CONAM\\_Oca-do-SOL-68%C2%AA-RE.pdf](http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/Quadras-500-Mocao-ao-CONAM_Oca-do-SOL-68%C2%AA-RE.pdf)> Acesso em 18 de jan de 2020.
- MACHADO, L. A., & ASSIS, W. L. (2016). *Impactos da expansão urbana na porção norte do município de Nova Lima (MG) sobre o clima*. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia USP. [S. l.], n. spe, p. 115-132, 2016. DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.117754. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/117754>. Acesso em: 28 ago. 2020
- NG, E. (2009). *Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong*. Building and Environment. 2009; 44(7): 1478-1488. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.502.1427>> Acesso em 26 de mar. 2020
- OKE, T. R. (1987): *Boundary Layer Climates*. 2nd ed. Routledge, 435 pp.
- \_\_\_\_\_, T. R. (2004): *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, 47 pp. Disponível em < [www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf)>
- \_\_\_\_\_, T. R., (2006): *Towards better communication in urban climate*. *Theor. Appl. Climatol.*, **84**, 179–190.
- PANÃO, M. J. N. O.; GONÇALVES, H. J. P.; FERRÃO, P. M. C. *Indicadores do desempenho térmico de edificações urbanas*. In: Congresso Luso-brasileiro para o planejamento urbano regional integrado e sustentável, 2., 2006. Braga, Portugal. Anais... São carlos: eesc/usp, 2006. P. Xx-xx 1 cd-rom.

PENTEADO, H. M.; ALVAREZ, C. E. de. (2007). *Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória*. São Paulo, Revista Paisagem e Ambiente USP, [S. l.], n. 24, p. 57-68, 2007. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i24p57-68. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/85688>. Acesso em: 28 nov 2020.

PRATA SHIMOMURA, A. R. (2005). *Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio*. São Paulo: Tese de doutoramento, FAUUSP. Disponível em < <http://doi.org/10.11606/T.16.2005.tde-20012010-113103>>

\_\_\_\_\_, A. R.(2012) *O uso do software WAsP - caracterização da rugosidade para a cidade de Campinas, SP/Brasil*. Segundo Congresso Latinoamericano de Engenharia do Vento. CLIV2, 2012, La Plata/Argentina. CLIV2. La Plata/Argentina: Faculdade de Engenharia/Universidade Nacional de La Plata, 2012.

RAVEN, J., STONE, B., MILLS, G., TOWERS, J., KATZSCHNER, L., LEONE, M., GABORIT, P., GEORGESCU, M., and HARIRI, M. (2018). *Urban planning and design*. In Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. 139–172 (15) (PDF) *Urban planning and design*. Disponível em : [https://www.researchgate.net/publication/335683807\\_Urban\\_planning\\_and\\_design](https://www.researchgate.net/publication/335683807_Urban_planning_and_design) (acesso em 20 de Jan 2021)

REDE GLOBO. *DFTV*, Brasília, 31 jul. 2020. Disponível em < <https://globoplay.globo.com/v/6044749/>> Acesso em 01 de agosto de 2020>

REN, C., YANG, R., CHENG, C., XING, P., FANG, X., ZHANG, S., NG, E. (2018). *Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan - The implementation in Chinese cities*. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 182, 170–188. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.09.023>>

ROMERO, M. A. B. (2011). *Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília*. São Paulo: Editora Nova Técnica. 2011.

\_\_\_\_\_, M. A. B. (2013). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Brasília: SciELO- Editora UnB. 1 de janeiro de 2013.

\_\_\_\_\_, M. A. B. (2016). *A arquitetura bioclimática do espaço público*. Brasília: SciELO - Editora UNB, 1 edição. 1 de janeiro de 2016.

ROMERO, M.A.B. *et al.* (2019) *Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas*. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; ETB. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.18830/ISBN.978-85-67405-25-4>>.

SALES, Gustavo de Luna (2017). *Diagrama de ventilação natural: ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto*. 2016. 217 f., II.Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) —Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SALGADO, Célia Regina Miranda Melo Cesar (2011). *Espaço Urbano e qualidade de vida: um estudo sobre a visão dos moradores em relação à ampliação do Setor Sudoeste em Brasília*. 2011. 183f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTOS, Rafael Gonçalves; SHIMOMURA, Alessandra Rodrigues Prata; CORREIA, Ezequiel; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro; LOPES, António Saraiva, (2017). *Morfologia urbana e corredores de ventilação como subsídio à resiliência urbana*. Revista LABVERDE, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 12-37, 2017. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/133291/133437> > DOI: 10.11606/issn.2179-2275.v8i2p12-37.

SEDUH, 2010. Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília. Reunião Plenária – RA XXII – SUDOESTE/ OCTOGONAL. Brasília, DF. Disponível em: < [http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/12032010\\_reuniao\\_preparatoria\\_raxxii\\_sudoeste\\_octogonal.pdf](http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/12032010_reuniao_preparatoria_raxxii_sudoeste_octogonal.pdf) >

SILVA, Bárbara Gomes (2020). *Simulação computacional de zonas climáticas locais do Distrito Federal : A contribuição da vegetação intraurbana*. 2020. xi,102 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) —Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

- SILVEIRA, Ana Lúcia Ribeiro Camilo da. *Parâmetros Bioclimáticos para Avaliação de Conjuntos Habitacionais na Região Tropical Subúmida do Brasil*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, UnB. Brasília, 2007.
- STEINKE, E. T. (2012). *Climatologia fácil*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 1ª edição. 1 de janeiro de 2012.
- SU, N., ZHOU, D., & JIANG, X. (2016). *Study on the Application of Ventilation Corridor Planning in Urban New Area --A Case Study of Xixian New Area*. *Procedia Engineering*. 169. 340-349. 10.1016/j.proeng.2016.10.042. Dezembro de 2016.
- SUDER, A., & SZYMANOWSKI, M. (2014). *Determination of Ventilation Channels In Urban Area: A Case Study of Wrocław (Poland)*. *Pure and Applied Geophysics*, 171(6), 965–975. Disponível em < <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0659-9> > Acesso em 15 de jun. 2020
- TORK, L. D., TIBIRIÇÁ, A. C. G., & TIBIRIÇÁ, Á. M. B. (2017). *Análise da ventilação natural conforme planos diretores: resultados de pesquisa em Belém, PA*. *Revista Ambiente Construído*, 17(1), 329–351. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100138>> Acesso em 16 de fev 2021.
- WERNECK, D. R., & ROMERO, M. A. B. (2018). *Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas : estudo de caso em áreas comerciais em Brasília – DF*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) —Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- WICHT, M., WICHT, A., & OSIŃSKA-SKOTAK, K. (2017). *Detection of ventilation corridors using a spatio-temporal approach aided by remote sensing data*. *European Journal of Remote Sensing*, 50:1, 254-267. Disponível em < 10.1080/22797254.2017.1318672 >
- ZHU, D. (2016). *Study on Facade Openings Design Method Responding to Urban Ventilation Issue in High Density Cities*. *Procedia Engineering*. 169. 133-141. 10.1016/j.proeng.2016.10.016. Dezembro de 2016.