

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO URBANO

JOANA PACK MELO SOUSA

**INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA NA VENTILAÇÃO NATURAL:
UM ESTUDO DE CASO NO CAIS JOSÉ ESTELITA, RECIFE.**

Recife, PE

2014

JOANA PACK MELO SOUSA

**INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA NA VENTILAÇÃO NATURAL:
UM ESTUDO DE CASO NO CAIS JOSÉ ESTELITA, RECIFE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal da Pernambuco, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento Urbano.

Área de concentração: Conservação Integrada.

Orientador: Prof. Dr. Ruskin Marinho Freitas

Recife, PE

2014

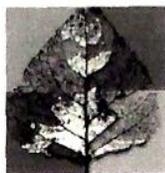
Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Valéria Baltar de Abreu Vasconcelos, CRB4-439

S725i Sousa, Joana Pack Melo
Influência da forma urbana na ventilação natural: um estudo de caso no Cais José Estelita / Joana Pack Melo Sousa. – Recife: O Autor, 2014.
161p.: il.

Orientador: Ruskin Marinho de Freitas.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano, 2014.
Inclui referências.

1. Planejamento urbano. 2. Ventilação. 3. Conforto humano. I. Freitas, Ruskin Marinho de (Orientador). II. Título.

711.4 CDD (22.ed.) UFPE (CAC 2014-142)



Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano
Universidade Federal de Pernambuco

Ata de Defesa de dissertação em Desenvolvimento Urbano da mestranda **Joana Pack Melo Sousa**.

Às 9h do dia 19 de maio de 2014 reuniu-se no Mini Auditório I do Centro de Artes e Comunicação, a Comissão Examinadora de dissertação, composta pelos seguintes professores: Ruskin Marinho de Freitas (orientador), Maria de Fátima Ribeiro de Gusmão Furtado e Tomás de Albuquerque Lapa (examinadores internos), Leonardo Salazar Bittencourt (examinador externo) para julgar, em exame final, o trabalho intitulado: "INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA NA VENTILAÇÃO NATURAL: UM ESTUDO DE CASO NO CAIS JOSÉ ESTELITA, RECIFE", requisito final para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Urbano. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Ruskin Marinho de Freitas, após dar conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Pelas indicações, a candidata foi considerada APROVADA. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar eu Renata de Albuquerque Silva, lavrei a presente ata, que será assinada por mim, pelos membros participantes da Comissão Examinadora e pela candidata. Recife, 19 de maio de 2014.

- Indicação da Banca para publicação (X)

Prof. Ruskin Marinho de Freitas
Orientador

Profa. Maria de Fátima Ribeiro de Gusmão Furtado
Examinadora Interna/ MDU/UFPE

Prof. Tomás de Albuquerque Lapa
Examinador Interno/MDU/UFPE

Prof. Leonardo Salazar Bittencourt
Examinador Interno/UFAL/Arquitetura e Urbanismo

Renata de Albuquerque Silva
Secretária do MDU

Joana Pack Melo Sousa
Candidata

AGRADECIMENTOS

Ao **Carlos Vaz**, que me incentivou a fazer o mestrado e que me ofereceu apoio incondicional em todas as etapas do processo. Muito obrigada, por todas as palavras de estímulo, pela troca de conhecimento, pelo companheirismo, pelo amor, pela paciência e compreensão. Sou eternamente grata também **à sua família** pelo amor, carinho e incentivo desde o primeiro dia em que cheguei ao Brasil.

Ao meu orientador, **Ruskin Freitas**, por quem eu tenho muito respeito, e admiração. Quero agradecer por todo o conhecimento transmitido durante as aulas, o estágio docência, e as reuniões de pesquisa.

À minha amiga, e colega de pesquisa, **Simone Torres**, pela troca de conhecimento durante as aulas de sustentabilidade e de urbanismo Bioclimático que ajudaram a moldar a escolha do tema e das ferramentas de pesquisa. Mas acima de tudo por me ter oferecido abrigo na sua casa em Maceió durante o período de simulação. A simpatia e o carinho com que foi recebida por toda a família foram fundamentais para que eu concluísse a pesquisa.

À minha amiga, e colega de pesquisa, **Melyna Lamenha**, que me ensinou a manusear o aplicativo PHOENICS. Os percalços e as dificuldades foram mais que muitos, mas com o seu apoio foi possível prosseguir na pesquisa.

À minha família, em especial **aos meus pais**, que mesmo estando longe, sempre estiveram junto do meu coração e sempre deram muita força para concluir meus estudos. **Ao meu avô e ao meu irmão**, que compartilharam palavras sábias o carinho e amor.

Aos meus professores, que enriqueceram meu conhecimento e ampliaram o tema de pesquisa. Um agradecimento em particular à professora **Fátima Furtado**, que disponibilizou o seu tempo, paciência e compreensão, para me orientar na fase inicial.

A todos os colegas de turma que contribuíram para a definição da pesquisa nos debates da sala de aula, e um agradecimento muito especial para a **Danuza Moraes** e a **Germana Santiago** pelas conversas e pela amizade. **Aos meus colegas de pesquisa do laboratório de conforto ambiental da UFPE**, que cooperaram para a construção do trabalho, em especial para **Ana Salvador, Jaucele Azeredo** e **Artur Schimbergui**.

Ao Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA) e ao LABConf, da Universidade Federal de Alagoas pela disponibilização dos equipamentos para a elaboração das simulações de ventilação em particular ao professor **Leonardo Bittencourt** e à professora **Gianna Barbirato** pela simpatia e troca de conhecimento.

Aos funcionários que trabalham no mestrado desenvolvimento urbano, em especial à **Renata Silva** e a **Élida Bani** pela simpatia e pela paciência ao longo destes últimos dois anos. Aos funcionários do Departamento de Expressão Gráfica, em particular ao **Senaqueribe Silva** e à **Elisabeth Moura**, e aos professores **Flávio Souza** e **Ana Cláudia Cavalcanti**, pelo carinho e amor com que me receberam em Recife, sou eternamente grata.

A todos os meus amigos, que contribuíram indiretamente para a concretização deste trabalho. Em especial à **Sílvia**, que embarcou comigo nesta aventura pelo Brasil e que sempre esteve do meu lado.

E por fim, e não menos importante à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** que financiou a pesquisa e a tornou possível.

“A relação entre clima urbano e forma urbana constitui um tema relevante na atualidade, estando ainda longe de se chegar a um consenso sobre os limites e possibilidades do adensamento construtivo, o que justifica reflexões e pesquisas que levem ao aprofundamento dessa questão.”

(FREITAS, 2008).

RESUMO

A cidade do Recife passa por um rápido processo de transformação urbana. Ao mesmo tempo em que expande a ocupação para as cidades vizinhas, também adensa o núcleo urbano, por meio da verticalização e do aumento da taxa de ocupação do solo. Esta ação se intensifica em várias áreas da cidade, sem que sejam contemplados estudos técnicos suficientes, que demonstrem as modificações ocorridas no microclima urbano. Entre as diferentes variáveis climáticas, a ventilação natural é a que, mais facilmente, se altera com a urbanização, além de ser a mais importante estratégia de conforto térmico, de salubridade e de economia energética em climas quentes e úmidos, onde se localiza a cidade do Recife. Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar as alterações que ocorrem na ventilação natural, com a edificação de diferentes formas de ocupação urbana. Como objeto de estudo empírico, foi selecionada a área do Cais José Estelita, no bairro de São José, por ser um local central, junto à bacia do Pina, com baixa densidade populacional e com grande parte de sua estrutura urbana ociosa. Assim sendo, essa área apresenta um grande potencial de adensamento futuro. Tomou-se, como referência inicial, o projeto Novo Recife proposto para aquele terreno, com o intuito de contribuir no entendimento das modificações que irão ocorrer no deslocamento do ar, caso este modelo de ocupação venha a ser construído. Para além desta análise, foram elaboradas cinco derivações da forma urbana, com variação dos afastamentos, da altura e da porosidade dos edifícios, a fim de compreender se outros modelos de ocupação, com densidade construtiva semelhante, poderiam trazer mais benefícios ao conforto térmico e à ventilação natural da cidade. O trabalho consiste em uma pesquisa experimental, em que seis cenários virtuais foram criados e simulados no programa de dinâmica de fluidos PHOENICS VR 3.6.1, no laboratório de conforto da Universidade Federal de Alagoas. A construção dos cenários foi fundamentada nos conceitos teóricos que pautam as preocupações ambientais de adensamento e forma urbana, nos conhecimentos de conforto térmico e ventilação urbana e nas características específicas do caso de estudo empírico. No final do estudo, o cenário que mais diminui o fluxo de vento é o modelo 3, porque a configuração dos edifícios e da forma urbana origina uma extensa zona de esteira a sotavento. No entanto, o modelo 1 é o que incita mais prejuízos para o conforto do pedestre, porque combina áreas com velocidade do ar demasiado elevada (acima de 6,125m/s) nas ruas laterais, com áreas de fraca taxa de ventilação (inferior a 1,75m/s) a sotavento dos edifícios, criando assim mais espaços contínuos onde os pedestres estão fora da sua zona de conforto. Para concluir, o modelo 4, apresentou muitas vantagens em relação ao modelo 3, demonstrando que a porosidade dos edifícios é fundamental para melhorar a circulação do ar na cidade.

Palavras-chave: Urbanismo Bioclimático. Forma Urbana. Ventilação urbana, Conforto humano.

ABSTRACT

The city of Recife is undergoing a rapid process of urban transformation. While it is expanding to the nearby cities, is also undergoing through a process of density growth in the urban core, increasing the height of buildings and the rate of land occupation. This process is happening in various neighborhoods, without having sufficient technical reports that can help understand how these changes may affect urban microclimate. Among the different climatic variables, natural ventilation is the most easily changed by urbanization and is the most important strategy for: thermal comfort, salubrity and energy savings in hot and humid climates, where the city of Recife is located. The main goal of the research is to analyze the changes that occur on natural wind flow in different urban forms. The wharf José Estelita, situated in São José neighborhood, was selected as case of study because its a huge central area along Pina drainage-basin, it has a low population density and most of the constructions are abandoned or underutilized. This is an important area in the city that demonstrates a huge potencial to increase population density of the neighborhood. The project Novo Recife proposed for that site, served as inicial reference of the study, in order to understand the changes that might occur on the wind flow if this project is built. Another five different scenarios varying on the buildings height and porosity (spaces without constructed barriers in between different floor levels of the building) and the distance between buildings, in order to understand if other models (with similar building density) could bring more benefits to the thermal comfort of pedestrians and for natural ventilation of the city. It is an experimental study, in which six virtual scenarios were created and simulated in Computational Fluid Dynamics (CFD) using the software PHOENICS VR 3.6.1. in the Laboratory of Thermal Comfort, at the Federal University of Alagoas. The construction of the scenarios were based on the theoretical concepts that guide the environmental concerns of density and urban form, knowledge of thermal comfort and urban ventilation and the characteristics of the case study. In the end of the research, the scenario that decreases more the wind flow is model 3, due to the buildings arrangement. Nevertheless, the scenario that affected more thermal comfort of pedestrians is model 1, because it combines spaces of discomfort for high wind speed (more than 6,125m/s) on the streets aside of the buildings, and areas of low wind flow (less than 1,75 m/s) behind the buildings, thus creating more continuos spaces where pedestrians are out of their comfort zone. Finally, model 4, presented many advantages compared to model 3, reinforcing the importance of having porous buildings in the city, to improve wind circulation.

Key-words: Bioclimatic Urbanism, Urban design, Urban Ventilation, Human confort

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Relação entre forma urbana, edificação e ventilação natural. Fonte: Elaboração própria desenhos de Romero, 2013	4
Figura 2: Desequilíbrios na cidade do Recife. Fonte: Arquivo Pessoal.....	8
Figura 3: Esquema representativo de distribuição de usos em cada um dos modelos. O da esquerda representa o zoneamento funcional, e o da direita as unidades de vizinhança. Fonte: Rogers, 2012.	17
Figura 4: Relação entre os principais indicadores urbanos de densidade. Fonte: Adaptado de Densityatlas, 2014	20
Figura 5: Diferentes formas urbanas com densidade constritiva semelhante. Fonte: Freitas, 2008 e < http://seresurbanos.blogfolha.uol.com.br/2014/03/20/predios-de-oito-andares-podem-deixar-a-cidade-mais-densa-do-que-espigoes/ >	22
Figura 6: Principais parâmetros que configuram o uso e ocupação do solo. Fonte: Saboya, 2007.....	24
Figura 7: Bairros com modelos de ocupação semelhantes, Balneário Camboriú e Recife. Fonte: < http://jp-viagensecaminhos.blogspot.com.br/2011/01/balneario-camboriu-sc.html >, e arquivo pessoal.....	25
Figura 8: Configuração espacial da ilha de calor, Green Bay, Estados Unidos. Fonte: BARBIRATO et al, 2007.....	29
Figura 9: Diagrama Bioclimático de Olgayay. Fonte: Romero, 2013.....	33
Figura 10: Carta Bioclimática de Givoni, co adequação para Recife, pelo Analysis Bio. Fonte: Lamberts, et. al., 2007.....	34
Figura 11: Processo para reduzir a produção interna de calor, diferença entre ar seco e ar úmido. Fonte: Lamberts, 2013.....	35
Figura 12: a) Cidade de Kahun, Antigo Egito. b) Cidade de Marrakesh. Fonte: a) Saraiva, 1994 <i>apud</i> Marques, 2003; b) Lamberts, Dutra e Pereira, 2004.....	38
Figura 13: Representação esquemática do centro de alta e baixa pressão. Fonte: Steinke, 2012	40
Figura 14: À esquerda está a representação do padrão de circulação segundo de Halley, 1686. À direita, o padrão de circulação de três células, idealizado por Ferrel, 1856. Fonte: Steinke, 2012.	41
Figura 15: Circulação global no modelo de três células. Fonte: Steinke, 2012.	42
Figura 16: Representação esquemática das brisas. Na esquerda está representada a brisa marítima, à direita a brisa noturna. Fonte: Bittencourt e Cândido, 2010.....	43
Figura 17: Esquema de camada limite atmosférica. Fonte: Oke, 1978 adaptado por Ferreira, 2009.	44
Figura 18: Esquema de camada limite atmosférica, conforme a escala urbana. Fonte: Oke, 2006 adaptado por Ferreira, 2009.	45

Figura 19: Gradiente do vento para diferentes áreas. Fonte: Jackman, 1980 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	46
Figura 20: Fluxo de vento ao redor de um edifício. Fonte: Koenigsberger et al, 1977 .	48
Figura 21: Linhas e zonas de fluxo típicas. Fonte: Oke, 1987 adaptado por Marques, 2003.	49
Figura 22: Elementos que interferem no comportamento do vento. Fonte: Adaptado de Silva (1999).	50
Figura 23: Campo de escoamento. Fonte: Blevins <i>apud</i> Silva, 1999.	51
Figura 24: Dimensões da sombra de vento conforme a forma e o tamanho do edifício. Fonte: Mascaró, 1991.	52
Figura 25: Corpos aerodinâmicos e rombudos. Fonte: Blessmann, 1990 <i>apud</i> Marques, 2003.	52
Figura 26: Relação entre a forma do edifício e a orientação. Fonte: Evans (1979) <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	53
Figura 27: Efeito de cercas e muros com diferentes configurações. Fonte: Boutet, 1987 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	53
Figura 28: Influencia dos afastamentos na ventilação urbana Fonte: Oke, 1987.	55
Figura 29: Efeito do vento em edifícios de diferentes alturas. Fonte: Givoni, 1998.	56
Figura 30: Efeito do vento em diferentes arranjos urbanos. Fonte: Olgyay, 1998.	57
Figura 31: Diferenças edílicas entre os modelos. Fonte: Marques, 2003.	62
Figura 32: Utilização do anemômetro digital para efetuar medições na cidade do Recife. Fonte: Arquivo pessoal.	66
Figura 33: A imagem da esquerda é o túnel de vento do laboratório de conforto ambiental da Universidade Estadual de Campinas, a imagem da direita é a mesa d'água utilizada no laboratório de conforto da Universidade Federal de Alagoas. Fonte: Arquivo Pessoal.	67
Figura 34: a) Localização de Pernambuco no Brasil, b) localização de Recife na Região Metropolitana. Fonte: Elaboração própria adaptado de CONDEPE/FIDEM, 2011.	70
Figura 35: Média mensal de Temperatura máxima e mínima (°C), e média mensal de precipitação (mm) na cidade do Recife. Fonte: CONDEPE/FIDEM, 2011.	71
Figura 36: Média mensal da velocidade do vento em diferentes horas do dia, excluídos os períodos de calmaria, para a cidade de Recife/ PE. Fonte: Bittencourt, 1993 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	72
Figura 37: Frequência e direção do vento às 3h, às 9h, às 15h e às 21h para a cidade do Recife/PE. Fonte: Bittencourt, 1993 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	73
Figura 38: Frequência de direção do vento nas diferentes estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno). Fonte: Lamberts, et. al., 2004.	74
Figura 39: Frequência das velocidades do vento em Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro, às 3h, às 9h, às 15h e às 21h para a cidade de Recife. Fonte: Bittencourt, 1993 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	75

Figura 40: As diferentes formas de ocupação do solo segundo as legislações de 1919, 1961 e 1996. Fonte: Nóbrega et al. (2014).	76
Figura 41: Imagem de ocupação, segundo a legislação de 1919, Bairro de Santo Antônio. Fonte: Elaboração própria.	77
Figura 42: Imagem de ocupação, segundo a legislação vigente, bairro de Boa Viagem. Fonte: Elaboração própria.	79
Figura 43: a) Localização da Ilha Antônio Vaz, na cidade do Recife. b) Localização do Bairro de São José e da área do Cais José Estelita. Fonte: Elaboração própria adaptado de Prefeitura do Recife, 2013.	80
Figura 44: Mapa Holandês de 1655, do plano da cidade Maurícia. Destaca-se a urbanização das duas ilhas, a ponte Mauricio de Nassau e o Forte das Cinco Pontas. Fonte: Museu da cidade de Recife, 2013.	81
Figura 45: Bairro de Santo Antônio e São José, XIX. Fonte: Pontual e pereira, 2011.	82
Figura 46: A Estrada de ferro, que conectava Recife ao São Francisco. Fonte: Prefeitura do Recife, 2013.	82
Figura 47: Imagens da demolição do bairro de São José, para a abertura da Avenida Dantas Barreto.. Fonte: http://www.dpnet.com.br/vidaurbana/materias/2012/equivocos_urbanos/ (Diário de Pernambuco); http://www.panoramio.com/photo/3190571 , 2013.	83
Figura 48: O plano de gabaritos de 1965, dos Bairros de Santo Antônio e São José. Fonte: Pontual e Pereira, 2011.	84
Figura 49: Edifícios construídos na Avenida Dantas Barreto antes da aplicação do plano de gabaritos em 1965. Fonte: Arquivo Pessoal.	84
Figura 50: Mapa de zoneamento do projeto Recife Olinda. O cais José Estelita e o Cais de Santa Rita, estão marcados como áreas de intervenção do setor 4. Fonte: Adaptado de ALVES, et. al.,2008.	85
Figura 51: Maquete eletrônica, da proposta de ocupação para o setor 4. Fonte: Parque Expo, 2013.	86
Figura 52: Paisagem atual do Bairro de São José. Fonte: Arquivo Pessoal, 2013.	87
Figura 53: Imagem da Maquete eletrônica do projeto Novo Recife. Fonte: SOUTO, 2013.	88
Figura 54: Organização das quadras do Projeto Novo Recife Fonte: Consórcio Novo Recife, 2013.	88
Figura 55: Ação do movimento ocupe Estelita. Fonte: http://piiunicapmd3.blogspot.com.br/p/fotos.html , 2013.	93
Figura 56: Módulos que compõem o PHOENICS. Fonte: Elaboração própria adaptado de CHAM, 2010.	110
Figura 57: Dimensões do domínio e o objeto no modelo 1. Fonte: Elaboração própria	112
Figura 58: Esquema dos locais de entrada e saída do vento, nos modelos a 45° e a 90°. Fonte: Elaboração própria.	112

Figura 59: Esquema de gradiente de ventilação e tabela de velocidade do vento Sul. Fonte: Elaboração própria.....	114
Figura 60: Visualização do <i>grid</i> no PHOENICS. Fonte: Elaboração própria.	114
Figura 61: Tela que demonstra o cálculo do erro nas diferentes variáveis. Fonte: Elaboração Própria	115
Figura 62: Visualização dos resultados em módulo VR-Editor, na imagem da esquerda é a visualização por vetores e a imagem da direita por campos de velocidade. Fonte: Elaboração própria.....	116
Figura 63: Escala de velocidades. Fonte: elaboração própria.	128
Figura 64: Síntese das alterações ocorridas na velocidade inicial do vento Sudeste nos seis modelos a diferentes distâncias do solo. Fonte: Elaboração Própria.....	142
Figura 65: Síntese das alterações ocorridas na velocidade inicial do vento Sul nos seis modelos a diferentes distâncias do solo. Fonte: Elaboração Própria.....	143
Figura 66: Problemas durante a simulação. Fonte: Elaboração própria.....	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da baixa e da alta densidade. Fonte: Adaptado de Acioly e Davidson, 2011.....	16
Quadro 2: Diferentes combinações de densidades. Fonte: Elaboração própria.....	20
Quadro 3: Principais causas para a formação da ilha de calor. Fonte: Adaptado de Gartland, 2010 p.26	28
Quadro 4: Escala de Beaufort. Fonte: Elaboração própria adaptado de Prata, 2005...37	
Quadro 5: Coeficientes de terrenos para a equação do gradiente de vento. Fonte: Jackman, 1980 <i>apud</i> Bittencourt e Cândido, 2010.	46
Quadro 6: Coeficientes de terrenos para a equação do gradiente de vento. Fonte: Elaboração própria.....	47
Quadro 7: Principais efeitos da geometria do edifício sobre o comportamento do vento. Fonte: Elaboração própria adaptado de Leite, 2010, com base em Gandemer, 1978; Mascaró, 1991;Romero, 2013.....	54
Quadro 8: Principais efeitos da forma urbana sobre o comportamento do vento. Fonte: Elaboração própria adaptado de Leite, 2010, com base em Gandemer, 1978; Mascaró, 1991;Romero, 2013.	58
Quadro 9: Diferentes cenários de ocupação criados por Bittencourt et. al., 1997. Fonte: Bittencourt et. al., 1997	59
Quadro 10: Diferentes cenários de ocupação criados por Costa (2001). Fonte: Elaboração própria adaptado de Costa, 2001.	61
Quadro 11: Diferentes cenários elaborados por Peregrino (2005). Fonte: Peregrino, 2005.....	63
Quadro 12: Diferentes cenários elaborados por Leite (2010). Fonte: Leite, 2010.....	64
Quadro 13: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 1. Fonte: Elaboração própria.....	98
Quadro 14: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 2. Fonte: Elaboração própria.....	100
Quadro 15: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 3. Fonte: Elaboração própria.....	102
Quadro 16: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 4. Fonte: Elaboração própria.....	104
Quadro 17: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 5. Fonte: Elaboração própria.....	106
Quadro 18: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 6. Fonte: Elaboração própria.....	108
Quadro 19: Cálculo do domínio do modelo 1. Fonte: Elaboração própria com base na apostilha do PHOENICS	111

Quadro 20: Cálculo de coeficiente de rugosidade conforme o terreno. Fonte: Jackman, 1979 <i>apud</i> Adaptado de Bittencourt e Cândido, 2010.	113
Quadro 21: Parametros para a análise dos modelos à altura do pedestre. Fonte: Elaboração própria.	117
Quadro 22: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 1 a 1,5 metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	119
Quadro 23: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 2 a 1,5metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	120
Quadro 24: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 3 a 1,5metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	121
Quadro 25: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 4 a 1,5metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	122
Quadro 26: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 5 a 1,5metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	123
Quadro 27: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 6 a 1,5metros de distância do solo. Fonte: Elaboração Própria.	124
Quadro 28: Imagens dos modelos 1 e 2 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	129
Quadro 29: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 1 e 2, vento oriundo de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	130
Quadro 30: Imagens dos modelos 3 e 4 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	131
Quadro 31: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 3 e 4, vento oriundo de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	132
Quadro 32: Imagens dos modelos 5 e 6 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	133
Quadro 33: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 5 e 6 vento oriundo de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.....	134
Quadro 34: Imagens dos modelos 1 e 2 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. Fonte: Elaboração Própria.	135
Quadro 35: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 1 e 2, vento oriundo de Sul. Fonte: Elaboração Própria.....	136
Quadro 36: Imagens dos modelos 3 e 4 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. Fonte: Elaboração Própria.	137
Quadro 37: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 3 e 4, vento oriundo de Sul. Fonte: Elaboração Própria.....	138
Quadro 38: Imagens dos modelos 5 e 6 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. Fonte: Elaboração Própria.	139
Quadro 39: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 5 e 6, vento oriundo de Sul. Fonte: Elaboração própria.....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do clima quente e úmido e controle de conforto. Fonte: Elaboração própria adaptado de Romero, 2013.....	35
Tabela 2: Princípios bioclimáticos de ocupação urbana para o clima quente e úmido. Fonte: Elaboração própria adaptado de Romero, 2013 e Givoni, 1998.	36
Tabela 3: Efeitos do vento sobre as pessoas com base na escala de Beaufort. Fonte: Silva, 1999.	37
Tabela 4: Normais climatológicas do Recife 1961 – 1990. Média da temperatura máxima e mínima (°C); Média da Umidade relativa do ar (%); Média da Precipitação acumulada (mm); Média da direção e velocidade do vento a 10m de altitude (m/s). Fonte: Elaboração própria adaptado de INMET - Estação do Curado (longitude -35/ latitude -8.1).....	71
Tabela 5: Quadro resumo dos usos e das áreas propostos pelo projeto Novo Recife. Fonte: Consórcio Novo Recife, 2013.....	89
Tabela 6: Imagens atuais do Cais José Estelita, e área envolvente e imagens com a proposta do projeto Novo Recife. Fonte: Elaboração Própria.....	90
Tabela 7: Resumo dos modelos. Fonte: Elaboração Própria	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

ADT	Afastamentos das Divisas do Terreno
BRE	Building Research Establishment
CFD	Computational Fluid Dynamics
CHAM	Concentration, Heat & Momentum Limited
CLA	Camada Limite Atmosférica
D	Direção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LT	Litoral
MDV	Melhor Desempenho de Ventilação
m	Metros
mm	milímetros
m/s	Metros por segundos
OMP	Ocupação máxima permitida.
PD	Plano Diretor
PHOENICS	Parabolic, Hyperbolic or Elliptic Numerical Integration Code Series
Prec.	Precipitação
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RUROS	Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces
T. máx.	Temperatura máxima
T. min.	Temperatura min.
TQU	Tropical quente e úmido
TSN	Taxa de Solo Natural do Terreno
V	Velocidade
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
°C	Graus Célsius
μ	Coeficiente de Utilização do Terreno
%	Porcentagem

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. DENSIDADE X QUALIDADE DO ESPAÇO DA CIDADE	8
1.1. Modelo de desenvolvimento e qualidade ambiental	9
1.2. Relação entre densidade, forma urbana e legislação.	19
2. CLIMA, VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO	27
2.1. Conforto Térmico	32
2.2. Ventilação	38
2.2.2. Camada limite atmosférica	44
2.2.3. Alterações em meio urbano	48
2.2.4. Metodologias de análise	65
3. ESTUDO DE CASO - O CAIS JOSÉ ESTELITA, RECIFE.	69
3.1. Cidade do Recife.....	69
3.2. Área de estudo.....	79
3.2.1. Breve história do bairro de São José	80
3.2.2. Projeto Novo Recife	87
4. SIMULAÇÕES	96
4.1. Modelos	96
4.2. Software PHOENICS	110
4.3. Resultados das simulações.....	116
4.3.1. Análise de conforto térmico ao nível do pedestre.....	116
4.3.2. Análise do deslocamento do ar em diferentes alturas do solo.....	128
CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, o crescimento demográfico, o desenvolvimento tecnológico e a expansão econômica, baseada no modelo capitalista de consumo, conduziram a sociedade a construir um estilo de vida desprendido dos sistemas naturais. Este modo de apropriação e transformação da natureza originou graves desequilíbrios sociais e ambientais, que, por sua vez, impulsionaram um questionamento global sobre o modelo de urbanização, promovido desde as primeiras cidades industriais. Esta preocupação induziu, no início da década de 1960, a um **novo paradigma de crescimento**, no qual se defende que o desenvolvimento urbano deve ocorrer de forma sustentada, considerando os limites e os impactos sobre os ecossistemas, minimizando os desperdícios de energia e de matéria e atenuando as desigualdades e injustiças sociais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

Com base neste paradigma, diversos pesquisadores defendem que o modelo ideal de urbanização é a **cidade compacta**, caracterizada pela alta densidade populacional e construtiva, pela continuidade entre os espaços urbanos, pela multifuncionalidade de usos e pela diversidade tipológica. Deste modo, seria possível diminuir os impactos ambientais provocados pela expansão urbana, reduzir os gastos em infraestruturas e promover uma maior dinâmica cultural e social (ROGERS, 2012).

Para atender a estes requisitos, é necessária uma grande interação entre diversas áreas do conhecimento e, que existam estudos que auxiliem o planejamento urbano a encontrar a melhor forma de ocupação urbana. Nesse sentido, a climatologia e o urbanismo bioclimático têm contribuído para o entendimento das principais consequências da urbanização sobre o **clima urbano e o conforto humano**, delimitando diretrizes para a melhor forma de atuação do projetista e do planejador (OLIVEIRA 1988; BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007; HIGUERAS, 2006; ASSIS, 2006; OLGAYAY, 2002).

Assim, o **urbanismo bioclimático** se fundamenta no conhecimento das características climáticas locais para prescrever medidas que possam atenuar os efeitos nocivos da ação antrópica. Na cidade de Recife, o clima é caracterizado como tropical litorâneo quente e úmido, com temperaturas elevadas ao longo do dia e do ano, alto grau de umidade relativa do ar e muita precipitação, sobretudo nos meses de inverno (FREITAS, 2008). Para este tipo de clima, os princípios bioclimáticos indicam que a forma urbana mais apropriada, se baseia na reprodução do solo verticalmente, com afastamentos entre os edifícios, permitindo uma maior porosidade da malha, facilitando a circulação do vento entre as edificações, e liberando uma maior taxa de solo natural, para a infiltração da água da chuva (GIVONI, 1998; OLIVEIRA, 1988).

Contudo, medições realizadas por Freitas (2008), em uma área verticalizada da cidade de Recife, demonstraram uma grande variação de temperatura e da intensidade do vento num curto espaço físico. Essa situação sugere que a ocupação, feita nesta área da cidade, tem sido **inadequada às características climáticas**, podendo existir um super adensamento deste padrão de ocupação por verticalização, combinada à elevada taxa de ocupação do solo, o que prejudica a adequada movimentação do ar e dissipação do calor.

Na cidade do Recife, o aumento das temperaturas provoca desconforto térmico tanto nos espaços externos, quanto internos. Este fator, associado a outros problemas urbanos, como a insegurança e insalubridade, tem estimulado as pessoas a usufruírem cada vez menos dos espaços públicos e procurarem os espaços fechados climatizados, como os centros comerciais, impulsionando, assim, o consumo energético e intensificando os prejuízos ambientais, sociais e econômicos (HERZOG, 2013).

Vivemos encaixotados, com climatização permanente, para termos conforto e segurança. Acordamos em uma caixa de concreto, circulamos em outra caixa de metal, trabalhamos em uma caixa de concreto e vidro, nos divertimos em caixas de variados tamanhos e materiais, viajamos em caixas de metal movidas a motor de combustão ou a jato (HERZOG, 2013, p.100).

O **modelo de urbanização** adotado na cidade do Recife é semelhante à maioria das cidades brasileiras, em que a forma de ocupação urbana é definida por meio de parâmetros urbanísticos estabelecidos no plano diretor e na lei de uso e ocupação do solo. Algumas dessas normas, como a necessidade de estabelecer recuos e gabaritos, surgiram na época do higienismo, justamente com o intuito de garantir o conforto humano e a salubridade nos edifícios e nos espaços urbanos, com ventilação e iluminação natural (MARQUES, 2003). Porém, a falta de estudos, que relacionem as prescrições urbanísticas com as características climáticas da realidade local, torna o planejamento urbano e regional, contraditoriamente, um dos causadores de riscos ambientais (SILVA e ROMERO, 2011). Por isso, diversos autores defendem que, para além das informações descritivas de bioclimatologia, é necessário elaborar pesquisas exploratórias que possam contribuir com o avanço das prescrições urbanísticas (ASSIS, 2006; FERREIRA, 2009; PRATA, 2005; SILVA, 1999).

Este trabalho se propõe a fazer uma **pesquisa experimental em ventilação urbana** no clima quente e úmido da cidade do Recife. A escolha desta variável climática, em detrimento de outras, se deveu ao fato de a literatura especializada indicar a ventilação natural como a mais importante estratégia de conforto e de adequação energética em climas quentes e úmidos. Além disso, este elemento climático é o que mais rapidamente se modifica com a urbanização dos espaços e, por isso, merece especial atenção (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2010; ROMERO, 2013; GIVONI, 1998; OLGAYAY, 2002; OLIVEIRA, 1988).

Como **objeto de estudo empírico**, foi selecionada a área do cais José Estelita, no bairro de São José por diversos motivos. Em primeiro lugar, porque é uma grande área central na cidade do Recife (101.754m²) subutilizada, ociosa, com edificações abandonadas e degradadas, representando um grande vazio urbano. Em segundo lugar, porque o bairro de São José apresenta uma baixa densidade populacional (26,62 hab./ha, segundo o censo do IBGE 2010) se comparada com outros bairros da cidade, e pouca diversidade de usos (muito comércio/serviços e pouca moradia). Assim, esta área demonstra-se com um grande potencial para promover alguns dos princípios da

cidade compacta (alta densidade, continuidade de espaços urbanos, multifuncionalidade de usos, diversidade tipológica). Por fim, já existe uma proposta para a alteração deste terreno com a construção de um projeto intitulado de Novo Recife. Esse projeto contempla a construção de quinze edifícios com alturas que variam entre os vinte e os quarenta pavimentos, e tem gerado muita polêmica, sobretudo devido ao seu impacto na paisagem histórica da envolvente.

Tomando em consideração a área selecionada e o projeto Novo Recife, **foram criando seis modelos digitais** de possível ocupação urbana no programa PHOENICS VR 3.6.1 (CHAM, 2005), ferramenta de simulação baseada na dinâmica de fluidos computacionais (CFD). Os modelos analisados variam nos parâmetros de altura; porosidade dos edifícios (afastamento entre pavimentos); afastamento entre os edifícios; e densidade construtiva. Assim, esta pesquisa teve como **objetivo principal** analisar a interferência das edificações e da forma urbana na ventilação natural urbana (ver figura 1). Deste modo, aspira-se a aprofundar os conhecimentos de climatologia sobre os efeitos da urbanização no deslocamento do ar.

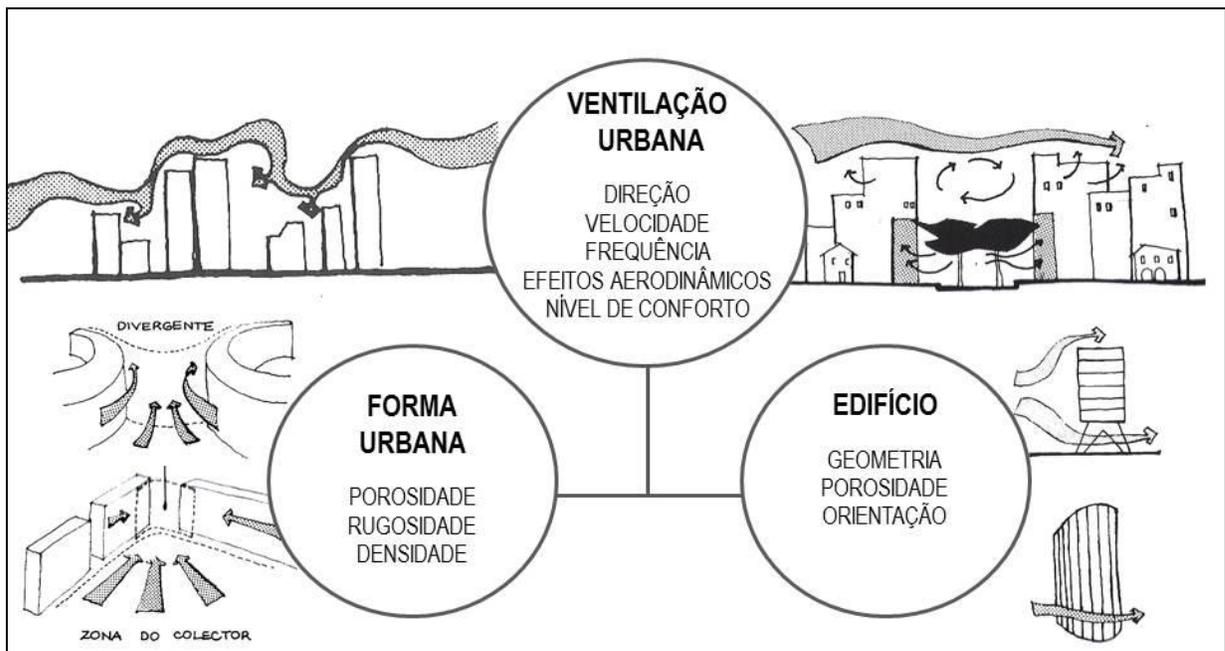


Figura 1: Relação entre forma urbana, edificação e ventilação natural. **Fonte:** Elaboração própria desenhos de Romero, 2013

Os **objetivos específicos** foram:

- Compreender as implicações do adensamento construtivo sobre a ventilação urbana no bairro São José;
- Estudar a relação entre ventilação e parâmetros que definem a forma urbana e do edifício, tais como afastamento entre as construções, verticalidade e porosidade;
- Avaliar a importância de simulações computacionais como método para a otimização de soluções de projeto.

O **método de abordagem** da pesquisa foi do tipo hipotético-dedutivo, em que foram lançadas as seguintes hipóteses:

- A redução da porosidade da malha, por meio da diminuição dos afastamentos laterais entre os edifícios, é mais prejudicial para a ventilação urbana, do que o aumento da rugosidade pela elevação da altura das edificações;
- O aumento da porosidade vertical (afastamento entre pavimentos) melhora a circulação do vento a sotavento do edifício;
- A redução da densidade construtiva, unicamente por meio da limitação da altura dos edifícios, não garante a melhoria da ventilação urbana;

O **trabalho envolveu as seguintes etapas**:

A) Pesquisa bibliográfica: Foi efetuado um levantamento abrangente de várias fontes de informação, para compreender não só os efeitos da ventilação urbana, mas também a sua integração na questão urbana e ambiental. Foram analisados textos, artigos, dissertações, teses e livros que falam sobre o processo de urbanização das cidades, a relação entre forma urbana e a sustentabilidade, o papel do planejamento urbano no clima urbano e as modificações que ocorrem na ventilação natural em meio urbano. Além disso, foram selecionadas as informações que colaborassem para o entendimento do crescimento urbano da cidade do Recife, para a caracterização climática da área e para o aprofundamento do conhecimento da área de estudo.

Analisando a legislação vigente, as normais climatológicas de Recife e as informações sobre o projeto Novo Recife.

B) Pesquisa de Campo: Esta etapa consistiu em visitas à área de estudo, para compreender a vivência, a dinâmica, a história do bairro em que se integra e a exposição do local aos ventos dominantes, com o auxílio de uma bússola. Foram assistidos, alguns debates e protestos que versaram sobre o projeto Novo Recife, para depreender o processo de transformação que está a ser proposto para aquela área. Para além das visitas ao local de estudo, foram realizadas viagens aos laboratórios de conforto ambiental da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), para se obter mais informações sobre as metodologias de análise de ventilação e, assim, escolher, com maior conhecimento, a ferramenta a ser utilizada nesta pesquisa.

C) Pesquisa experimental: Esta fase se iniciou com a aprendizagem do programa de dinâmica de fluidos PHOENICS, VR 3.6.1, da empresa CHAM. A escolha deste *software* se deveu ao seu reconhecimento na área acadêmica, tendo sido utilizado em diversas pesquisas de ventilação interna e externa (COSTA, 2001; CÂNDIDO, 2006; MARQUES, 2003; SACRAMENTO, 2012), e à sua maior facilidade de acesso e manipulação. Após algumas experiências iniciais com o programa, iniciou-se a fase de modelação dos seis cenários de ocupação do solo.

A estrutura da dissertação foi delineada de modo a construir uma sequência lógica:

A **Introdução** faz um breve enquadramento geral do universo de estudo, esclarecendo qual o problema de pesquisa, o objeto de estudo teórico e empírico, os objetivos gerais e específicos, a metodologia, os procedimentos e a estrutura de organização da dissertação.

O **primeiro capítulo** foi dividido em dois subcapítulos: no primeiro, são apresentados os principais modelos de ocupação urbana que se preocuparam com a qualidade

ambiental do espaço construído; no segundo, são aprofundados os estudos entre densidade, forma urbana e legislação, a fim de compreender como esses aspectos influenciam na produção do espaço e na qualidade do mesmo.

No **segundo capítulo**, é apresentada a fundamentação teórica referente à climatologia urbana. O capítulo foi organizado em dois subcapítulos, começando por abordar a relação entre o clima, o planejamento da forma urbana e o conforto; e posteriormente referindo as características globais de circulação do vento e as modificações que ocorrem na circulação do ar em meio urbano. Mencionando o estado da arte em pesquisas de ventilação urbana no Brasil e as metodologias adotadas pelos diferentes autores.

O **terceiro capítulo** consiste na caracterização da área de estudo e foi distribuído em dois subcapítulos. O primeiro faz um breve enquadramento da cidade do Recife, com a descrição do crescimento da cidade, da legislação vigente e da caracterização climática. No subcapítulo seguinte é aprofundado o conhecimento sobre a área de estudo, mencionada a história do bairro de São José, as características da área de estudo e da proposta do projeto Novo Recife.

O **quarto capítulo** expõe a metodologia utilizada na pesquisa e a análise dos resultados obtidos nas simulações, ao longo de três subcapítulos. Inicialmente são especificadas as características de cada modelo simulado. Em seguida, são explicitados os passos necessários para se elaborar o modelo no programa de dinâmica de fluidos (CDF), PHOENICS VR 3.6.1. Por fim, são apresentadas as análises dos resultados obtidos nas simulações, ao nível do pedestre e a nível urbano.

As **considerações finais** apresentam uma reflexão sobre os resultados obtidos na pesquisa e de que forma os objetivos iniciais foram alcançados. Para além de mencionarem as limitações encontradas na pesquisa e as recomendações para outros estudos futuros, que possam contribuir para um maior entendimento dos efeitos da urbanização sobre a ventilação natural e o conforto térmico.

1. DENSIDADE X QUALIDADE DO ESPAÇO DA CIDADE

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2008, mais de metade da população mundial já habitava em áreas urbanas e é estimado que esta percentagem continue a aumentar. No Brasil, estas transformações urbanas se acentuaram nos últimos sessenta anos. Se em 1945 a população urbana representava 25% de uma população total de 45 milhões, em 2000 a proporção de urbanização passou para 82% sob um total de 169 milhões (RATTNER, 2009 *apud* ROMERO e SILVA, 2011). O acelerado crescimento urbano, aliado às mudanças nos padrões de consumo da população, e à incapacidade regulatória dos Estados Nacionais de planejar o desenvolvimento das cidades, conduziu ao aumento do **desequilíbrio socioambiental**, à superexploração dos recursos, à modificação do clima em meio urbano e à redução da qualidade de vida urbana (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

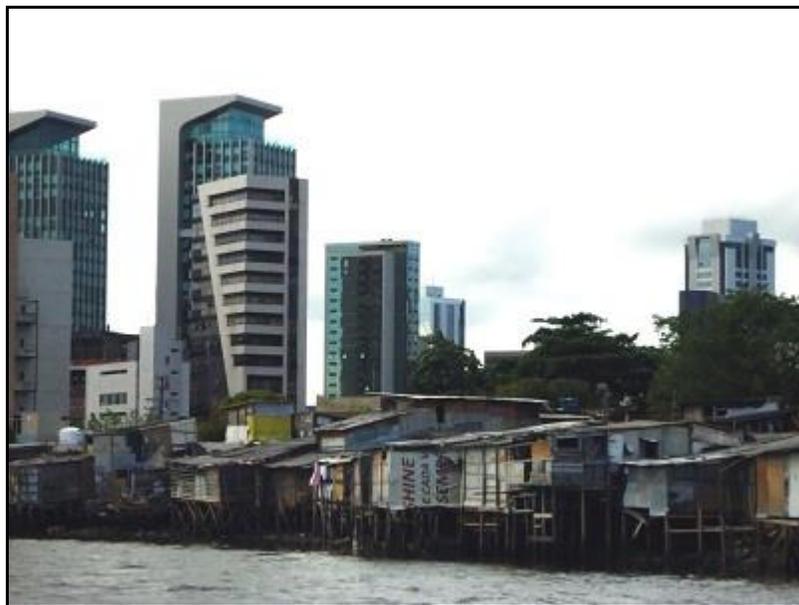


Figura 2: Desequilíbrios na cidade do Recife. **Fonte:** Arquivo Pessoal.

A região metropolitana do Recife se enquadra neste modelo de transformação urbana exacerbada, especialmente a partir da década de 1950, apresentando um grave quadro

de patologias socioambientais que têm comprometido o regular funcionamento da cidade e a qualidade de vida dos cidadãos. Apesar disso, a urbe continua a crescer, passando por um intenso processo de expansão urbana para as cidades vizinhas e um grande adensamento vertical, sobretudo junto às margens do rio, do mar e das áreas verdes (BARROS e LOMBARDO, 2013).

Segundo Higuera (2006), as características formais e físicas dos elementos que compõem a cidade provocam modificações no clima, originando vários microclimas urbanos. Para compreender melhor os elementos que atuam na modificação do espaço urbano, este capítulo foi subdividido em duas partes. Na primeira, são abordadas as principais correntes urbanísticas após a revolução industrial, que pretenderam promover uma melhoria na qualidade ambiental das cidades industrializadas. No segundo é aprofundando o estudo entre a densidade de ocupação do solo urbano e a forma urbana, que, segundo Freitas (2008), é um dos principais fatores para a determinação da qualidade ambiental. Por fim, é apresentada a forma de atuação dos principais agentes transformadores do espaço urbano de modo a compreender como as decisões são tomadas e efetivadas.

1.1. Modelo de desenvolvimento e qualidade ambiental

Desde a primeira Revolução Industrial, em meados do século XVIII, que a taxa de urbanização no mundo vem aumentando exponencialmente. As mudanças que ocorreram nos padrões de produção, distribuição e de consumo revolucionaram o nosso modo de vida. Desde então, houve um progressivo abandono dos métodos tradicionais de subsistência em meio rural e a busca por um novo modo de sustento em meio urbano. Mas, o acelerado crescimento urbano veio provocar inúmeras patologias ambientais, tais como insalubridade, **poluição atmosférica e alterações climáticas**, que afetaram diretamente a qualidade de vida da população. Herzog (2013) descreve

as condições miseráveis da cidade de Londres ao atingir um milhão de habitantes no final do século XVIII:

O esgoto escorria a céu aberto nas vias extremamente densas, com construções sem ventilação e sem espaço para atividades ao ar livre. A poluição generalizada do ar, do solo, das águas e os surtos de doenças, como cólera, afetavam todas as camadas sociais, com baixíssima qualidade de vida urbana (HERZOG, 2013, p. 40).

As primeiras modificações urbanas significativas, que tinham como objetivo melhorar o grave quadro epidemiológico desenvolvido nas grandes cidades europeias industrializadas, ocorreram no século XIX, em Londres e Paris, onde se iniciou o **movimento higienista e sanitarista**. Este movimento teve origem nos conhecimentos de medicina sobre saúde pública e algumas das medidas adotadas resultaram na prescrição de normas urbanísticas que garantissem o adequado saneamento das ruas e das edificações. Dentro de outras medidas, promoveu a edificação de largas avenidas, por onde o vento pudesse circular e dispersar os poluentes, e a limitação da altura dos edifícios em relação à largura da rua, para garantir iluminação natural em todos os edifícios, para além do adequado tratamento do esgoto. Estas medidas contribuíram para reduzir a propagação das doenças e melhoraram a qualidade ambiental das cidades (BRANDÃO, 2009).

Uma das intervenções mais famosas de meados do século XIX, que teve como base as teorias do higienismo, aliada a princípios estéticos e a manobras militares, foi realizada pelo prefeito Georges-Eugène Haussmann na cidade de Paris. A intervenção resultou na demolição de grande parte do tecido urbano da cidade para a abertura de grandes avenidas (*boulevards*) e de parques que iriam proporcionar uma nova ordem na cidade (HERZOG, 2013). Este modelo de (des)ocupação do território, espalhou-se por várias cidades do mundo, no início do século XX, e provocou profundas transformações em algumas capitais Brasileiras, como o Recife, com a criação do plano de reforma dos bairros históricos do Recife, Santo António e São José que será aprofundado no capítulo 3 (PONTUAL e PEREIRA, 2011).

Mas, as precárias condições de vida urbana geraram, igualmente neste período, um processo de suburbanização, com a expansão da cidade para o espaço rural, provocado tanto pela população abastada que procurava melhores condições de vida junto da natureza, quanto pela população operária que não tinha condições financeiras para morar nos centros urbanos (FREITAS, 2008).

Como uma reação à insalubridade das vilas operárias, vários foram aqueles que promoveram ideias que defendiam a descentralização da cidade, a **redução da densidade** e a promoção da vida rural. (...) Os subúrbios começaram a adquirir um novo sentido, além do rural, sendo procurado por aqueles que tinham condições de fugir da cidade caótica (FREITAS, 2008, p.154).

Um dos principais defensores da dispersão da cidade foi Ebenezer Howard, que propôs, no seu livro *Garden Cities of To-morrow*, de 1902, um modelo de ocupação urbana que **aliava os benefícios da cidade aos do campo**. Segundo o autor, as cidades deveriam se organizar em uma estrutura circular, com um núcleo central e vários anéis concêntricos em volta, ligados através de grandes avenidas. Os usos seriam distribuídos e divididos para evitar a mistura das atividades de trabalho, descanso e lazer. Assim, as pessoas poderiam usufruir de amplos espaços verdes junto da sua casa, beneficiando-se com o ar puro e a tranquilidade do campo ao mesmo tempo em que teriam as oportunidades de emprego, bons salários e novas relações sociais providas pela cidade (HOWARD e OTTI, 1996). Para garantir a permanência desta qualidade de vida, Howard propôs que a **densidade populacional fosse controlada** e, quando excedesse o limite estabelecido, fosse construída outra cidade seguindo os mesmos princípios nas proximidades – chamada de cidade satélite. Esse modelo foi aplicado na cidade de Letchworth na Inglaterra, (re)adaptado em várias cidades do mundo, a partir de 1920, mas sobretudo nas cidades dos Estados Unidos da América (HERZOG, 2013). No Brasil, o primeiro modelo de cidade Jardim a ser concluído, foi o Jardim América na cidade de São Paulo. (ANDRADE, 2013)

Em 1930, Le Corbusier, propôs um modelo de cidade que parte da proposta conceitual de Howard, no entanto foi projetado para acomodar um elevado número de pessoas (JACOBS, 2001). Esse **aumento de densidade populacional**, aliado à proposta de

providenciar grandes áreas verdes, só foi possível devido aos avanços tecnológicos da época, que permitiram a construção de várias unidades habitacionais no mesmo lote **por meio da verticalização**. Desta forma, pode-se dizer que o aparecimento dos novos materiais de construção, como o concreto e o aço, a invenção de um sistema mecânico de transporte vertical (o elevador) e a popularização do automóvel influenciaram fortemente a visão de cidade ideal concebida por Le Corbusier, à qual denominou de **Ville Radieuse** (FREITAS, 2008). A cidade de Le Corbusier ficou conhecida como a cidade das torres, porque propunha que apenas cinco por cento do solo fosse ocupado e que toda a dinâmica urbana se desenvolvesse verticalmente. Defendia que só o arquiteto e urbanista deveria intervir nos destinos da cidade, pois só este tinha competências para dividir racionalmente a cidade por setores de modo a garantir a qualidade dos espaços urbanos (HALL, 2005).

Sua proposta, cristalizada na Carta de Atenas em 1933, propõe uma organização urbana totalmente funcional, com separação rígida de atividades e um resultado formal consistente: edificações isoladas, afastadas umas das outras para proporcionar ventilação e insolação adequadas, entremeadas por espaços verdes, totalmente livres da circulação de automóveis (Brandão, 2009 p.35).

Com uma visão oposta à de Howard, que via a construção da cidade de uma maneira ordenada, mas orgânica, Le Corbusier tinha uma visão mecanicista de aproveitamento racional do solo. Influenciado por algumas ideias marxistas, defendeu que as pessoas deviam ser vistas como iguais. A casa, segundo o seu ponto de vista, deveria ser a máquina de morar, construída para abrigar as massas (HALL, 2005). *La Ville Radieuse* nunca chegou a ser construída; o exemplar mais próximo a esses ideais é a cidade de Brasília, projetada pelo arquiteto Lúcio Costa.

No início da década de 1960, ambos os modelos de Howard e de Le Corbusier foram duramente criticados por Jane Jacobs (2001), uma jornalista de Nova Iorque, que analisou as mudanças na dinâmica urbana de diversas cidades nos Estados Unidos. Segundo Jacobs (2001), o modelo de cidade-jardim promoveu a descentralização das cidades, o espraiamento da população e das empresas, eliminou a vivência da rua e a troca sociocultural, que são essenciais para a **vitalidade urbana**. Para a autora, o

modelo de Corbusier possui os mesmos problemas de “anticidade” da cidade-jardim, reunindo todas essas mazelas em edifícios verticais. Segundo Jacobs (2001), o zoneamento de usos e o desenho urbano, à escala do automóvel promoveram a construção de espaços esvaziados de pessoas, com pouca dinâmica trazendo mais insegurança para a rua. A autora defendeu que as **idades devam ser mais densas, com diversidade de usos** em cada bairro para que estes tivessem vida a diferentes horas do dia (FREITAS, 2008). Embora sua crítica tenha sido feita na década de 1960, continua a ser muito atual, visto que estes modelos ainda influenciam a construção das cidades (HALL, 2005).

Hoje, praticamente todos os projetistas urbanos requintados harmonizam vários aspectos das duas concepções. A técnica de reurbanização que leva nomes variados, como “remoção seletiva” ou “Revitalização localizada” ou plano de revitalização ou conservação planejada (...) é uma artimanha para ver quantos prédios antigos serão mantidos de pé e ainda assim converter o local numa versão aceitável da cidade-jardim Radieuse (JACOBS, 2001, p.24).

Jacobs (2001) criticou os fundamentos do urbanismo praticado nos últimos 50 anos e influenciou o planejamento urbano posterior, demonstrou que o urbanismo não pode ser feito apenas com a visão do arquiteto.

Essa nova forma de pensar a arquitetura e o urbanismo, ganhou força quando a teoria geral dos sistemas, do biólogo alemão Ludwig Von Bertalanffy, começou a ser utilizada em várias áreas do conhecimento para analisar e compreender a realidade empírica. Em vez de observar separadamente as partes de um sistema, ele propunha analisar as partes e as suas ligações. Numa visão oposta à reducionista-mecanicista – que até então teria levado a observar a realidade segundo os pressupostos da simplicidade (é simples compreender as partes, logo é possível compreender o todo), da estabilidade (crença de que o mundo é estável) e da objetividade (crença de que é possível conhecer a realidade tal como ela é) – o **pensamento sistêmico** parte do pressuposto da complexidade (as inter-relações dos sistemas são complexas), da instabilidade (tudo se transforma e é imprevisível) e da intersubjetividade (reconhece que não existe uma realidade independente do observador) (VASCONCELOS, 2003).

Este direcionamento da ciência possibilitou observar o mundo como um sistema integrado. Resgatando a teoria dos ecossistemas, as cidades passaram a ser compreendidas como um metabolismo com entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), onde, a **cidade industrial havia produzido um sistema linear** de transformação, apropriação e descarte da matéria-prima, promovendo uma exploração predatória da natureza gerando grandes modificações na superfície da terra, na composição do ar e do mar (ROGERS, 2012).

Essa visão possibilitou compreender que os modelos de desenvolvimento que vinham sendo aplicados desde a primeira Revolução Industrial, aliados ao padrão de crescimento populacional¹ e econômico, iriam levar a uma **situação insustentável** para o futuro da existência humana no planeta. Tendo-se constatado que seria inaceitável manter o mesmo padrão de consumo das grandes economias capitalistas sem resolver os problemas sociais e ambientais do mundo cada vez mais globalizado (VIOLA, 1991 *apud* LEITE, 2010).

Foi diante deste panorama que, a partir da década de 1970, iniciaram-se diversas pesquisas sobre um **novo paradigma de crescimento**. A primeira publicação realizada sobre este tema foi concebida pelo Clube de Roma. Este grupo propôs impor **limites ao crescimento populacional e econômico** para reduzir os danos ambientais. Porém foi contraposto principalmente pelos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, por não considerar as disparidades de consumo pelo mundo (MADUREIRA, 2005). No mesmo ano com uma postura diferente, foi proferida a primeira conferência mundial das Nações Unidas, na cidade de Estocolmo, na qual se defendeu que o crescimento econômico deveria ser **limitado pelas condições ambientais** (SACHS, 1981).

Apesar de este ser um tema ser amplamente discutido, a multidisciplinaridade de abordagens e a complexidade do problema originaram inúmeras (in) definições para este novo modelo de crescimento que, foi denominado a partir de 1980 como – modelo

¹ Acentuou-se, principalmente, a partir da década de 1950, com a queda do índice de mortalidade, o aumento da taxa de natalidade e com o aumento da esperança média de vida.

de **desenvolvimento sustentável** (MADUREIRA, 2005). No entanto, destacam-se as três dimensões referenciadas no relatório de Brundtland² (1987), por ser considerado o **tripé de equilíbrio da sustentabilidade: eficiência econômica; justiça social; prudência ecológica** (SACHS, 1981).

Para além desta definição o relatório de Brundtland também formalizou o conceito de desenvolvimento sustentável mais utilizado até os dias de hoje. “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p.46). Madureira (2005) afirma que o consenso gerado nesta definição esteve relacionado com a própria imprecisão.

No entanto, a partir do Eco 92³, o desenvolvimento sustentável torna-se um princípio incontornável, tendo gerado vários documentos que definem metas e objetivos a cumprir por cada nação (SACHS, 1981). Dos quais, destaca-se a Agenda 21 global, que deu origem à Agenda 21 de cada país e de cada local, estabelecendo um pacto de mudança global, que atribui responsabilidades em todas as esferas da sociedade (MADUREIRA, 2005). Nos anos que se seguiram, através da conferência Habitat II (1996), ficou claro que o futuro da sustentabilidade depende muito das soluções urbanas, visto que é nas cidades que vive a maior parte da população do mundo, e é onde se consome a maior parte dos recursos naturais e da energia (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

Deste modo, para ir de acordo com o modelo económico vigente e ao mesmo tempo difundir a sustentabilidade urbana, passou-se a promover o **uso eficiente dos recursos e a redução dos impactos antrópicos** sobre os sistemas naturais.

² Organizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, composta por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento e que originou o documento *Our Common Future*, também conhecido por relatório de Brundtland, por ter sido coordenado pela então primeiro-ministro da Noruega Gro Harlem Brundtland,

³ Conferência de meio ambiente, realizada pelas Nações Unidas, no Rio de Janeiro, 20 anos depois da primeira conferência em Estocolmo em 1972. Representantes de cento e oito países do mundo reuniram-se para decidir que medidas tomar para conseguir diminuir a degradação ambiental.

Propondo a diminuição do consumo de energias não renováveis, o incentivo no uso das energias renováveis (solar, eólica, hídrica, entre outras). Procurando um desenho urbano mais eficiente para responder aos desafios da sustentabilidade, mantendo o padrão de qualidade de vida da população.

Perante este panorama, um vasto grupo de arquitetos e urbanista defende, o **modelo de cidade compacta em oposição ao modelo de cidade dispersa**, promovido por Howard e seus seguidores (ver Quadro 1). Este modelo de ocupação urbana é definido com as seguintes características: alta densidade populacional; diversidade de usos, estilos e tamanhos de edifícios; quadras pequenas (em oposição às superquadras de Le Corbusier); espaços urbanos contínuos (sem vazios urbanos); desenho urbano à escala humana no qual a rua desempenha um papel fundamental na vitalidade urbana, como havia sido defendido por Jane Jacobs (ROGERS, 2012; GEHL, 2013).

	Cidade Dispersa - Baixa Densidade	Cidade Compacta - Alta densidade
Vantagens	Possibilidade de saneamento de baixo custo; Mais silêncio e tranquilidade; Menos poluição.	Eficiência na oferta de infraestrutura; Uso eficiente da terra; Geração de receitas; Vitalidade urbana; Maior controle social; Economias de escala; Facilidade de acesso aos consumidores; Maior acessibilidade ao emprego.
Desvantagens	Excesso de consumo de terra e de infraestrutura; Altos custos e precariedade do transporte público; Pouca acessibilidade aos serviços públicos.	Congestionamento e saturação dos espaços; Maior risco de degradação ambiental; Sobrecarga das infraestruturas; Poluição; Criminalidade.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da baixa e da alta densidade. **Fonte:** Adaptado de Acioly e Davidson, 2011.

Rogers (2012) sugere que as cidades tenham vários núcleos compactos com uso misto, chamados de **unidades de vizinhança**, onde diversas atividades diárias podem ser realizadas em pequenos deslocamentos a pé ou de bicicleta, dando maior vivência à rua, melhorando a condição de saúde das pessoas. Criticando o zoneamento funcional proposto por Howard e Le Corbusier, pela sua ineficiência e defendendo uma cidade policêntrica, interligada por uma eficiente rede de transportes públicos (ver figura 3).

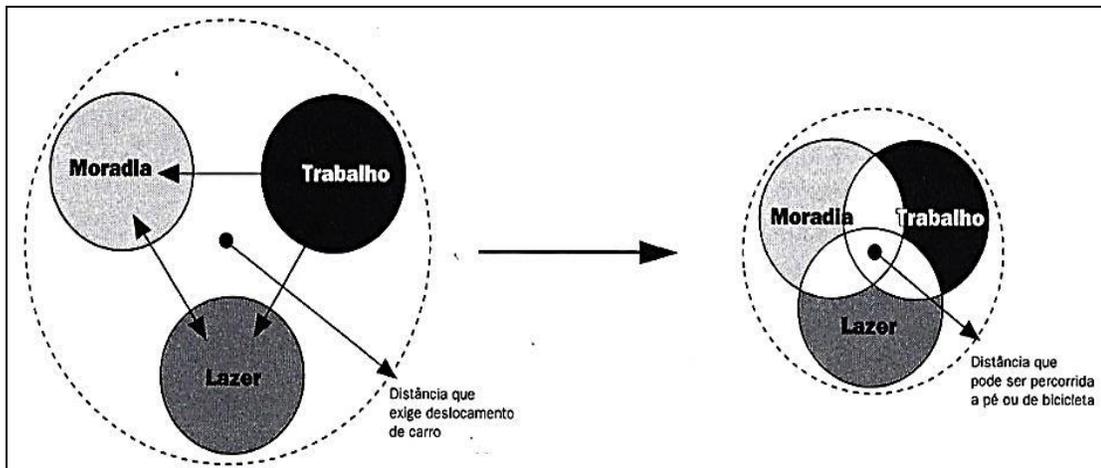


Figura 3: Esquema representativo de distribuição de usos em cada um dos modelos. O da esquerda representa o zoneamento funcional, e o da direita as unidades de vizinhança. **Fonte:** Rogers, 2012.

A maior parte dos estudiosos se demonstra a favor da cidade compacta. Contudo, não existe um consenso de quanto a cidade deve adensar. Entre os defensores do **híper adensamento e da híper verticalização**, estão o economista Edward Glaeser (2011) e o arquiteto Vishaan Chakrabart (2013), que acreditam que quanto mais densa é a cidade, mais sustentável, porque torna economicamente viável investir em grandes transportes de massas como o trem e o metrô, ambos menos poluentes. Além disso, concentram um maior número de pessoas num pequeno espaço físico, possibilitando mais interações sociais que fomentam a criatividade e o surgimento de novas economias. Em uma pesquisa elaborada no laboratório de física teórica, do Santa Fé Institute, foram avaliados vários indicadores econômicos, sociais e demográficos em diversas cidades do mundo e conclui-se que, em média, quando se duplica a densidade populacional de uma cidade, aumentam-se os indicadores de inovação, produtividade, insegurança e saúde em 15%, numa correlação acima da média a que eles chamam de **escala superlinear** (SANTA FÉ INSTITUTE, 2010).

Baseado nesse estudo, o laboratório de física aplicada do Massachusetts Institute of Technology (MIT) organizou uma pesquisa de campo para tentar compreender a relação entre os indicadores. Dessa análise concluíram que o aumento da produtividade econômica ocorre por causa do **aumento das interações pessoais cara-a-cara** e que, nos países em desenvolvimento, pela infraestrutura de transporte

ser mais precária, as pessoas têm menos oportunidade de interagir fora do seu grupo do que numa cidade Europeia com a mesma densidade (HARDESTY, 2013). Apontando, que o aumento da densidade não implica necessariamente em um aumento da produtividade. Vai depender do contexto e da **capacidade de suporte da infraestrutura** de transportes em que se insere. Se ultrapassar a densidade desejada, pode gerar uma anti-economia.

McMahon (2012) vai mais longe e explica que o mais importante é o **sentimento de pertencimento** do bairro e a união das comunidades. Segundo o autor, as comunidades com os maiores níveis de apego apresentaram economias mais fortes. Desta forma, o mais importante não é a hiper-densidade em si, mas planejar ambientes que são edificantes e memoráveis. Nesse sentido, Lapa (2011) reforça a importância em preservar a memória do lugar, sugerindo que as novas construções devem considerar a relação com paisagem envolvente.

Para Richard Florida (2013), a hiper verticalização pode converter a cidade em **subúrbios verticais**, defendendo bairros mistos de altura mediana que estimulam a interação na rua. Gehl (2013) acrescenta que as pessoas deixam de ter relação com a cidade a partir do quinto pavimento e que o mais importante para garantir a qualidade de vida e a sustentabilidade é um desenho urbano adequado à escala humana.

O conhecimento dos diferentes posicionamentos dos autores acima quanto ao modelo de cidade sustentável é importante para entender os rumos do desenvolvimento urbano, pois cidade é complexa e deve ser entendida como um todo, considerando diversos pontos vista e não apenas sob a ótica do bioclimática.

A partir das diferentes colocações é possível reconhecer a importância do conceito de densidade na definição da ocupação sustentável. O próximo subcapítulo aprofunda a relação entre densidade e forma urbana e de que forma as leis de uso e ocupação do solo definem os padrões de crescimento da cidade.

1.2. Relação entre densidade, forma urbana e legislação.

A densidade é uma unidade de medida que se refere, de maneira geral, à quantidade de matéria em um determinado espaço físico (FREITAS, 2008). Segundo Acioly & Davidson (2011), existem vários tipos de densidade. Em urbanismo, as unidades mais comumente utilizadas, são:

- **Densidade Populacional:** indica o número total de pessoas residindo em uma determinada área urbana. A unidade de medida é geralmente revelada em habitantes por hectare. (hab./ha);
- **Densidade Construtiva:** expressa o total de área bruta⁴ construída em uma determinada área urbana. A unidade de medida é geralmente em metros quadrados por hectare. (m²/ha);
- **Densidade habitacional:** aponta o total de unidades habitacionais construídas em uma determinada área urbana. A unidade de medida é usualmente apresentada em unidades habitacionais por hectare. (Unidades/ ha).

A conjugação destas três unidades de medida pode dar origem a várias formas de ocupação urbana. Ou seja, a alta densidade construtiva não se traduz necessariamente em uma grande densidade populacional ou em um grande número de unidades habitacionais. Para exemplificar como estes diferentes parâmetros se relacionam, gerando diferentes tipos de unidade de vizinhança (ver figura 4). Seguindo o mesmo princípio, foi gerada uma tabela que apresenta a relação entre os diferentes tipos de densidades e a forma urbana resultante no Recife (ver quadro 2).

⁴ é a superfície total, medida pelo perímetro exterior, contabilizando também as áreas livres.

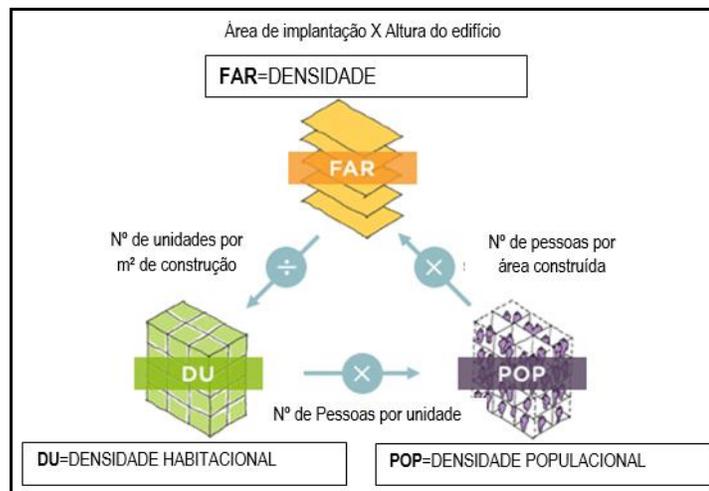


Figura 4: Relação entre os principais indicadores urbanos de densidade. **Fonte:** Adaptado de Massachusetts Institute of Technology, 2014.

Gráfico	Descrição	Exemplos em Recife
	<p>Grande densidade construtiva populacional e habitacional</p> <p>Situação encontrada tanto em bairros centrais, ou em novas expansões. Edifícios altos, com várias unidades e com um grande contingente populacional.</p>	
	<p>Baixa densidade construtiva populacional e habitacional</p> <p>Situação encontrada em bairros com poucas casas e muita área arborizada, ou em locais com prédios com poucos pavimentos dispersos no território.</p>	
	<p>Grande densidade construtiva/ Baixa densidade populacional e habitacional</p> <p>Situação encontrada em bairros de luxo (horizontais e verticais). As áreas internas são maiores e o número de habitantes é menor. E em bairros especializados de comércio e serviços, porque não agregam muitas pessoas habitando no local.</p>	
	<p>Baixa densidade construtiva/ Elevada densidade populacional e habitacional</p> <p>Situação encontrada na maioria dos bairros populares. Grande ocupação de área de solo, com um elevado número de pessoas a habitar na mesma casa.</p>	

Quadro 2: Diferentes combinações de densidades. **Fonte:** Elaboração própria.

O bairro de Boa viagem, das Graças e do Espinheiro apresentam uma **alta densidade construtiva e populacional**. No entanto, se comparar com os mais populosos da cidade de Recife é possível denotar uma grande diferença no número de habitantes e no modelo de ocupação urbana. Os bairros com maior densidade populacional são: a Mangabeira (240,43 hab./ha), a Mangueira (269,45 hab./ha); Brasília Teimosa (302,81 hab./ha) e Alto José do Pinho (298,40 hab./ha) (PREFEITURA DO RECIFE, 2013b). O bairro de Boa Viagem têm praticamente metade da densidade populacional (163,17 hab./ha) e quase o dobro da densidade construtiva (5626,03m²/ha) (FREITAS, 2008).

Esta situação ocorre porque a densidade construtiva considera a área bruta e isso inclui as áreas cedidas para a infraestrutura ou destinadas para outros usos (comercio, serviços, lazer), que, por sua vez, são elementos que normalmente têm em menos quantidade nos bairros populares. Além disso, na avenida de Boa Viagem encontram-se algumas das pessoas com maior poder aquisitivo e, por isso, os espaços internos são mais amplos. Assim, temos áreas densamente construídas que não agregam um contingente populacional tão alto.

Os bairros do centro da cidade, como o bairro do Recife (2,23 hab/ha), bairro de Santo Antônio (3,53 hab/ha), por terem um uso quase exclusivo para comercio, serviços e equipamentos, também apresentam uma alta densidade construtiva com poucos habitantes residindo. Já os bairros de Apipucos (25,01 hab/ha), Dois irmãos (4,39 hab./ha) tem uma **baixa densidade construtiva e populacional** porque ambos têm grandes áreas de preservação ambiental (PREFEITURA DO RECIFE, 2013b).

A partir destes exemplos, já é possível constatar que existem várias formas de adensar. No caso de Boa Viagem, o adensamento foi feito principalmente através da reprodução do solo verticalmente, enquanto, nos bairros populares de Brasília Teimosa; ou Alto José dos Pinhós, a ocupação é usualmente horizontal, com o agrupamento de várias casas de 1 a 3 pavimentos com grande taxa de ocupação do solo e poucos espaçamentos entre as construções. A figura 5 demonstra **várias formas de ocupação do espaço** com uma densidade construtiva semelhante.

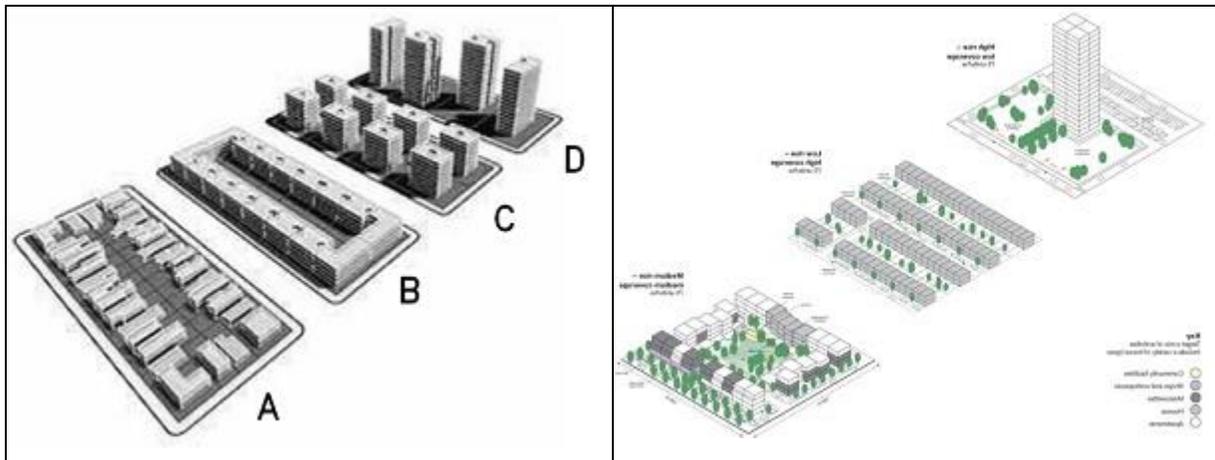


Figura 5: Diferentes formas urbanas com densidade construíta semelhante. **Fonte:** Freitas, 2008 e <<http://seresurbanos.blogfolha.uol.com.br/2014/03/20/predios-de-oito-andares-podem-deixar-a-cidade-mais-densa-do-que-espigoes/>>

Através desta análise é possível verificar que mesmo trabalhando só com um parâmetro de densidade é possível propor diversas formas de ocupação do solo (ver figura 5). Uma disponibilizando maiores taxas de solo natural, e maior verticalização, outras com maior percentagem de ocupação de solo e com reduzidos afastamentos entre si.

Fouchier (1997 *apud* Freitas, 2008) existem mais duas densidades muito importantes que se relacionam com a forma urbana e que atuam na percepção humana de densidade, são:

- **Densidade percebida não social:** relaciona-se com a percepção individual do que é densidade considerando a forma urbana e os aspetos paisagísticos. Por exemplo, as pessoas tendem a associar formas urbanas verticais a uma maior densidade do que as formas urbanas horizontais, contudo, como foi demonstrado nos exemplos acima, isso não corresponde necessariamente à realidade;
- **Densidade percebida social:** relaciona-se com a percepção pessoal do número de pessoas num determinado espaço. Por isso, está diretamente relacionada com a **Densidade pendular**, que corresponde à quantidade de pessoas que transitam pelo espaço, trabalham, estudam, procuram serviços e lazer. Portanto, o mesmo espaço pode ser considerado muito denso durante o dia e pouco

denso durante a noite e ao fim de semana, atribuindo várias conotações de densidade ao espaço urbano.

Nesse sentido, a forma urbana influencia também na **percepção individual** de densidade e diferentes formas urbanas podem proporcionar a sensação de conforto ou desconforto.

Grupos sociais diferentes irão perceber a questão da densidade diferentemente. O que as pessoas sentem ou veem depende muito de suas próprias origens sociais, econômicas e éticas, e, até certo ponto, da configuração, forma e uso da construção e do espaço urbano (ACIOLY e DAVIDSON, 2011, p.13).

A configuração dessas formas é, geralmente, elaborada a partir das **leis que regulam o uso e ocupação do solo**, determinando as áreas que podem ou não ser adensadas e os limites de ocupação. Segundo Moreira (2007), a maioria das cidades Brasileiras segue os princípios da Carta de Atenas para definir a legislação urbana, baseando-se no zoneamento da cidade e estipulando, para cada zona, parâmetros urbanísticos diferenciados para cada uso. A cidade do Recife também segue essa lógica; assim, segundo a última lei vigente (lei nº 16.176/1996), a cidade foi dividida em quatro zonas principais e para cada uma delas foram definidos diferentes tipos de ocupação, segundo a especificação de quatro **parâmetros urbanísticos**. Estes parâmetros podem ser identificados na legislação urbanística da maioria das cidades brasileiras e servirão de base para a elaboração dos modelos experimentais a serem apresentados no estudo de caso. Abaixo são descritos cada um dos parâmetros e na figura 6 cada um deles é ilustrado.

Coefficiente de Utilização (μ) – é o parâmetro que define a densidade construtiva. É indicado um fator para cada área e esse valor é multiplicado pela área do terreno. Por exemplo, se o fator for três, significa que se pode construir três vezes a área daquele terreno. Essa multiplicação estabelece a área máxima de construção permitida naquele terreno;

Taxa de Solo Natural (TSN) – indica o percentual mínimo da área do terreno que deve ser mantida nas suas condições naturais ou tratada com vegetação. Em outros locais esse parâmetro é denominado de taxa de ocupação e, em vez de delimitar a área mínima de solo natural, determina a área máxima de ocupação do solo. Este parâmetro tem como objetivo garantir que parte do solo seja permeável á infiltração da chuva, evitando a sobrecarga do sistema de drenagem;

Afastamentos das Divisas do Terreno (Af) – estabelece as distâncias mínimas entre a edificação e as linhas divisórias do terreno. Este parâmetro pode variar conforme a disposição do lote em relação à rua. Se estiver à frente da rua é denominado de afastamento frontal, o afastamento oposto é o de fundo, e os outros são laterais. Cada um pode ter dimensões mínimas diferentes, que variam conforme a importância e a largura da rua, ou a altura máxima do edifício. Este parâmetro tem como objetivo garantir que todos os edifícios tenham acesso à iluminação e à ventilação natural;

Gabarito – estabelece a altura máxima de cada edificação. A combinação dos outros parâmetros também delimita, indiretamente, a altura máxima dos edifícios e, por isso, nem todas as prefeituras estabelecem este valor. No caso do Recife, a delimitação do gabarito é só na área envolvente ao aeroporto, para não interferir no tráfego aéreo e nos dozes bairros da “zona norte” para preservação da memória e identidade local (NUNES, 2008).

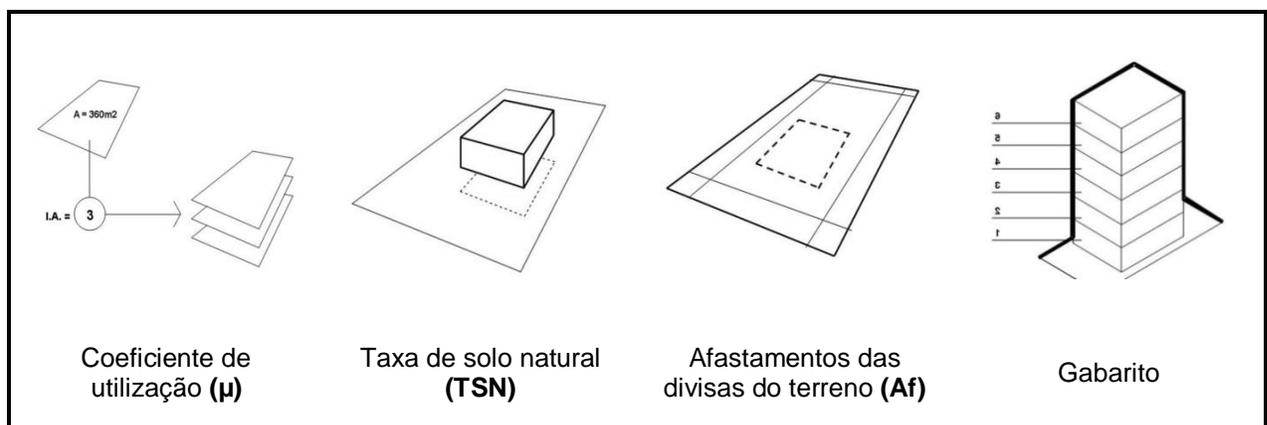


Figura 6: Principais parâmetros que configuram o uso e ocupação do solo. **Fonte:** Saboya, 2007.

A partir destes parâmetros, é possível promover diversos padrões de ocupação do solo. Contudo, o que se nota é uma **uniformização na forma de ocupação nas cidades** brasileiras desconsiderando as suas individualidades geográficas. Bairros de diferentes cidades, como São Paulo, Recife, ou Salvador podem ser facilmente confundidos por apresentarem parâmetros urbanísticos semelhantes (ver figura 7). Por isso Barbirato e Melo (2007) afirmam que os modelos de ocupação no Brasil **desconsiderem as características climáticas locais**, comprometendo a qualidade de conforto. Em Recife, esta situação tem contribuído para a baixa qualidade ambiental em alguns bairros. Freitas (2008) explica que a qualidade ambiental não segue a lógica de distribuição espacial baseada em limite políticos administrativos ou o zoneamento do planejamento urbano.



Figura 7: Bairros com modelos de ocupação semelhantes, Balneário Camboriú e Recife. **Fonte:** <<http://jp-viagenscaminhos.blogspot.com.br/2011/01/balneario-camboriu-sc.html>>, e arquivo pessoal.

O uso de parâmetros urbanísticos afastados da realidade ambiental local resulta em arranjos urbanos desfavoráveis à cidade. Silva e Romero (2011) defendem a realização de estudos técnicos em diversas áreas do conhecimento de modo a colaborar com o processo de planejamento de projeto da cidade. Ambos explicam que a ausência desses estudos torna o planejamento urbano e regional, contraditoriamente, um dos causadores de riscos ambientais. Como pode ser confirmado, por exemplo, com os estudos de Costa (2001), Peregrino (2005), Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) que demonstram respectivamente como a legislação de Natal, João Pessoa, e Maceió, tem prejudicado a adequada ventilação de certos bairros litorâneos da cidade.

Por isso Acselrad (2004) afirma que **o discurso do desenvolvimento sustentável** não é realmente colocado em prática, serve apenas para legitimar as ações do Estado e dos governos locais, promovendo apenas algumas medidas pontuais. Segundo Compans (2005) com a disseminação do novo modelo de capitalismo pelo mundo, o Estado deixou de conseguir gerir a volatilidade das empresas e passou parte das suas funções para os governos locais de modo a poder dar mais flexibilidade as ações do capital global. Desta forma, as cidades e os governos locais surgiram como atores privilegiados na intermediação de interesses públicos e privados Deixando a ação dos **governos locais** numa situação ambígua por um lado, deve controlar e regular o crescimento da cidade, através de normas e leis, por outro, deve ser flexível para atrair o capital privado, oferecendo contrapartidas, ou estabelecendo novas parcerias. Por isso, Lefebvre (1973 *apud* Tows, 2011) afirma que muitas das vezes a vontade de uma pequena fração hegemónica da população que detém o poder económico é transformada em interesse geral do povo.

2. CLIMA, VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO

As informações climáticas são de extrema relevância para a arquitetura e o urbanismo. A **arquitetura vernacular** demonstra diferentes técnicas de aplicação dos materiais locais, com distintos arranjos urbanos e arquitetónicos de modo a minimizar as condições adversas do clima e a favorecer o conforto ambiental humano (OLGYAY, 2002). Todavia, após a Revolução industrial a descoberta de novos materiais de construção e a invenção de tecnologias artificiais de conforto (luz, ventilador, ar condicionado, etc.) levou a um progressivo abandono dos antigos processos construtivos e a uma desvalorização da importância da adequação climática (Freitas, 2008).

O termo **arquitetura bioclimática** foi criado na década de 1960, justamente em uma iniciativa de resgatar a importância da integração do edifício com o ambiente natural envolvente. Segundo Oliveira (1988), este termo abrange várias áreas do conhecimento: a Arquitetura, a Biologia e a Climatologia. Para Barbirato, Souza e Torres (2007), a adequação bioclimática da edificação é a estratégia mais importante para a redução do desconforto térmico e do consumo energético das edificações.

(...) consiste na adequada e harmoniosa relação entre ambiente construído, clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo final o conforto ambiental humano. Mais do que parte do movimento ecológico mundial que se seguiu posterior, o bioclimatismo é uma das concepções que mais reforçam e contribuem para a eficiência térmico-energética de um edifício (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007, p.14).

Por meio do estudo dos elementos climáticos locais, tais como: a taxa de insolação; a precipitação média anual; a percentagem de umidade; a velocidade e direção do vento; é possível fazer as escolhas mais adequadas na orientação da habitação, na definição da espessura das paredes, no dimensionamento e localização dos vãos, na organização interna da edificação, na determinação da altura do teto e inclinação da cobertura, na escolha dos materiais; etc. Como resultado visa-se à **otimização de conforto térmico** nos espaços internos e à redução da necessidade de uso de

equipamentos artificiais, que aumentam o consumo energético. No Brasil, a energia consumida pelos edifícios, nos setores residencial e comercial, chega a 45,7% de toda a energia elétrica produzida no país segundo o Balanço Energético Nacional (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2010).

A abordagem bioclimática é de extrema relevância para as cidades, não só pelos fatores mencionados mas também porque a construção de um novo edifício provoca alterações nas variáveis climáticas envolventes. Nos ambientes urbanos, onde existem inúmeras edificações e transformações (diminuição da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, etc.) o clima se altera, originando o chamado **clima urbano** (BRANDÃO, 2009).

A primeira pesquisa sobre **alterações climáticas** em meio urbano foi efetuada por Luke Howard, na cidade de Londres, no ano de 1833. Segundo Barbirato, Souza e Torres (2007), Howard foi pioneiro em registrar o fenômeno urbano chamado de ilha de calor, que demonstra que as áreas urbanas apresentam maior acúmulo de calor que as áreas periféricas, suburbanas ou rurais. Conforme Gartland (2010) esse fenômeno ocorre porque as ações antrópicas são mais frequentes no meio urbano e estas geram uma modificação no balanço de energia e a consequente formação da **ilha de calor** (ver quadro 3).

Alterações no ambiente natural por ação antrópica	Efeitos no balanço de energia	
Diminuição da vegetação; Utilização de superfícies impermeáveis Construção de geometrias que reduzem a velocidade dos ventos	Reduz	a evaporação
		a convecção
Utilização de materiais com baixa refletância solar (ver níveis de albedo); Construção de geometrias que prendem o calor; Produção de diversas fontes e níveis de poluição Utilização de materiais com maior difusividade térmica Utilização de energia artificial	Aumenta	o saldo de radiação
		o armazenamento de calor
		o calor antropogénico

Quadro 3: Principais causas para a formação da ilha de calor. **Fonte:** Adaptado de Gartland, 2010 p.26

Este fenômeno que não ocorre de forma homogênea, no meio urbano. Em uma cidade, é possível identificar diversos microclimas gerados pelas diferentes composições do espaço urbano. Como tal, quando este é representado graficamente, é possível

delimitar as áreas com temperatura mais elevadas na cidade (ver figura 8), que geralmente correspondem aos centros urbanos, onde o espaço edificado é mais denso e as áreas arborizadas são mais escassas (BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007). A ilha de calor fica mais evidente à noite, quando os materiais construtivos liberam o calor que foi absorvido durante o dia.

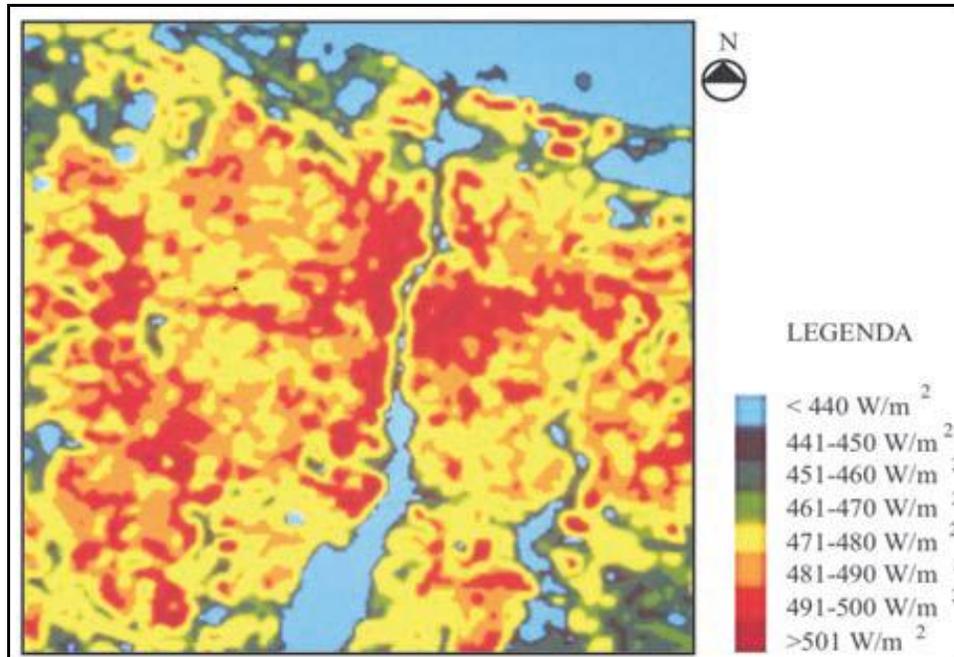


Figura 8: Configuração espacial da ilha de calor, Green Bay, Estados Unidos. **Fonte:** BARBIRATO, SOUZA e TORRES, 2007.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ⁵ as ações antrópicas, para além de provocarem alterações no clima urbano, também têm contribuído para a transformação do clima global. Isso ocorre sobretudo porque algumas atividades humanas liberam gases de efeito estufa (GEE) ⁶, que retêm o calor, na camada mais próxima da atmosfera, e aumentam as temperaturas do ar a nível global (SEINTKE, 2012). Desses gases, o mais citado é o CO₂, que tem sido apontado

⁵ O Painel Intergovernamental Mudanças Climáticas (IPCC) é o organismo internacional de avaliação das mudanças climáticas composto por um vasto painel de cientistas. Foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988.

⁶ Os principais gases referenciados como gases de efeito estufa são: o dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e o ozônio (O₃).

com um dos principais responsáveis para o aumento das temperaturas e consequente formação de fenômenos climáticos extremos.

Por esse motivo, a partir da década de 1990, a questão climática passa a estar centro dos debates políticos, económicos, e ambientais a serem resolvidos no âmbito mundial. Um dos frutos deste redirecionamento ambiental foi o protocolo de Quioto, redigido em 1997, em que alguns países concordam em reduzir gradualmente as emissões de GEE e outros gases poluentes (SEINTKE, 2012).

Contudo, não existe consenso na comunidade científica sobre este tema. A teoria mais divulgada pela mídia é a defendida pelos pesquisadores do IPCC. Estes afirmam que está a acontecer uma **mudança climática global** devido à ação antrópica. Em contraponto a essa visão, o meteorologista Molion (2007), defende que existem diversos fatores astronômicos (como a variação dos raios cósmicos, do campo gravitacional e das atividades solares) que atuam na **variabilidade natural do clima**. Deste modo, analisando o histórico de dados disponíveis, a terra estaria a entrar em uma nova era glacial. Já Casagrande, Junior e Mendonça (2011) afirmam que o homem não possui atualmente, conhecimento e tecnologia suficientes para compreender todos os fenômenos naturais, logo, não seriam capazes de fazer previsões a escala global e a longo prazo, havendo ainda muitas **controvérsias e incertezas** neste conhecimento científico.

Para Maruyama (2009), a população assimilou facilmente a teoria do aquecimento global, porque a grande maioria vive em cidades, onde ocorre a alteração do clima à escala local, que é uma ocorrência sem discordância científica. Além do mais, para Steinke (2012) a mídia tem tratado o tema de forma alarmista e sem o devido cuidado para apurar os fatos, propagando fenômenos naturais como eventos extremos.

Apesar das incertezas científicas em relação às mudanças climáticas globais, existem várias evidências que demonstram a ocorrência de alterações climáticas (SOUZA e AZEVEDO, 2009). No entanto, mesmo com toda a preocupação ambiental destas

últimas décadas, Herzog (2013) afirma que arquitetura se tem desvinculado cada vez mais da adequação climática, em prol de se inserir num modelo globalizado, padronizado, difundido como símbolo de progresso. A cidade de Recife não é exceção, em vários bairros da cidade são edificadas prédios em estilo internacional, desajustados à realidade climática local. Proporcionando conforto térmico para os seus usuários, através de sistemas de refrigeração artificial, que não só aumentam o consumo energético como também contribuem para a formação da ilha de calor (FREITAS, 2008).

Considerando que a urbanização da cidade do Recife cresceu progressivamente nos últimos anos, com um aumento do número de habitantes, de construções (formais e informais), de infraestrutura e com perda de cobertura vegetal, é natural que o clima urbano se alterasse. Souza e Azevedo (2009) ao analisarem as temperaturas da cidade do Recife concluíram que houve um aumento da temperatura nestes últimos 47 anos.

“Todos os índices analisados foram unânimes em evidenciar **aumento das temperaturas máximas e mínimas**, constatando-se aumento de ondas de calor na região. Com base nesses resultados é possível inferir que a área em estudo está ficando mais quente, o que indica que é cada vez mais forte a tendência de **mudança** e não de variabilidade.” (SOUZA e AZEVEDO, 2009, p.470)

Ao final da pesquisa Souza e Azevedo (2009) reforçam a importância de serem realizados estudos no futuro que relacionem o uso e ocupação do solo com as alterações climáticas locais e regionais, visto que as transformações antrópicas são a principal fonte geradora de conflito ambiental. Para Assis (2006) a integração do bioclimatismo no planejamento urbano é ainda mais relevante em cidades de clima tropical, como é o caso de Recife, porque o estresse térmico é elevado e afeta diretamente na qualidade de vida da população. O próximo subcapítulo irá aprofundar a noção de conforto térmico e as estratégias de adequação climática propostas pelo bioclimatismo para o clima quente e úmido.

2.1. Conforto Térmico

Segundo ASHRAE (*apud* Lamberts, 2013, p.3) “conforto térmico é o estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. Isto significa que o conforto térmico está diretamente relacionado com a **sensação de bem-estar** do indivíduo (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2011). Segundo Prata (2005) a sensação de conforto térmico resulta de uma combinação satisfatória entre as variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura média radiante e velocidade do ar), o metabolismo resultante da atividade realizada, a resistência térmica oferecida pela vestimenta utilizada, as variáveis físicas individuais (idade, raça, estado de saúde, grau de aclimação) e fatores psicológicos.

Frota e Schiffer (2001) elucidam que o organismo humano é homeotérmica, ou seja, a temperatura interna do corpo deve ser constante, em torno de 37°C, com limites máximos de sobrevivência entre os 32°C e os 42°C. Segundo as autoras, a temperatura interna é conservada através do **sistema termorregulador** do organismo, que efetua trocas secas com o ambiente por radiação, condução, e convecção - denominada de calor sensível - e trocas úmidas por evaporação - designado de calor latente.

O desconforto térmico ocorre “quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente” (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2011, p.5), originando uma reação ao frio ou ao calor, dependendo do estresse térmico em que a pessoa está exposta. Provocando a necessidade de ativar os mecanismos de termorregulação como expõe Romero (2013):

“O homem utiliza dois mecanismos de regulação térmica para responder às exigências externas: um de caráter fisiológico. (suor, variações de fluxo sanguíneo que percorre a pele, batidas cardíacas, dilatação dos vasos, contração dos músculos, arrepios, contração dos músculos) e outro de carácter comportamental (sono, prostração, redução da capacidade de trabalho).” (ROMERO, 2013, p.48)

Segundo Lamberts (2013) o estudo do conforto térmico é de extrema relevância, por três fatores: para proporcionar **satisfação humana**; para possibilitar **uma boa performance**, visto que a capacidade produtiva diminui quando estamos sob desconforto térmico; e para **conservar de energia**, evitando o desperdício por calefação e refrigeração dos ambientes. O estudo da relação entre o conforto térmico humano e a arquitetura e o urbanismo ganhou uma vasta produção científica nas ultimas décadas, tanto a nível nacional, quanto internacional (ASSIS, 2006).

Olgay (2002) foi pioneiro ao elaborar um estudo que relacionou as variáveis climáticas com os efeitos sobre o organismo do homem. Esse estudo deu origem à **carta bioclimática** (ver figura 9) que indica os limites de conforto e as ações que podem ser adotadas para manter o ser humano dentro da zona de conforto (FREITAS, 2008).

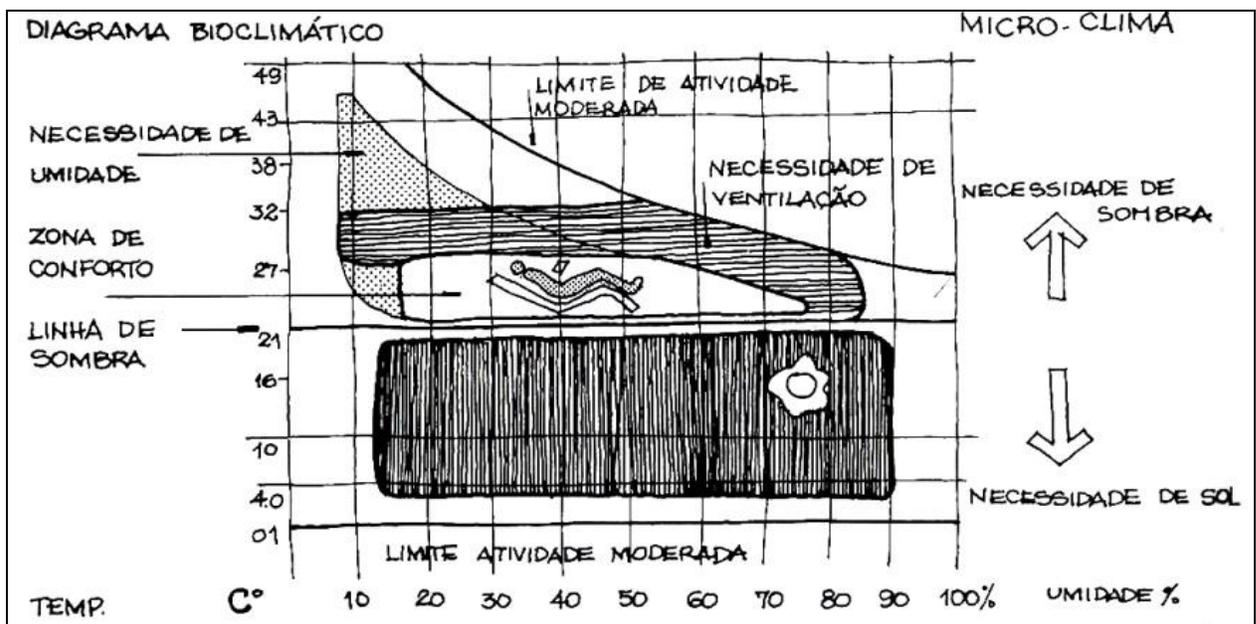


Figura 9: Diagrama Bioclimático de Olgay. Fonte: Romero, 2013

Diversos pesquisadores já aprimoram esta carta bioclimática, inclusive o próprio Olgay (2002). BOGO et. al (1994), elaboraram uma revisão bibliográfica dos métodos desenvolvidos por - Olgay (1963, 1968); Givoni (1969, 1992); Givoni e Milne (1979); Gonzalez (1986), Szokolay (1987), Watson e Labs (1983) - com o intuito de selecionar uma carta bioclimática a ser adotada no Brasil. Os métodos acrescentaram outras

variáveis, tais como as condições atmosféricas, atividades, vestimentas e o grau de aclimação. Os limites de conforto e as metodologias aplicadas variam conforme o autor, por isso os estudos foram comparados com o critério de conforto térmico de FANGER, conforme a norma ISSO 7730 (BOGO et. al., 1994).

Com base nesse estudo, que o laboratório de eficiência energética de Santa Catarina, desenvolveu o *software Analysis Bio* que relaciona os dados das normais climatológicas do INMET com o modelo de carta climática desenvolvida por Givoni. A combinação dos dados indica a zona de conforto adequada a cada cidade. Para a cidade do Recife, a carta bioclimática (ver figura 10), indica que na maior parte das horas do ano (68,3%) as pessoas sentem desconforto por excesso de calor. Esse fator poderia ser **amenizado com ventilação** em 60,8% das horas do ano, e com resfriamento evaporativo em 7,1% do tempo (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004).

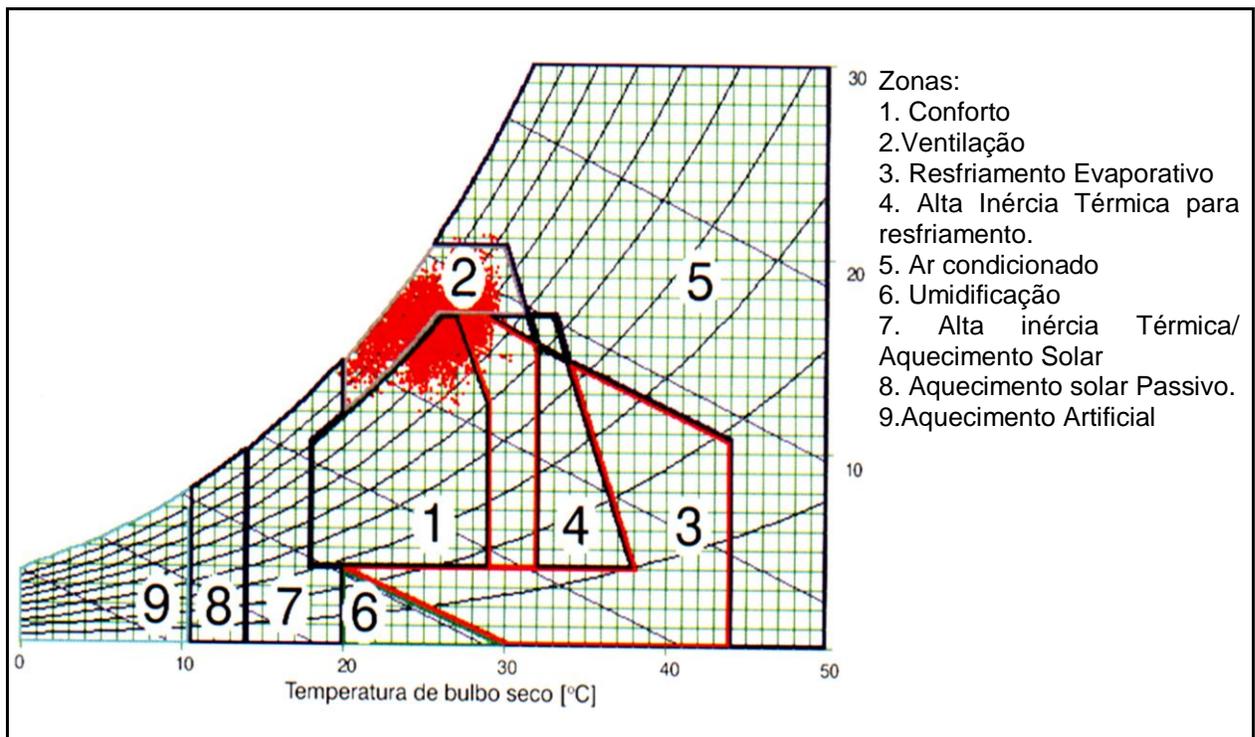


Figura 10: Carta Bioclimática de Givoni, com adequação para Recife, pelo Analysis Bio. **Fonte:** Lamberts, Dutra e Pereira, 2004.

Segundo Frota e Schiffer (2001), o vento é uma importante estratégia de conforto, porque diminui a temperatura efetiva do corpo humano, por processos de evaporação do suor da pele e por processos de trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano. Que são mais necessários, em locais quentes e úmidos, porque o ar está saturado de água e o corpo necessita dessas trocas para conseguir retirar o calor da pele e manter a temperatura interna de conforto (ver figura 11).

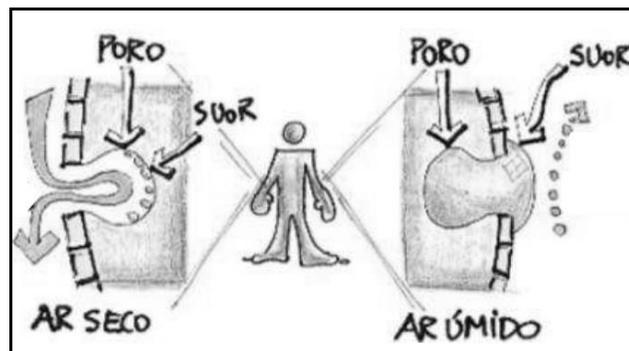


Figura 11: Processo para reduzir a produção interna de calor, diferença entre ar seco e ar úmido. **Fonte:** Lamberts, 2013.

Romero (2013) apresenta as características e as estratégias para o controle de **conforto térmico no clima quente e úmido** (ver tabela 1) e os **princípios bioclimáticos** para a adequação dos edifícios e do desenho urbano (ver tabela 2).

Elementos Climáticos	Características	Controle para conforto
Temperatura	Duas estações: verão e inverno, com pequena variação de temperatura entre elas. Temperaturas altas, com amplitude das variações diurnas fraca.	Reduzir a produção de calor. Procurar a perda de calor pela evaporação e pela convecção.
Radiação	Radiação difusa e intensa. O conteúdo de vapor de água das nuvens evita a radiação direta intensa.	Reduzir a absorção de radiação.
Vento	Ventos fracos, direção dominante de sudeste.	Incrementar o movimento do ar.
Umidade	Alto teor de umidade do ar	Evitar a absorção de umidade
Chuva	O período de chuvas é indefinido com maiores precipitações no Inverno.	Máxima proteção nos espaços públicos.

Tabela 1: Caracterização do clima quente e úmido e controle de conforto. **Fonte:** Elaboração própria adaptado de Romero, 2013.

Elementos Urbanos	Princípios Bioclimáticos
Localização	Lugares altos e abertos ao vento considerando a direção dos ventos dominantes porque estes podem causar conforto ou desconforto dependendo da velocidade de deslocamento (ver tabela 6). As declividades naturais do sítio devem ser preservadas ou criadas para auxiliar o rápido escoamento da água da chuva, tomando-se cuidado com a erosão.
Forma Urbana	O tecido urbano deve ser disperso, solto, aberto para permitir a ventilação. Devem ser deixados espaços entre os edifícios e entre porções do tecido urbano. Nas áreas urbanas mais densas deve-se diversificar a altura dos edifícios e desalinhar a sua posição em relação ao lote para incrementar a ventilação natural. Os caminhos dos pedestres devem ser curtos e sombreados com elementos arquitetônicos (edifícios, portais, marquises, varandas) ou com elementos naturais (vegetação, árvores). A superfície deve favorecer os materiais com baixo nível de albedo e de baixa absorção de radiação solar, como a grama que para além de reduzir a produção de calor ainda absorve a água da chuva.
Edifício	Edifícios abertos e ventilados, com pavimentos vazados. Com áreas sombreadas como varandas, beirais, brises, pérgolas, reentrâncias e saliências que protejam os espaços internos da chuva. Promover a drenagem das águas com telhados vedados, inclinados de acordo com os materiais utilizados.

Tabela 2: Princípios bioclimáticos de ocupação urbana para o clima quente e úmido. **Fonte:** Adaptado de Romero, 2013 e Givoni, 1998.

Ao analisar a descrição de Romero (2013) é possível constatar que a ventilação natural é uma das principais estratégias mencionadas na definição do desenho urbano. Contudo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), relembra que no estudo da ventilação, deve se considerar não só as direções de vento, mas também as velocidades de deslocamento, já que afetam, diretamente, no conforto ou desconforto térmico e ambiental. Para melhor conhecimento do movimento do ar Beaufort criou uma escala que relaciona a velocidade do vento em m/s e os efeitos sentidos em Terra (ver quadro 4) e no mar.

Segundo Beaufort (*apud* Prata, 2005) quando a **velocidade do ar** é abaixo de 1,6 m/s, o vento é imperceptível. Portanto, abaixo desta velocidade o organismo tende a sentir desconforto térmico no clima quente e úmido pela fraca capacidade de dissipar o calor retido na pele e problemas de saúde pela baixa qualidade do ar, gerada pela fraca taxa de renovação que possibilita o acúmulo de partículas poluentes.

Grau	Designação	Velocidade (m/s)	Efeitos em Terra
0 -1	Calmaria	0 – 1.5	Calmo, sem vento perceptível.
2	Brisa leve	1.6 – 3.3	Vento perceptível na face/movem-se as folhas das arvores
3	Brisa fraca	3.4 – 5.4	Vento desfralda bandeira leve/cabelo mexe/roupas balançam/folhas das árvores se agitam
4	Brisa moderada	5.5 – 7.9	Levanta poeira, solo seco e papéis; o cabelo fica despenteado; movem-se os galhos das árvores
5	Brisa fresca	8.0 – 10.7	Força do vento sentida no corpo; movem-se as pequenas árvores
6	Brisa forte	10.8 – 13.8	Dificuldade em usar guarda-chuva; dificuldade em andar direito; barulho de vento sentido nos ouvidos; movem-se os maiores galhos das árvores
7	Vento fraco	13.9 – 17.1	Dificuldade para caminhar; movem-se as grandes árvores
8	Vento moderado	17.2 – 20.7	Impedimento para caminhar; grande dificuldade de manter equilíbrio durante rajada; quebram-se galhos
9	Vento forte	20.8 – 24.4	Impossível caminhar contra o vento; danos nas partes salientes das árvores.

Quadro 4: Escala de Beaufort. **Fonte:** Adaptado de Prata, 2005.

Por outro lado, segundo Silva (1999) quando a velocidade do ar é acima de 6m/s, as pessoas começam a sentir desconforto e em uma maior dificuldade para caminhar. Por isso Oke (1987) afirma que o conhecimento do vento é útil também para se proteger de danos e economizar nos custos de manutenção, segurança e conforto ambiental dos ocupantes e dos pedestres.

Analisando o trabalho desenvolvido por outros autores, Silva (1999) determinou um critério de conforto para pedestres, considerando o tempo de exposição de dez minutos a 2 metros do solo. Tal critério combina o efeito das velocidades médias e das rajadas do vento, que consiste numa ação repentina que surpreende as pessoas. Os dados foram resumidos para uma tabela (ver tabela 3).

Velocidade de rajada	Frequência ultrapassada	Critérios de julgamento
<6m/s		Inexistem problemas de conforto do vento
>6m/s	máximo 5%	Admitidos em parques, lugares de espera, cafés de rua
>6m/s	máximo 20%	Admitidos em áreas de curta permanência
>8m/s	máximo 1%	Admitidos em áreas para sentar
.10m/s	máximo 1%	Admitidos em áreas de curta permanência

Tabela 3: Efeitos do vento sobre as pessoas com base na escala de Beaufort. **Fonte:** Silva, 1999.

Prata (2005) apresenta estudos de outros autores que relacionam a velocidade do vento com a temperatura do ar e as roupas vestidas, como é o caso do *windchill*. ou o estudo de critérios de conforto demonstrado por Saraiva (1997 *apud* Prata, 2005). Contudo, esses estudos foram elaborados considerando as temperaturas e as condições do clima frio Europeu, portanto não se adequam à realidade climática desta pesquisa e por isso não serviram para fundamentar a definição dos limites de conforto humano.

2.2. Ventilação

O estudo dos ventos dominantes para definir o desenho urbano adequado ao conforto humano é uma preocupação muito antiga. Saraiva (1994 *apud* Costa 2001) refere como exemplo a cidade de Kahun, localizada no antigo Egito 2000-AC, em que “a orientação das construções buscava tirar proveito dos ventos dominantes do vale do Nilo” (COSTA, 2001, p.8). O plano dispunha as construções dos trabalhadores a Oeste de modo a “bloquear” os ventos quentes do deserto e a privilegiar o conforto ambiental das casas dos oficiais com os ventos agradáveis provenientes do norte (MARQUES, 2003).

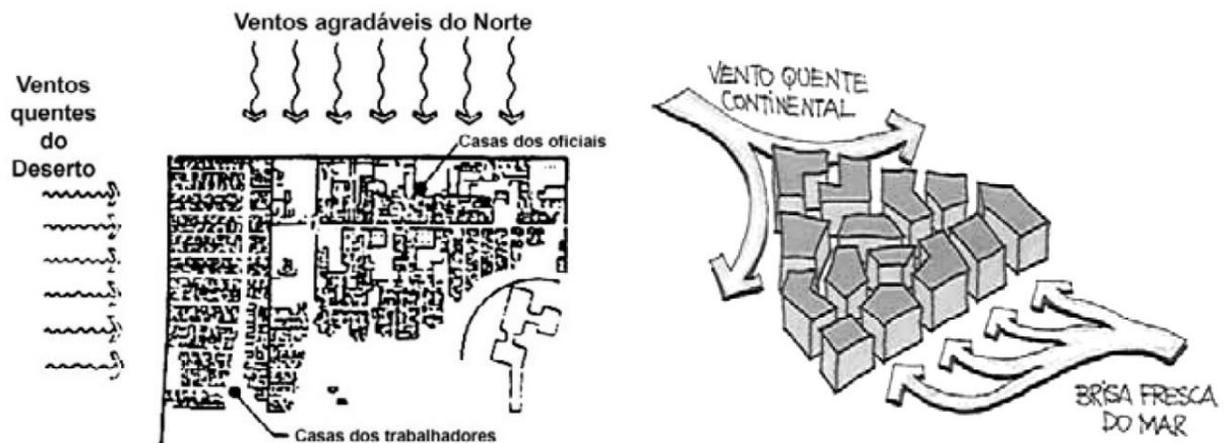


Figura 12: a) Cidade de Kahun, Antigo Egito. b) Cidade de Marrakesh. **Fonte:** a) Saraiva, 1994 *apud* Marques, 2003; b) Lamberts, Dutra e Pereira, 2004.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira, (2004) a distribuição espacial das habitações na cidade de Marrakesh também procurou afastar os ventos indesejáveis oriundos do interior do continente e privilegiar o acesso da brisa fresca do mar na malha urbana. ASCE (2011) por sua vez refere como exemplo o tratado escrito por Vitruvius, no qual o arquiteto e engenheiro orientava que, todas as cidades Romanas deveriam ser erguidas seguindo uma malha regular padrão disposta obliquamente aos ventos rigorosos do inverno, a fim de proteger os cidadãos do desconforto provocado pelo frio. ASCE (2011) e Marques (2003) expõem outros planos ao longo da história nos quais a forma urbana ou a distribuição dos usos foi considerada em relação aos ventos dominantes.

O estudo aerodinâmico do vento em meio urbano ganhou relevância nas últimas décadas com o surgimento de novas ferramentas de pesquisa. Segundo Assis (2006) vários pesquisadores têm vindo a aprofundar este conhecimento, por meio de estudos de caso específicos, em diferentes cidades do mundo e do Brasil. Conforme a autora, esses estudos podem ser divididos em dois grupos, que se diferenciam na técnica e na escala. As pesquisas na **escala mesoclimática** abrangem usualmente grande parte da cidade ou de uma região, e são desenvolvidos, sobretudo por geógrafos. Assis e Ferreira (2010) fazem referência a algumas destas pesquisas internacionais que consideram a variável climática do vento, junto com outras e que no fim geraram mapas climáticos de auxílio ao planejamento urbano. As análises a **escala microclimática** são normalmente na dimensão de um bairro, ou de algumas quadras, e são efetuadas comumente por arquitetos ou engenheiros, como pesquisas descritivas ou experimentais. Também indicam algumas diretrizes às leis de uso e ocupação do solo, com o intuito de melhorar o conforto ambiental urbano.

Como o foco desta pesquisa se integra dentro da escala microclimática, houve uma preocupação maior em conhecer o estado da arte destas pesquisas experimentais no Brasil. No entanto, para compreender o escoamento do ar em meio urbano, é necessário explicar primeiramente as forças atuantes que geram os padrões globais de circulação atmosférica e os aspetos locais que o modificam. Assim, o próximo subcapítulo foi dividido para facilitar a compreensão da dinâmica do vento.

2.2.1. Circulação global

A atmosfera é composta por quatro camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera. O vento é o movimento de ar que ocorre na troposfera, que é a camada mais próxima à superfície terrestre. Em escala global, o deslocamento do ar é condicionado por três grandes forças: gradiente de pressão, força de Coriolis e força centrífuga (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; STEINKE, 2012).

Gradiente de pressão é o nome que se dá à taxa de variação da pressão atmosférica. As diferenças de pressão atmosférica são geradas, porque a temperatura e a umidade do ar variam, conforme a latitude do Planeta. Junto à linha do equador, onde as temperaturas são mais elevadas, o ar expande, perde densidade e torna-se mais leve, iniciando o movimento de ascensão vertical. Esta zona é chamada zona de baixa pressão (ar quente e úmido) e está associada a céu nublado, porque estas correntes são propícias à formação de nuvens e de chuva. As zonas de alta pressão se localizam junto aos polos, onde a temperatura é mais baixa, e, dessa forma, a densidade do ar aumenta, tornando-o mais pesado e iniciando o movimento de descida. Nestas zonas, o ar é frio e seco por isso é usualmente associado a céu claro (ver figura 13) (STEINKE, 2012).

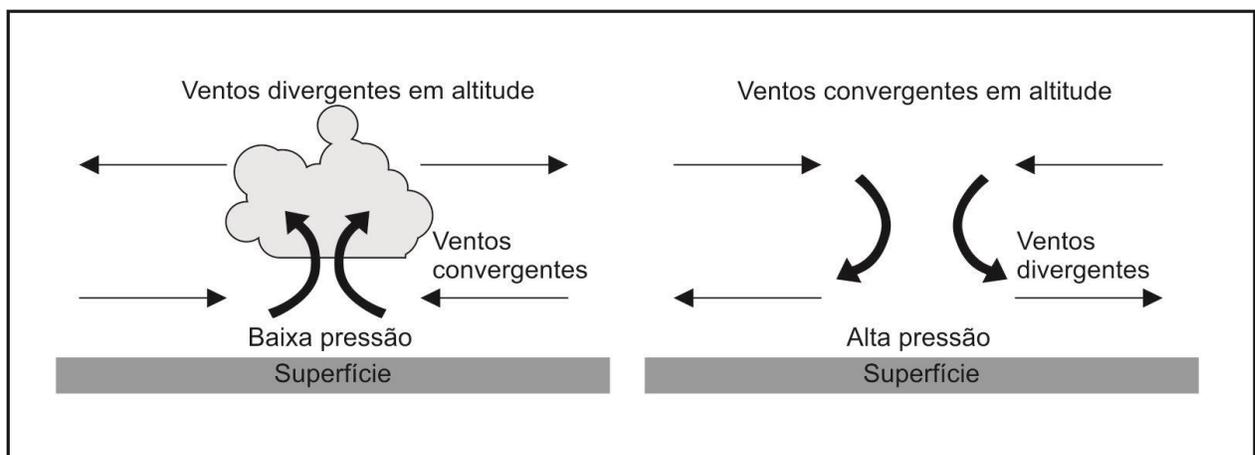


Figura 13: Representação esquemática do centro de alta e baixa pressão. **Fonte:** Steinke, 2012

As massas de ar se deslocam das zonas de alta pressão para as zonas de baixa pressão e são mais intensas quanto maior for a diferença de pressão. Segundo Steinke (2012), o primeiro estudo da circulação global atmosférica é atribuído a Edmund Halley, em 1686 (ver figura 14). Desde então, esse estudo foi aprimorado por Hadley, em 1735, que acrescentou as altas subtropicais situadas próximo das latitudes 30° norte e sul e por Ferrel, em 1856, que propôs o primeiro modelo tricelular acrescentando as baixas subpolares a latitudes de 60° Norte e Sul.

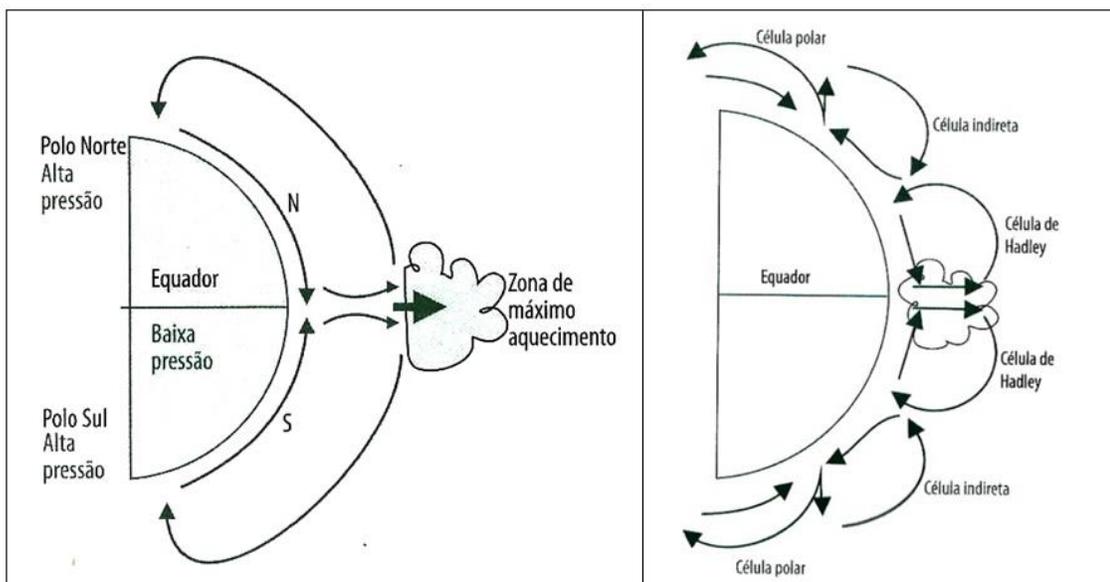


Figura 14: À esquerda está a representação do padrão de circulação segundo de Halley, 1686. À direita, o padrão de circulação de três células, idealizado por Ferrel, 1856. **Fonte:** Steinke, 2012.

A **força Coriolis** é originada pelo movimento de rotação da terra sobre o seu próprio eixo de oeste para leste. Segundo Silva (1999), esse movimento de efeito defletor força o vento a se redirecionar para a direita, no hemisfério norte, e para a esquerda, no hemisfério sul. A sua ação máxima ocorre nos polos e diminui em direção à linha do Equador, onde se anula.

A **força centrífuga** obriga o ar a se movimentar, curvilineamente, sob o efeito Coriolis (PRATA, 2005). Segundo Steinke (2012), essa força atua no balanço entre a força do gradiente de pressão e a força Coriolis. O fluxo resultante, chamado de anticiclônico, tem sentido anti-horário no hemisfério Sul (HS) e horário no hemisfério Norte (HN).

Estas três forças associadas dão origem a três tipos de correntes atmosféricas:

- **Ventos Alísios** (fracos) – Originam-se na alta pressão subtropical entre as latitudes 30°N e 30°S e deslocam-se no sentido SO no HS e sentido NO no HN;
- **Ventos Oestes** (rápidos) – Também são provenientes da alta subtropical (30° S e 30°N), mas se dirigem para as altas latitudes (60°S e 60°N);
- **Ventos Polares** (tempestuosos) – Como o nome sugere, são as massas de ar formadas nos polos que se dirigem a latitudes de 60° nos dois hemisférios.

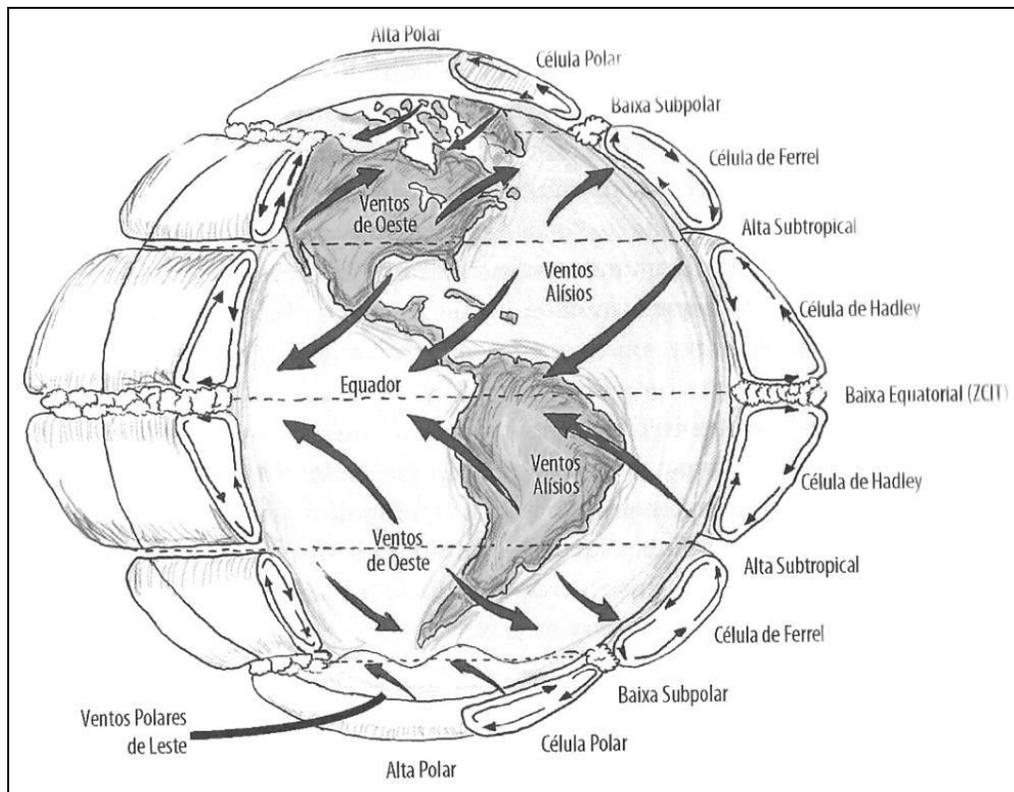


Figura 15: Circulação global no modelo de três células. **Fonte:** Steinke, 2012.

Este **modelo de três células** descreve as características globais de circulação atmosférica (ver figura 15). No entanto, é importante ressaltar que este padrão está submetido a diversas variações. Os ventos não são estacionários e as regiões de baixa e alta pressão atmosférica não são contínuas (AYOADE, 1998). O dinamismo da circulação atmosférica inclui, ainda, **outras variáveis que originam alterações** no deslocamento do vento, como o movimento de transladação da terra (variações

sazonais), o movimento de rotação da terra (variação diária), a desigual distribuição de massas de água nos hemisférios e a topografia do terreno (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Segundo Leite (2010), no Brasil, o regime de ventos segue o dinamismo das grandes escalas atmosféricas. As variações que ocorrem na escala local são devido às características do terreno. Por exemplo, a topografia gera os ventos de vale e montanha, e a variação da temperatura na superfície do mar e da terra gera as brisas marítimas e terrestres. Durante o dia, ocorrem as **brisas marítimas**, porque a temperatura do ar na superfície terrestre é mais elevada. Assim, o centro de alta pressão fica sobre a massa de água, enquanto à noite, ocorre o inverso, porque a água conserva o calor por mais tempo (ver figura 16). Segundo Bittencourt e Cândido (2006), este efeito pode ser observado nas regiões litorâneas do Brasil, onde se inclui a cidade do Recife. À tarde, a velocidade dos ventos é maior do que à noite porque os ventos alísios de sudeste coincidem com as brisas marítimas.

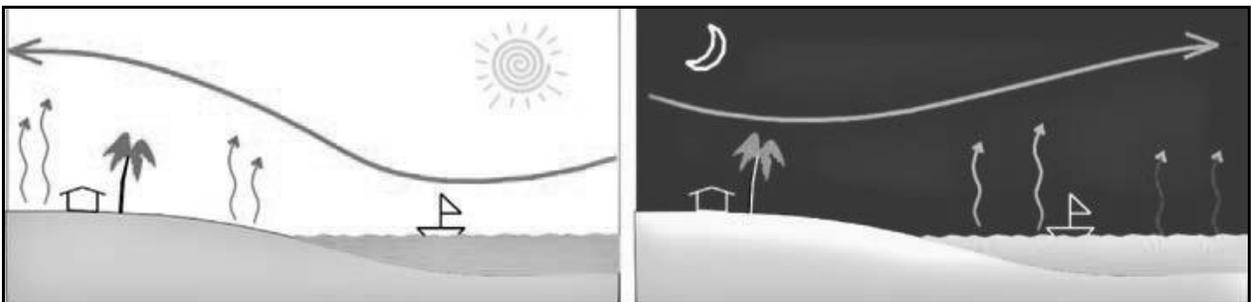


Figura 16: Representação esquemática das brisas. Na esquerda está representada a brisa marítima, à direita a brisa noturna. **Fonte:** Bittencourt e Cândido, 2010.

Para concluir este subcapítulo, é importante referir que, além das forças descritas acima, existem outros elementos, a que Ayoade (1998) se refere como sistemas produtores de tempo, por modificarem as variáveis climáticas globais. São estes os anticiclones e ciclones, as massas de ar (frente fria, quente, oclusa, estacionária), as linhas de instabilidade e os sistemas frontais. No entanto, esses elementos não foram abordados por serem pouco atuantes na ventilação natural da área de estudo.

2.2.2. Camada limite atmosférica

A camada limite atmosférica é a faixa entre a superfície terrestre e a atmosfera onde o fluxo de ar sofre a influência do atrito da Terra. As forças de atrito vão desde a topografia aos obstáculos naturais e artificiais até às alterações termodinâmicas, que ocorrem junto à superfície, como a evaporação, a evapotranspiração, a transferência de calor e a emissão de poluentes (LOREDO-SOUZA et al. 2004 *apud* FERREIRA, 2009).

Assim, segundo Silva (1999), o atrito gera uma força de arraste, com direção e sentido contrário, que provoca um **escoamento perturbado**. Desta forma, a camada da troposfera⁷ pode ser dividida em duas zonas: a zona externa – onde o ar flui numa camada laminar – e a zona de camada limite atmosférica (CLA) – onde as forças de atrito influem num deslocamento do ar turbulento (ver figura 17).

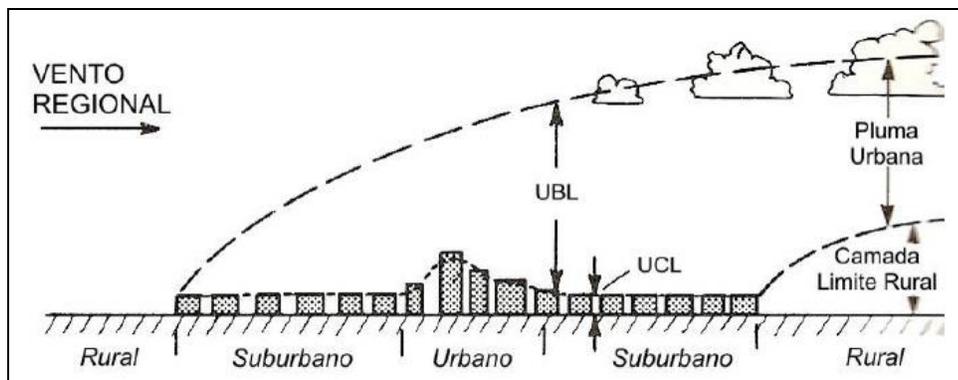


Figura 17: Esquema de camada limite atmosférica. **Fonte:** Oke, 1978 adaptado por Ferreira, 2009.

Segundo Prata (2005), este conceito foi registado pela primeira vez por Froude.

O conceito de camada limite é atribuído a Froude, que relacionou as forças de inércia com as forças gravíticas terrestres, através de um parâmetro adimensional, definido pela velocidade do fluxo, pela gravidade e pelo comprimento característico. (PRATA, 2005, p.10)

⁷ Camada mais próxima à superfície terrestre.

Ferreira (2009) demonstra que diversos autores (OKE, 1978; GANDEMER, 1978; GARRAT, 1994; STULL, 1988; SARAIVA, 1983; LOPES, 2003) têm vindo a tratar deste tema, incorporando diferentes nomenclaturas e distintos limites na CLA. Oke (1978), apresentado na figura 16, propõe a divisão CLA em dois níveis: a camada ao nível das coberturas (*Urban Canopy Layer*- UCL) e a camada limite urbana (*Urban Boundary Layer* - UBL). Num estudo mais recente (2006) o autor subdividiu cada uma destas camadas em duas, porque considerou as características de ocupação do terreno em diferentes escalas urbanas: meso-escala, escala local e microescala (ver figura 18).

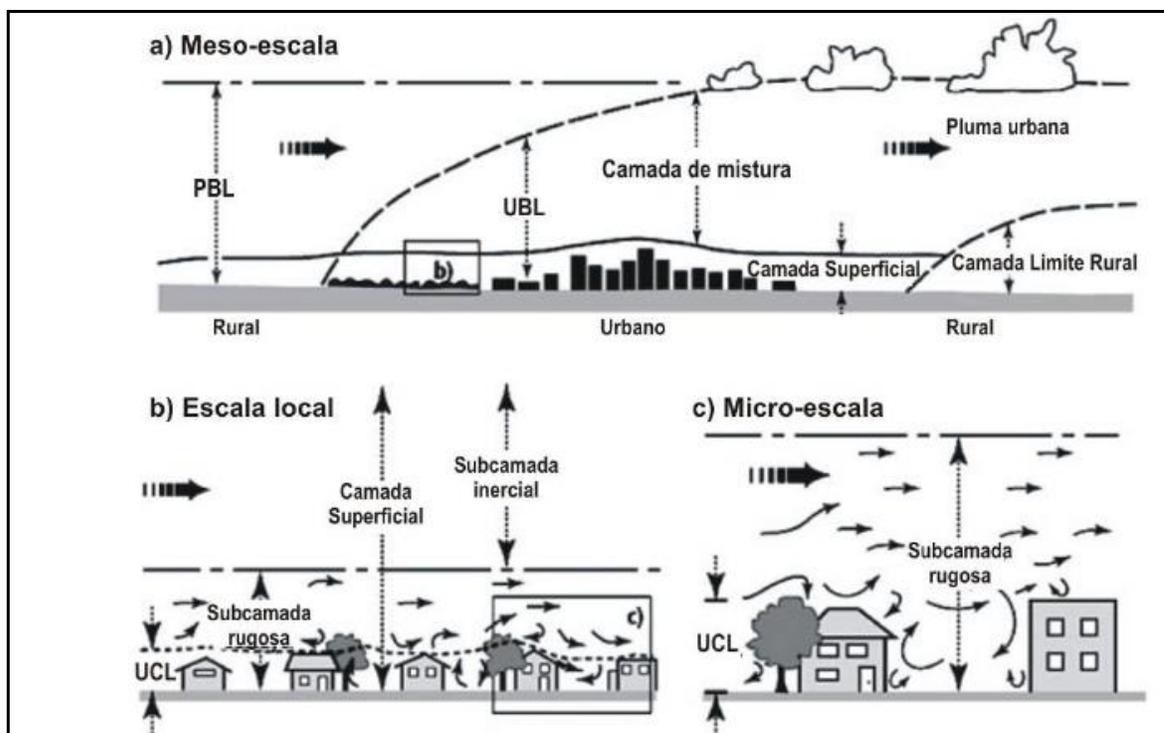


Figura 18: Esquema de camada limite atmosférica, conforme a escala urbana. **Fonte:** Oke, 2006 adaptado por Ferreira, 2009.

Por isso, Bittencourt e Cândido (2010) afirmam que a o grau de rugosidade da superfície determina a intensidade dos efeitos provocados pela fricção. Dependendo dos obstáculos, a velocidade de escoamento se altera segundo um eixo vertical. Essa variação é chamada de **gradiente de vento** e varia de zero, junto à superfície, até à velocidade livre de turbulências. A figura 19 apresenta os perfis típicos de velocidade média para diferentes tipos de rugosidade de terreno. Quanto mais urbanizado é o espaço, maior é o expoente de rugosidade.

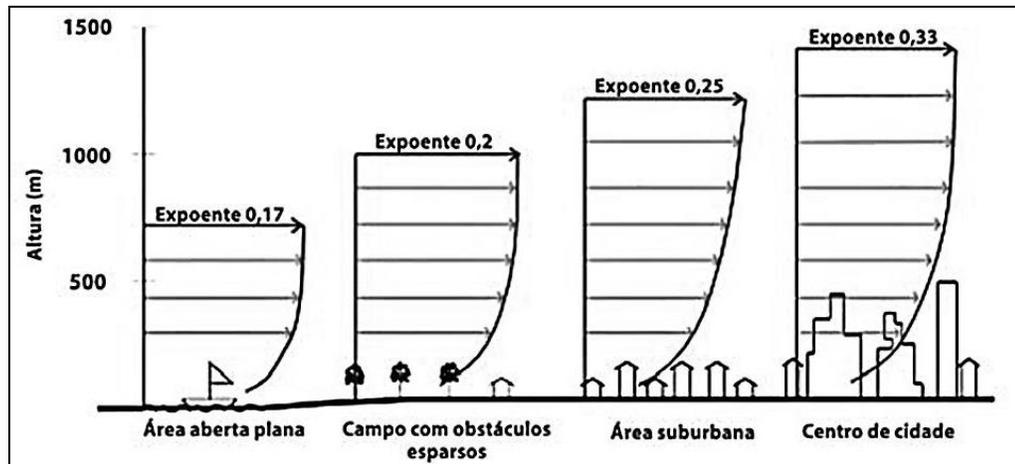


Figura 19: Gradiente do vento para diferentes áreas. **Fonte:** Jackman, 1980 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

O conhecimento do expoente de variação do terreno é importante, porque, geralmente, as medições das velocidades dos ventos são feitas em estações meteorológicas em campos abertos, a uma altura de 10 metros acima do solo. Para Liddament (1986 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010), se a velocidade do vento não for ajustada às **características locais do terreno**, e ao expoente de velocidade segundo a altura vertical é natural que sejam efetuados erros no cálculo da velocidade de deslocamento do ar. Assim, segundo o núcleo de pesquisa do Building Reserch Establishment (BRE, 1978), o cálculo da velocidade pode ser feito usando a seguinte equação do gradiente do vento:

$\frac{V}{V_m} = K \times z^a$	<p>V = Velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s). V_m = Velocidade média do vento, medida na estação meteorológica a uma altura padrão de 10m (m/s). z = Altura da abertura de entrada do vento (m). K; a = Coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do entorno.</p>
--------------------------------	--

Coeficientes de terreno	K	a
Campo aberto plano	0.68	0.17
Campo com obstáculos esparsos	0.52	0.20
Área urbanizada	0.35	0.25
Centro de grandes cidades	0.21	0.33

Quadro 5: Coeficientes de terrenos para a equação do gradiente de vento. **Fonte:** Jackman, 1980 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.



Quadro 6: Coeficientes de terrenos para a equação do gradiente de vento. **Fonte:** Elaboração própria.

O quadro 6 apresenta a identificação dos quatro **níveis de rugosidade** descritos por Jackman (1980 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010) na cidade de Recife, demonstrando a importância da consideração estes cálculos na definição do vento de entrada do modelo virtual. Leite (2010) apresenta outros autores (MELAGRANO, 1982; GUYOT, 1981; GASCH, 1996), que desenvolveram gradientes de ventilação com classificações de rugosidade do solo diferentes e equações distintas para o cálculo. No entanto, para efeitos deste trabalho, foi considerado o gradiente de vento apresentado acima, como será aprofundado no capítulo 4.

2.2.3. Alterações em meio urbano

As preocupações relacionadas aos efeitos do vento sobre o espaço urbano vêm desde a época do Antigo Egito, 2000 a.C. (SILVA, 1999). Contudo, as pesquisas da adequação climática se intensificaram a partir da década de 1960, com uma maior preocupação ambiental, nas grandes cidades, e com o surgimento de novas ferramentas de teste, que possibilitaram compreender melhor este fenômeno.

Em meio urbano, o vento encontra diversos elementos que alteram o seu comportamento. Koenigsberger et al. (1977) explica que, o ar ao encontrar um obstáculo, forma na parte frontal uma zona de pressão positiva, chamada de barlavento, e na parte posterior, forma-se uma zona de pressão negativa ou zona de sucção, denominada de sotavento ou sombra de vento (ver figura 20).

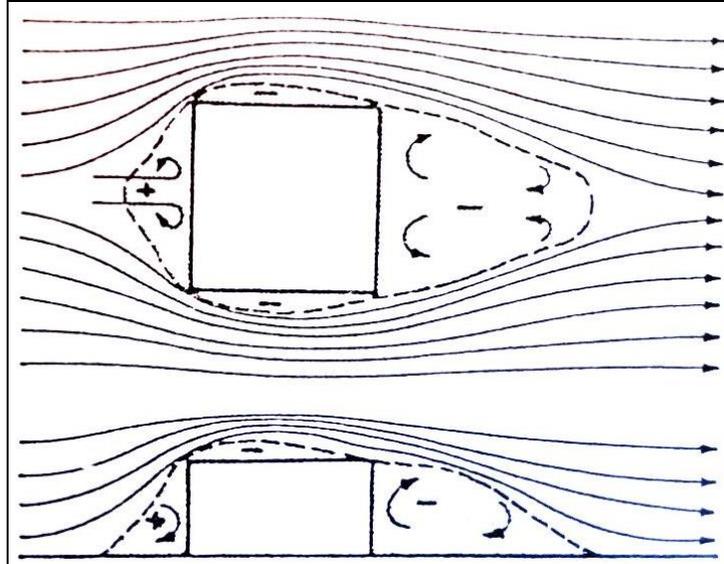


Figura 20: Fluxo de vento ao redor de um edifício. **Fonte:** Koenigsberger et al, 1977

Assim, o fluxo de deslocamento do **vento passa de laminar para turbulento**. Segundo Oke (1987), os fluxos que ocorrem em volta de um obstáculo podem ser divididos em quatro zonas de circulação (ver figura 21):

- **A zona de fluxo não perturbado:** área onde ocorre o comportamento típico do fluxo do ar induzido;
- **A zona de deslocamento:** Zona a barlavento (lado do vento incidente), sua dimensão é aproximadamente três vezes a altura do bloco; é, também, onde o vento começa a ser alterado com o aumento da pressão sobre a face de incidência;
- **A zona da cavidade:** área junto ao edifício, situada a sotavento (lado contrário ao do vento incidente), onde ocorre maior turbulência e onde, normalmente, os ventos circulam em velocidades mais baixas;
- **A zona de esteira:** É a zona onde o vento se movimenta em baixa velocidade, com alguns pontos de estagnação de poluentes, e, em combinação com a zona de cavidade, têm um comprimento de 10 a 15 vezes a altura da edificação.

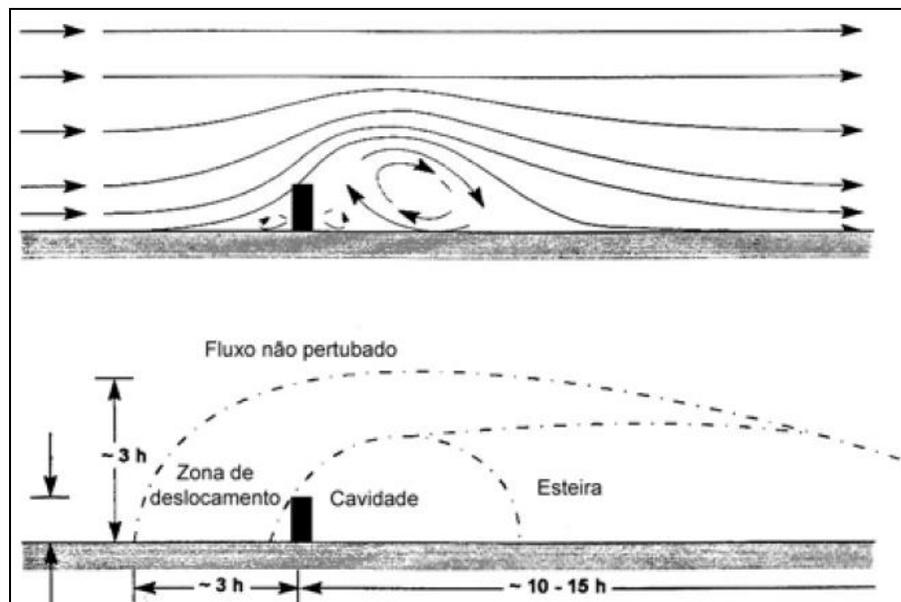


Figura 21: Linhas e zonas de fluxo típicas. **Fonte:** Oke, 1987 adaptado por Marques, 2003.

Outros autores, como Bittencourt e Cândido (2010), consideram, como zona de esteira, toda a região turbulenta a sotavento (esteira + cavidade), caracterizada pela formação de vórtices e recirculação do ar. Esta é a definição de esteira mais comumente mencionada por pesquisadores e, por isso, será a adotada no trabalho.

Segundo Costa (2001), a **configuração da zona de esteira** depende da geometria do edifício, do ângulo de incidência do escoamento e da organização das construções no espaço urbano (ver figura 22). Pesquisadores como Gandemer (1978), Givoni (1998), Mascaró (1991), Olgyay (1998) e Oke (1987) se dedicaram ao estudo da ventilação em meio urbano, analisando o comportamento do vento ao encontrar um obstáculo isoladamente (edifício, barreira e muro) ou em conjunto (quadra, bairro).

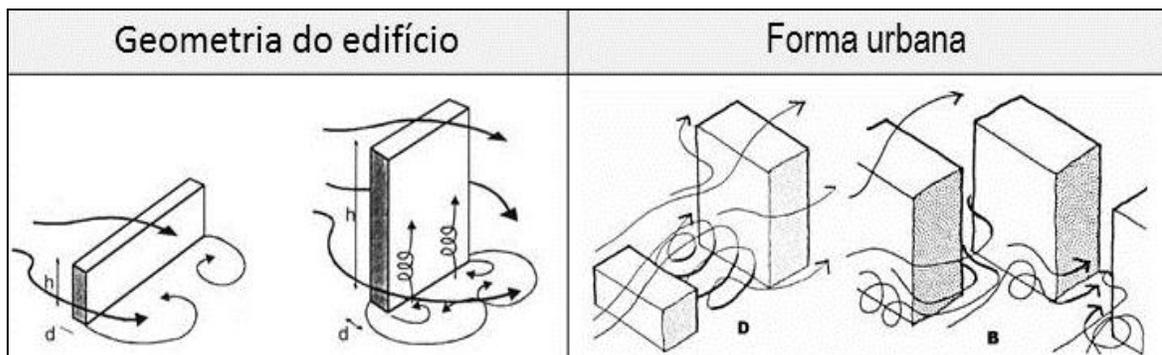


Figura 22: Elementos que interferem no comportamento do vento. **Fonte:** Adaptado de Silva (1999).

A dimensão do edifício (altura, largura, profundidade), a forma geométrica (paralelepípedo, cilindro, pirâmide), a configuração das aberturas (edifício poroso ou fechado) e a orientação em relação ao vento incidente vão configurar o comportamento do vento nas diferentes zonas de circulação.

Segundo Oke (1987), o fluxo de ar, ao incidir perpendicularmente na fachada a barlavento (zona de deslocamento) de um edifício paralelepípedo, forma, nas proximidades, um turbilhão chamado de vórtice de base. Este fenômeno se desenvolve, helicoidalmente, do centro da fachada para os extremos e diminui, gradativamente, ao escapar pelas laterais do edifício (MARQUES, 2003). Isto ocorre porque o movimento do ar, ao incidir na fachada, forma um ponto de estagnação⁸, localizado, segundo Silva (1999), a dois terços da altura do edifício (ver figura 23). Desse ponto para baixo, o fluxo é descendente, devido à diferença de pressão do gradiente de pressão. Segundo o autor, esse efeito faz com que o fluxo junto ao solo seja em sentido contrário ao ar incidente.

⁸ Local onde a pressão dinâmica se transforma em pressão estática. Neste ponto a velocidade é nula.

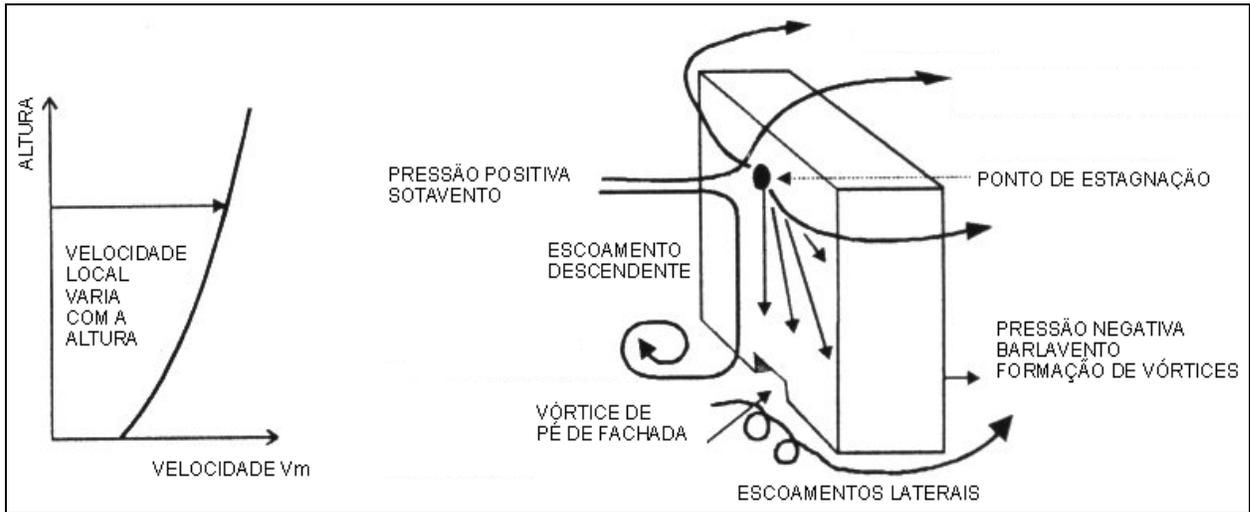


Figura 23: Campo de escoamento. **Fonte:** Blevins *apud* Silva, 1999.

A intensidade deste fenômeno depende das dimensões do edifício. Quanto mais largo é o edifício, maior é o escoamento lateral; quanto mais alto, maior é a diferença de pressão e, por isso, maior é a velocidade do vento ao nível do pedestre a barlavento. Gandemer (1978) chama esse efeito de *wise* ou efeito de redemoinho.

Mascaró (1991) demonstra uma série de estudos, que foram realizados na Universidade do Texas para analisar a influência da **forma e tamanho e do edifício** na formação da zona de esteira (ver figura 24). Com base nessa pesquisa Mascaró (1991) aponta as seguintes observações:

- Quanto maior a profundidade, menor a zona a sotavento. Isto é válido enquanto o comprimento for o dobro da altura; depois disso, a zona de sucção não tem grandes modificações (Ver figura 22 b, c, d, f, h, j);
- Quanto mais alto é o edifício, mais profunda é a zona de baixa pressão. (Ver figura 22 d, e);
- A profundidade da zona de sucção depende da altura do telhado. (Ver figura 22 g, j).

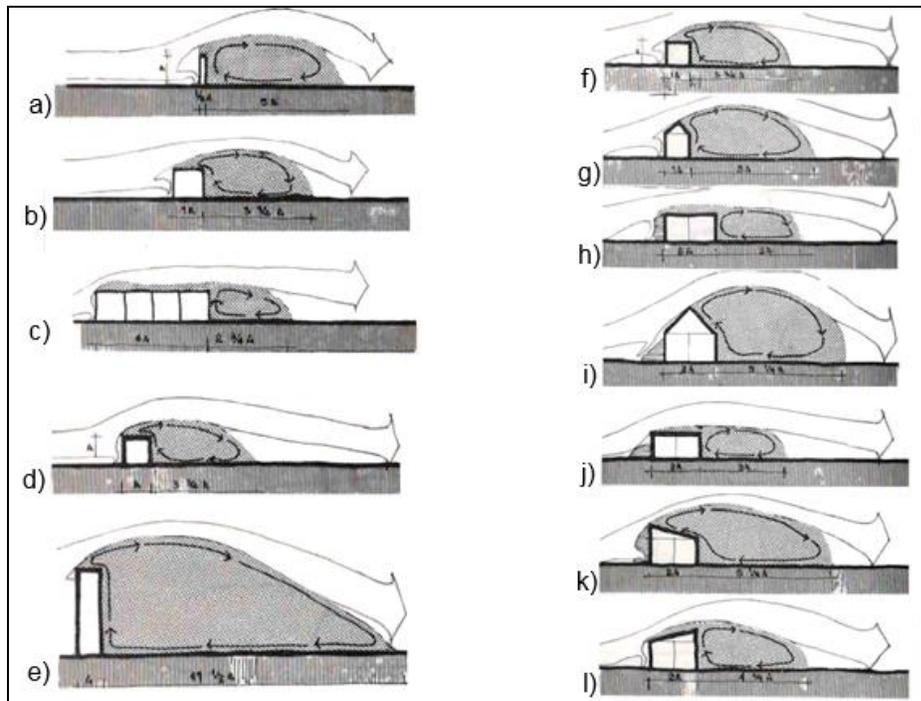


Figura 24: Dimensões da sombra de vento conforme a forma e o tamanho do edifício. **Fonte:** Mascaró, 1991.

Se considerarmos o estudo de outras geometrias, verificamos que as formas arredondadas e as arestas vivas são as que configuram uma maior zona de esteira (ver figura 25). Segundo Marques (2003) os edifícios com uma forma aerodinâmica são os que menos perturbam o escoamento laminar do fluxo do ar.

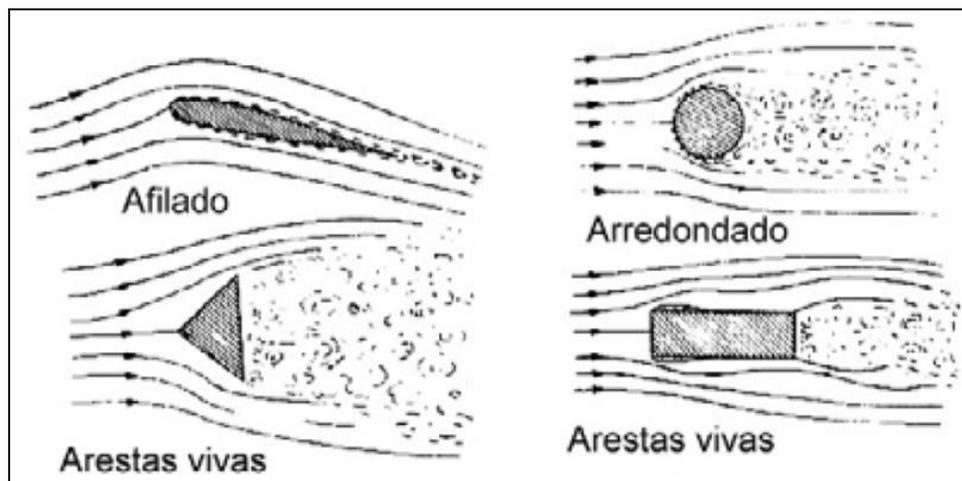


Figura 25: Corpos aerodinâmicos e rombudos. **Fonte:** Blessmann, 1990 *apud* Marques, 2003.

Evans (1979 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010) mostra a relação entre a forma e a orientação do edifício, na formação da zona de baixa pressão (ver figura 26).

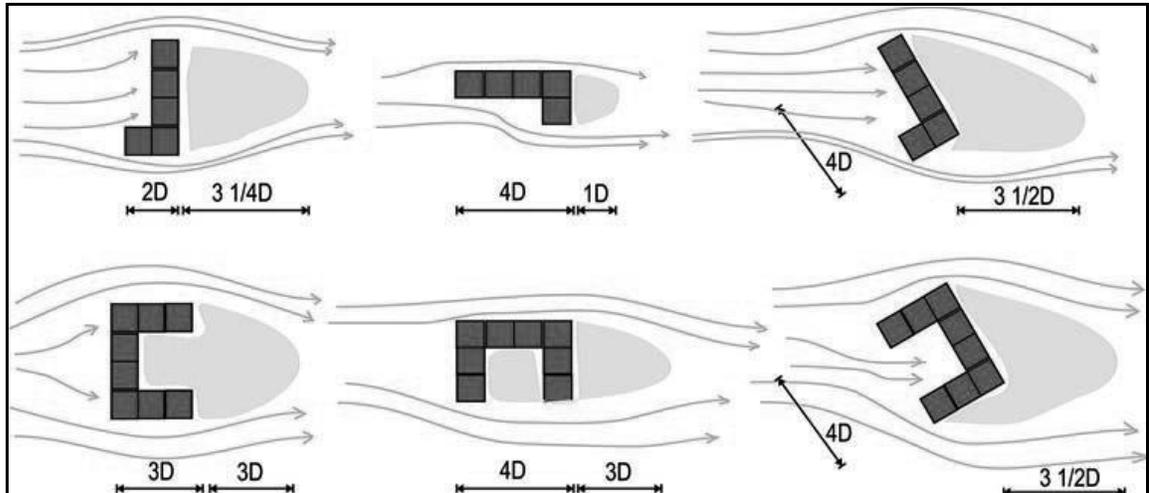


Figura 26: Relação entre a forma do edifício e a orientação. **Fonte:** Evans (1979) *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

Bittencourt e Cândido (2010) também apresentam um estudo, desenvolvido por Boutet (1987), no qual o autor analisou a configuração da zona de esteira de um **corpo poroso** conforme o desenho e o ângulo das aberturas. O resultado é apresentado na figura 27 e demonstra a taxa de redução do fluxo livre de ventilação ao se encontrar com os diferentes objetos.

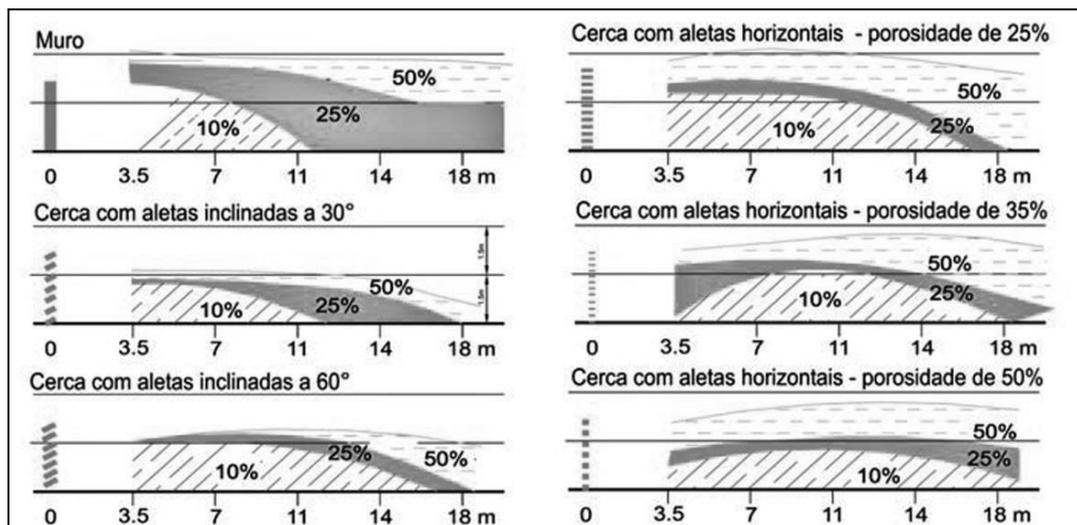
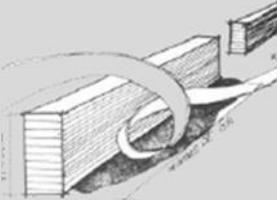
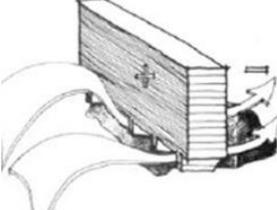
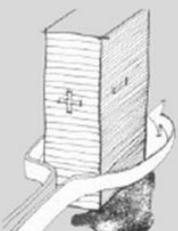
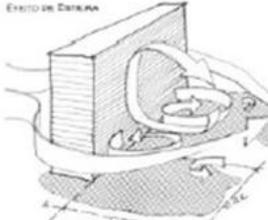
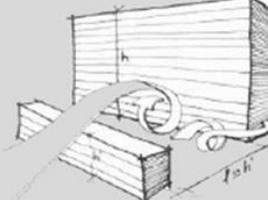


Figura 27: Efeito de cercas e muros com diferentes configurações. **Fonte:** Boutet, 1987 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

Gandemer (1978) documentou e classificou alguns **efeitos aerodinâmicos** resultantes do vento ao se deparar com um edifício isoladamente. Os principais efeitos são: o efeito barreira, o efeito de canto, o efeito pilotis, o efeito de esteira e o efeito de redemoinho. As características desses efeitos foram resumidas no quadro 7.

Efeito	Características	Ilustração
Efeito Barreira	Este efeito está relacionado à geometria laminar do edifício. Quando o edifício é um paralelepípedo de espessura relativamente estreita, com um comprimento oito vezes maior que a altura. A corrente de ar tem um desvio em espiral.	
Efeito Pilotis	Esse efeito ocorre quando existem aberturas na base do edifício que fazem a união de zonas de pressão positiva, com zonas de pressão negativa. O efeito poderá ser desejável para ventilar áreas livres, a entrada do vento é difusa, a saída poderá ser forte e direcionada.	
Efeito de Canto ou Esquina	Esse efeito ocorre nos ângulos do edifício, resulta da união da pressão positiva a barlavento e da pressão negativa a sotavento (zona de sucção). O efeito se acentua, com o aumento da altura do edifício e com a diminuição dos afastamentos em relação aos edifícios da envolvente.	
Efeito de Esteira	Esse efeito induz o ar a circular em forma de redemoinho na parte posterior do edifício, gerada pela união de zonas de pressão diferentes e pela ação turbulenta do ar. O efeito de esteira integra o efeito de canto, e o comprimento da esteira está diretamente relacionado com a altura a largura e a espessura do edifício.	
Efeito Redemoinho ou "wise"	O efeito acontece quando os edifícios tem mais de 15 metros e o vento que incide na fachada frontal produz uma divisão de ação de alta pressão, provocando um vórtice turbulento na base do edifício. Quanto mais alto for o edifício, maior será o efeito de redemoinho.	

Quadro 7: Principais efeitos da geometria do edifício sobre o comportamento do vento. **Fonte:** Elaboração própria adaptado de Leite, 2010, com base em Gandemer, 1978; Mascaró, 1991; Romero, 2013.

Contudo, em meio urbano, os edifícios, usualmente, não se encontram dispostos isoladamente, por isso, sua configuração na malha urbana gera outros efeitos aerodinâmicos. As variáveis da forma urbana, que influenciam diretamente no deslocamento do ar, são: o alinhamento dos edifícios, o afastamento entre eles, a altura e a orientação em relação aos ventos predominantes. Na análise da influência dos afastamentos entre os edifícios, Oke (1987) destaca **três configurações** (ver figura 28):

- a) A disposição dos edifícios é tão dispersa que não existe interferência no fluxo laminar inicial.
- b) Menor afastamento entre os edifícios faz com que o edifício posterior sofra perturbações no deslocamento do ar, sofrendo com o efeito de esteira do edifício a barlavento.
- c) O espaçamento entre os edifícios é tão reduzido, que ocorre uma elevação do gradiente de ventilação, ficando a qualidade do ar muito comprometida, devido à fraca taxa de renovação do ar ao nível do solo.

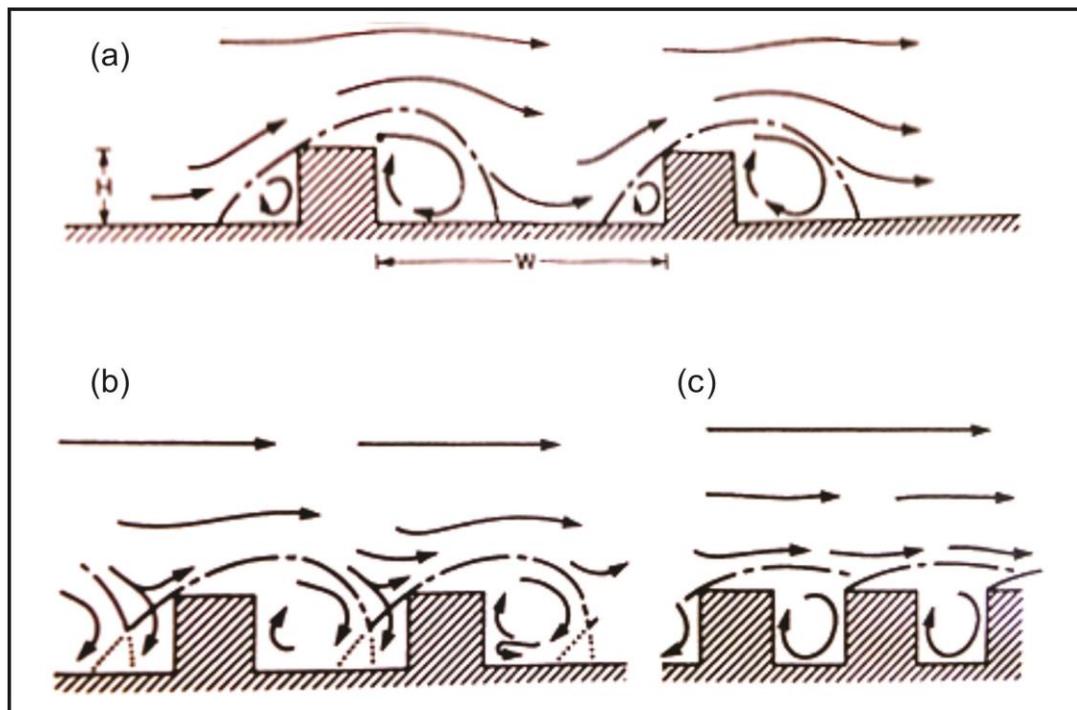


Figura 28: Influência dos afastamentos na ventilação urbana **Fonte:** Oke, 1987.

Este estudo se refere a ventos incidindo, perpendicularmente, nas fachadas de edifícios com a mesma altura. Se forem modificados algum destes parâmetros (altura ou orientação), os efeitos na ventilação urbana seriam alterados. Como mostra Givoni (1998), a integração de um edifício mais alto na malha urbana pode melhorar a taxa de renovação do ar em níveis mais baixos (ver figura 29). Por isso, o autor afirma que áreas urbanas mais densas, mas com variação na altura dos edifícios, podem ser mais bem ventiladas do que áreas urbanas com pouca densidade e com edifícios da mesma altura.

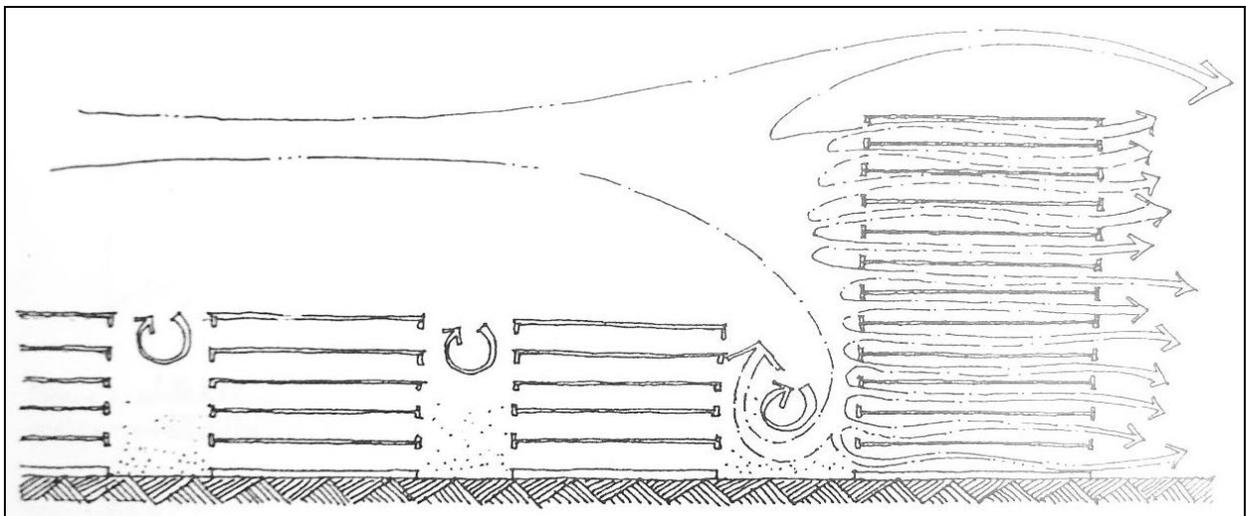


Figura 29: Efeito do vento em edifícios de diferentes alturas. **Fonte:** Givoni, 1998

Entretanto, o autor adverte que a velocidade do vento pode aumentar até 300 por cento e que, em determinados climas, pode provocar situações de desconforto. No caso do clima do Recife, em que os ventos são fracos, os edifícios altos podem contribuir para a melhoria do conforto térmico dos pedestres e para a dispersão dos poluentes ao nível do solo. Além disso, os prédios altos apresentam vantagens de habitabilidade, com maior acesso à ventilação e iluminação natural (GIVONI,1998).

Olgay (1998), por sua vez, focou o seu estudo na disposição de edifícios iguais, com **orientação e alinhamento diferenciados**, para avaliar a influência da forma urbana no deslocamento do vento. Para isso, dispôs seis paralelepípedos de três formas distintas e simulou num túnel de vento. Através da observação da dispersão de fumaça, o autor

analisou em que situação ocorria uma melhor distribuição da ventilação urbana (ver figura 30).

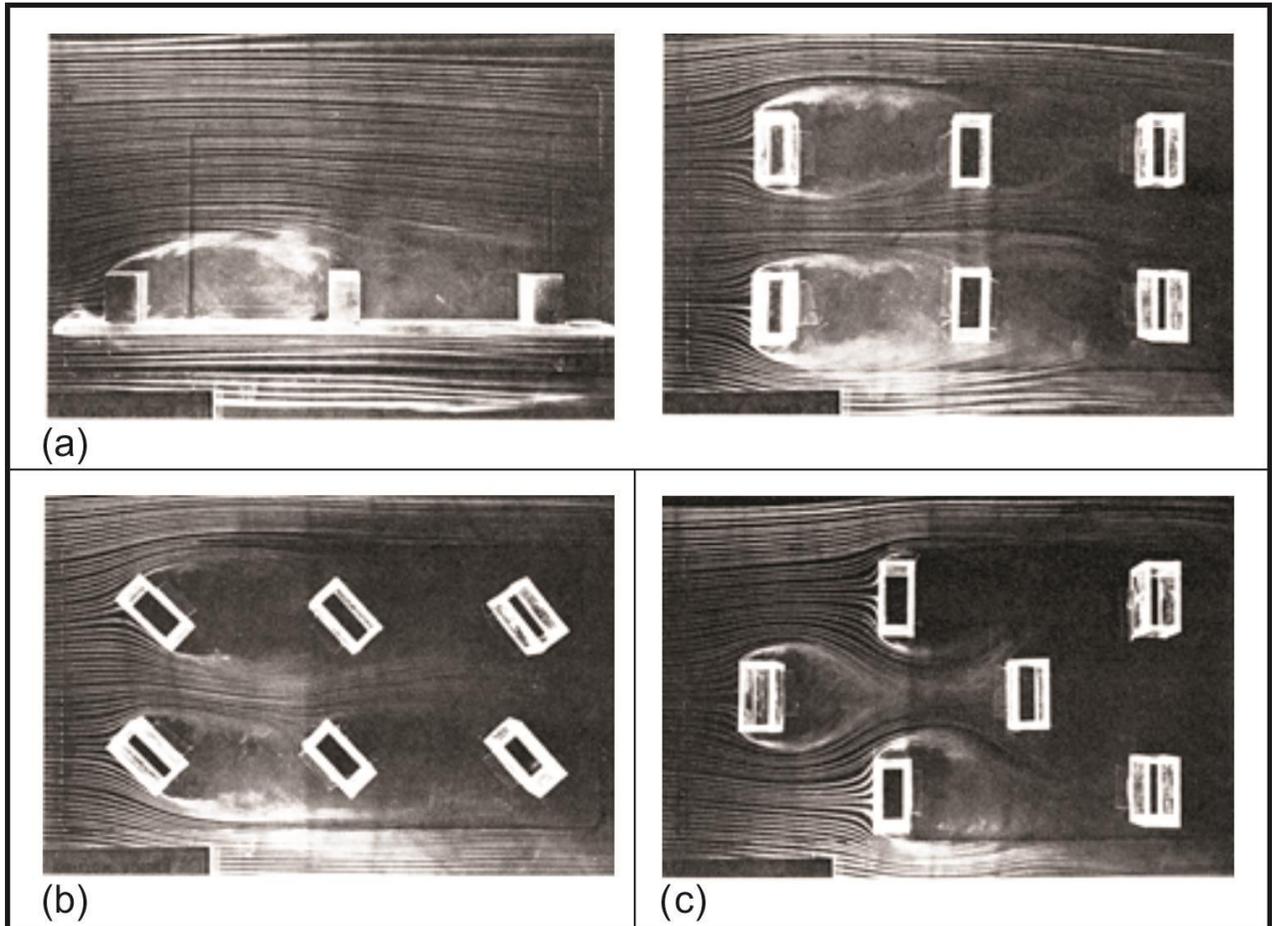
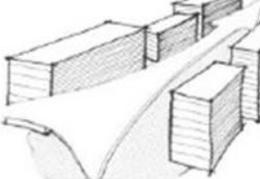
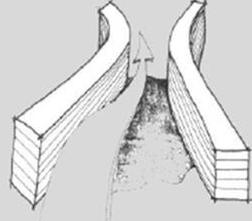
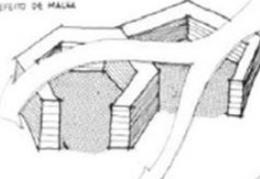
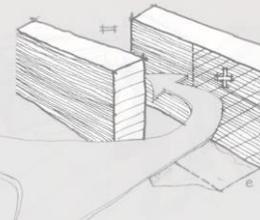


Figura 30: Efeito do vento em diferentes arranjos urbanos. **Fonte:** Olgyay, 1998.

A partir do estudo, o autor concluiu que os edifícios, que têm uma orientação perpendicular ao deslocamento do vento são os que sofrem maior impacto com a velocidade inicial do vento, enquanto os edifícios orientados a 45° do vento incidente recebem uma redução de até 50% da velocidade inicial. Quanto ao arranjo dos edifícios, o modelo que demonstrou uma melhor distribuição do ar foi o C, pois o desalinhamento dos edifícios faz com que o ar serpenteie os obstáculos e, além disso, possibilita um maior afastamento entre os edifícios, o que reduz o tamanho da sombra de vento em relação aos outros dois modelos.

Após analisar diversas formas de organizar os edifícios em meio urbano, Gandemer (1978) descreveu os **efeitos aerodinâmicos** caracterizados no quadro 8.

Efeito	Características	Ilustração
Efeito Canalização	Este efeito ocorre quando todos os edifícios estão alinhados ao longo da rua, gerando uma aceleração da velocidade inicial do ar. Dependendo do contexto que se insere pode gerar conforto ou desconforto aos pedestres.	
Efeito Venturi	Este efeito gera um fenômeno coletor dos fluxos de ar, resultante da disposição das construções num ângulo aberto ao vento. Esta configuração gera um afunilamento do vento, que provoca uma aceleração da velocidade inicial de ventilação, mais acentuada zona de maior estrangulamento.	
Efeito de Malha	Esse efeito resulta da justaposição de construções formando um alvéolo, na malha urbana. Este efeito é indesejado para o clima quente e úmido, porque união dos edifícios dificulta a penetração do vento, no interior da quadra.	
Efeito de união de zonas de pressão diferentes.	Este efeito ocorre quando os edifícios estão dispostos ortogonalmente à direção dos ventos. As massas de ar de pressões diferentes se interligam transversalmente gerando fluxos de ar no sentido das pressões decrescentes.	
Efeito de Pirâmide	Este efeito é resultante da forma piramidal do edifício, a sua geometria aerodinâmica não oferece grande resistência à passagem do vento. Possibilitando melhorar as condições de ventilação dos edifícios do entorno.	

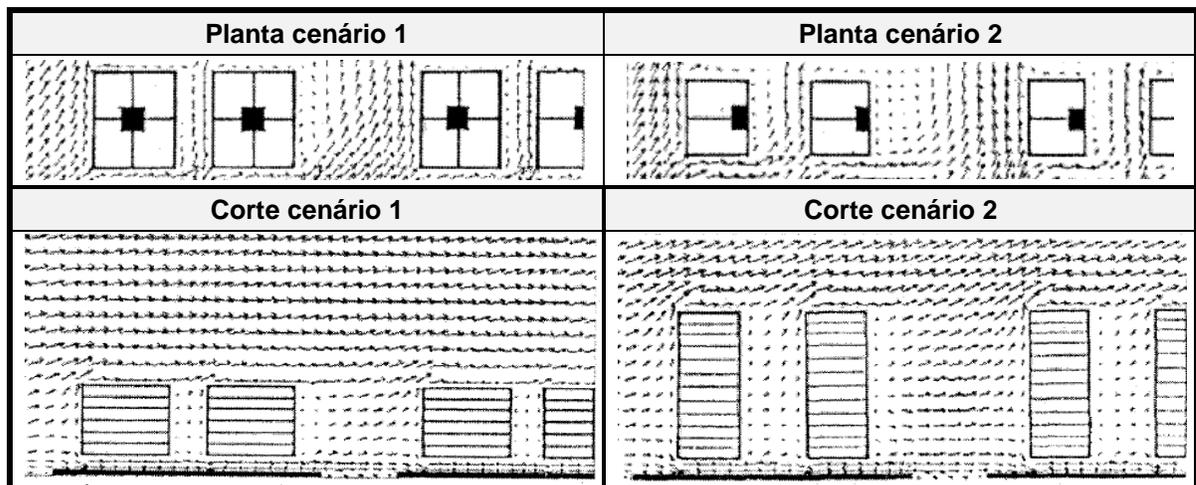
Quadro 8: Principais efeitos da forma urbana sobre o comportamento do vento. **Fonte:** Elaboração própria adaptado de Leite, 2010, com base em Gandemer, 1978; Mascaró, 1991; Romero, 2013.

Apesar da evolução do entendimento teórico dos efeitos da malha urbana sobre o vento, esta área de conhecimento, segundo Prata (2005), ainda carece de aprofundamento, com pesquisas experimentais que possam auxiliar o planejamento na tomada de decisão. Por meio de um levantamento bibliográfico, foi possível identificar

algumas pesquisas que apresentam temáticas semelhantes a este trabalho. Nestas, os autores constroem **diversos cenários de ocupação do território**, com o intuito de comparar e compreender as modificações que ocorrem nos padrões de ventilação.

Silva (1999) analisou sete padrões de ocupação do solo, divididos em dois grupos: um por ocupação espontânea, no qual as construções vão sendo implantadas de modo aleatório, cumprindo os dispositivos constantes da lei de uso e ocupação do solo, e outro, com base num planejamento modulado, com a repetição de blocos de edifícios tridimensionalmente uniformes, regularmente espaçados, cumprindo ou não o disposto no código de postura vigente, exceto no que se refere ao gabarito para a área do bairro de Bessa.

Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) simularam duas alternativas de ocupação de um lote típico da orla marítima de Maceió (ver quadro 9). No primeiro cenário, os autores respeitaram as restrições impostas pela legislação vigente para aquela área urbana, com taxa de ocupação do solo de 50%, gabarito de 6 pavimentos e coeficiente de aproveitamento de 4. No segundo cenário, mantiveram o coeficiente de aproveitamento, mas reduziram a taxa de ocupação para 25% e para compensar, aumentaram a altura do edifício para 12 pavimentos. Assim, houve um aumento dos afastamentos laterais entre os edifícios e uma redução do número de unidades por pavimento.

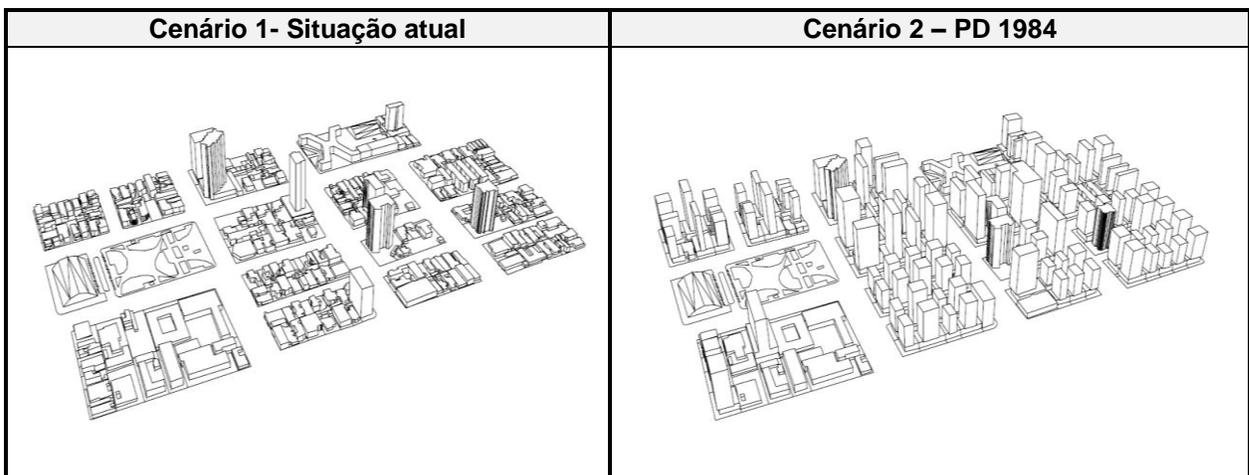


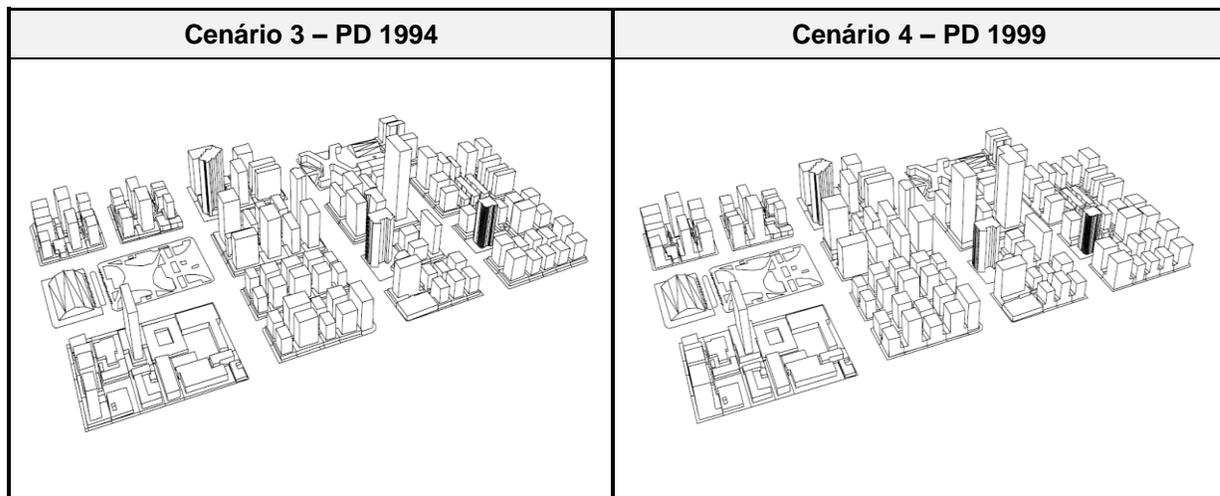
Quadro 9: Diferentes cenários de ocupação criados por Bittencourt, Cruz e Lôbo, 1997. **Fonte:** Bittencourt, Cruz e Lôbo, 1997

Ao analisar os resultados obtidos no programa de simulação de fluidos (CFD), constataram que o cenário 2 permite uma melhor distribuição do fluxo de ar nos ambiente internos e externos, evidenciando ser mais importante para a ventilação natural aumentar os recuos do que restringir a altura. Deste modo, o escalonamento da altura dos edifícios, imposto na legislação para os bairros da orla, não tem contribuído para a melhoria da ventilação natural de Maceió. Por isso, os autores sugerem algumas modificações na legislação:

- Redução da taxa de ocupação do lote urbano dos atuais 50% para 25%;
- Ampliação do limite de altura para doze pavimentos;
- Manutenção do coeficiente de aproveitamento 4;
- Pilotis na base do edifício, apenas com a caixa de escadas e elevador fechados;
- Manutenção das fórmulas para cálculo de recuos progressivos.

Costa (2001) por sua vez analisou a relação entre as prescrições urbanísticas de diferentes planos diretores (PD 1984, PD 1994, PD 1999), da cidade de Natal, com os padrões de ventilação urbana. O autor escolhe, como objeto de estudo, um trecho do bairro de Petrópolis e dá um enfoque na redução sucessiva de afastamentos, propostos nos diferentes planos. Para isso, Costa elabora quatro modelos: o primeiro corresponde à situação atual e os outros três são cenários possíveis que consideram a ocupação máxima permitida em cada plano (ver quadro 10).





Quadro 10: Diferentes cenários de ocupação criados por Costa (2001). **Fonte:** Elaboração própria adaptado de Costa, 2001.

O autor concluiu que “as alterações sucessivas nos índices e prescrições urbanísticas dos planos diretores estudados resultaram na redução sucessiva da velocidade dos ventos na área de estudo” (COSTA, 2001, p.89). Tendo o planejamento urbano contribuído para agravar a situação de conforto térmico do bairro, aumentando a possibilidade de formação de ilha de calor. Por isso Costa (2001) deixou três recomendações à legislação urbana da área de estudo: imposição de um limite de 550hab/ha de densidade máxima; retorno dos recuos mínimos exigidos no plano diretor (PD) de 1984; estímulos para uma ocupação mais horizontalizada com poucos edifícios em altura.

Marques (2003) também analisou a influência da legislação urbana na alteração dos padrões de ventilação urbana. O objeto de estudo empírico foi uma fração urbana da praia do meio, na cidade de Natal. Na realização da pesquisa, combinou três padrões de ocupação urbana com quatro variações edílicas, formando cinco modelos diferenciados: o primeiro corresponde à situação atual; o segundo à ocupação máxima permitida pela legislação para habitações multifamiliares; o terceiro é semelhante ao modelo do anterior, mas os edifícios estão sobre pilotis; o quarto é a ocupação máxima permitida pela legislação para serviços, com o modelo de edifício “pódio” sobre uma plataforma de estacionamento; e o quinto é semelhante ao anterior, mas os edifícios contêm pavimentos vazados (ver figura 31).

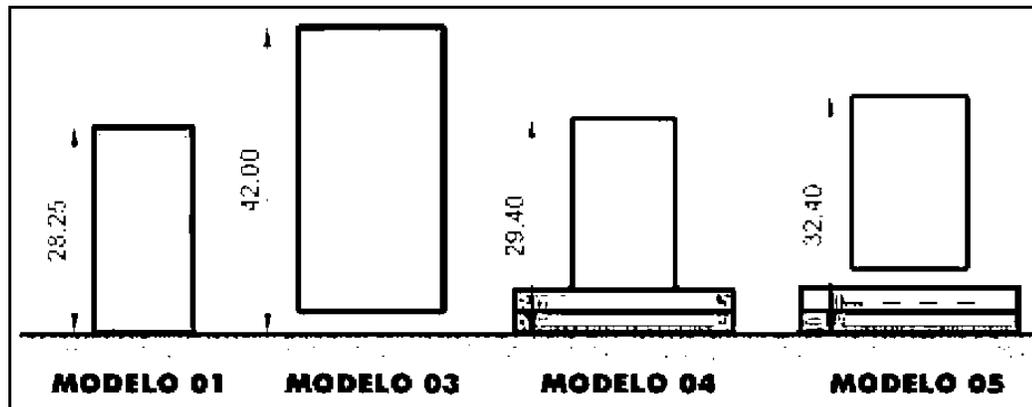


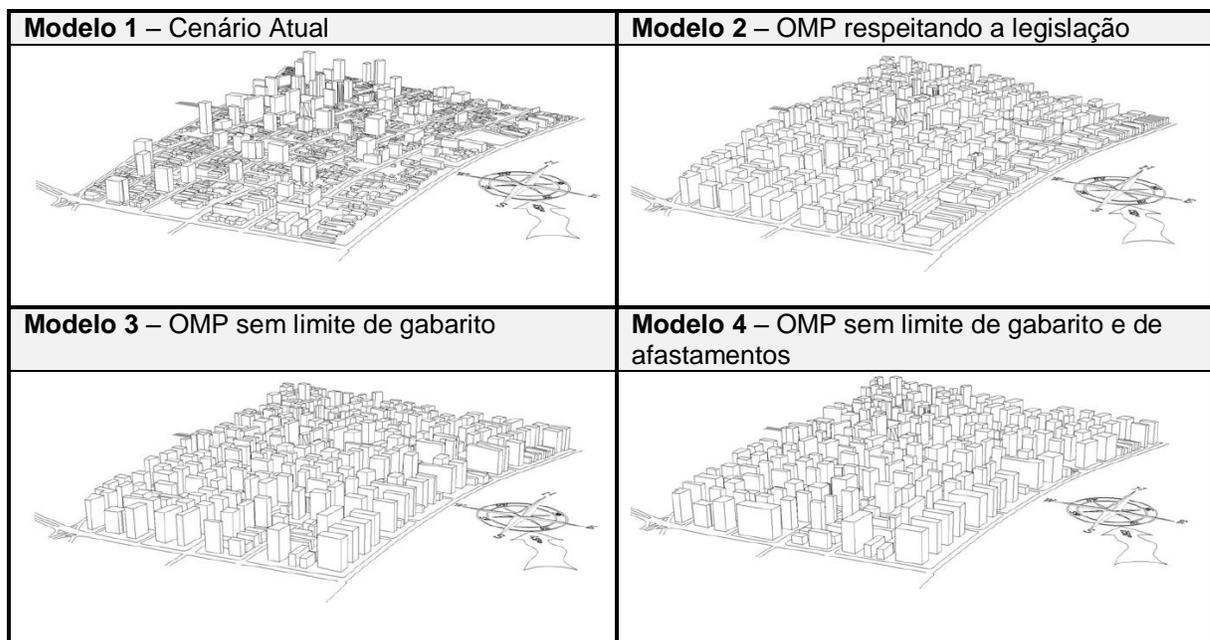
Figura 31: Diferenças edilícias entre os modelos. Fonte: Marques, 2003.

O autor excluiu o modelo dois da pesquisa porque teve problemas durante a fase de simulação. Assim, dos quatro cenários analisados concluiu que, o modelo 01, apresentou as melhores médias de velocidade por ser o modelo com maiores afastamentos e com menor altura média dos edifícios. O modelo 03 foi o que apresentou o segundo melhor desempenho ao nível do solo porque contempla área de pilotis na base dos edifícios. Contudo, acima dos 10m, este mesmo modelo 03, foi o que obteve pior atuação porque os edifícios são mais altos, assim, formam uma grande zona de esteira a sotavento. O modelo 05 foi o que teve a terceira melhor performance por contemplar pavimentos vazados e, por fim, como a pior solução edilícia é apresentada no modelo 04 porque tem as piores médias de ventilação ao nível do solo. Com base resultados, Marques (2003) prescreve algumas medidas a serem adotadas nos planos urbanísticos para a melhoria da ventilação:

- Determinação dos recuos, conforme o conhecimento do vento predominante;
- Tornar a malha urbana mais porosa, através do aumento dos recuos e do incentivo ao uso de pilotis e de pavimentos vazados;
- Controle do gabarito, conforme a linha visual da orla, ou conforme a redução da densidade construtiva permitida, ou por meio da redução da taxa de ocupação para edifícios com mais de cinco pavimentos;
- Diminuição progressiva da taxa de ocupação do terreno, conforme as suas dimensões;
- Promover a variação da rugosidade, por meio da admissão de edifícios mais altos, que comprovem melhorias ambientais do entorno imediato.

Prata (2005) analisou as modificações, que ocorrem na ventilação urbana, quando são alterados os gabaritos das edificações. O recorte espacial da pesquisa foi um trecho do bairro da Pompeia, na cidade de Santos. A área de estudo contempla edifícios com uma média de quinze pavimentos, junto à orla da praia, e edifícios de três a seis pavimentos, nas quadras posteriores. A autora comparou o cenário de ocupação atual com um possível futuro em função das tendências de verticalização da cidade naquele bairro, com a inserção aleatória de edifícios de vinte e seis pavimentos. Por fim, conseguiu comprovar a sua hipótese de pesquisa de que a altura dos edifícios e a sua posição influenciam negativamente no fluxo de vento em meio urbano.

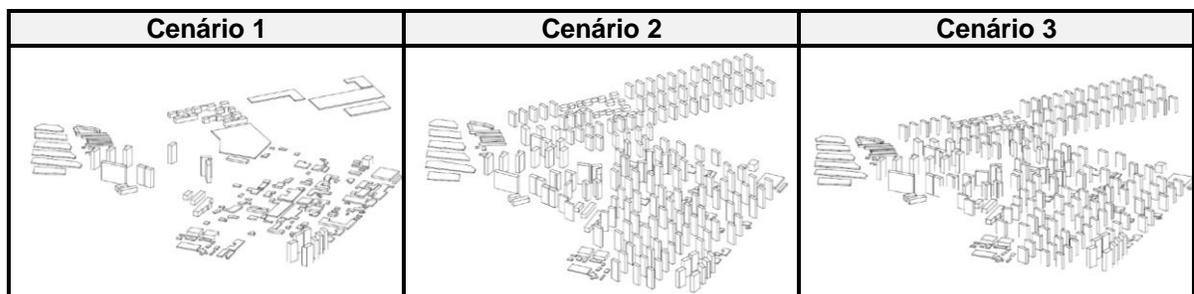
Peregrino (2005) por sua vez, avalia a relação de escoamento do vento com a legislação proposta para parte dos bairros de Cabo Branco e Tambaú, na cidade de João Pessoa. Como metodologia, o autor elabora quatro modelos de ocupação do solo: a situação atual, o cenário de ocupação máxima permitida (OMP), respeitando a limitação de gabarito vigente na legislação, OMP sem respeitar o gabarito, contendo dezassete edifícios de 51 metros de altura e, por fim, cenário de OMP sem respeitar o gabarito e os afastamentos (quadro 11).



Quadro 11: Diferentes cenários elaborados por Peregrino (2005). **Fonte:** Peregrino, 2005.

O autor concluiu que o escalonamento proposto pela legislação compromete as condições de ventilação natural e de qualidade do ar, tendo esse modelo oferecido um dos piores desempenhos. Assim, neste caso de estudo específico, seria melhor não haver a limitação de gabarito escalonado, pois este promove a elevação da camada limite atmosférica e o deslocamento do ar passa para níveis mais altos.

Já **Leite (2010)** teve como objetivo estudar a influência da alteração nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural, com estudo de caso em partes do bairro Iracema e Cambeba, na cidade de Fortaleza. Para o estudo, a autora elaborou três modelos: a situação atual, a situação de ocupação máxima permitida na legislação e uma proposta intermediária como crítica à permissividade da lei (ver quadro 12).



Quadro 12: Diferentes cenários elaborados por Leite (2010). **Fonte:** Leite, 2010.

Os resultados indicaram o comprometimento das condições de ventilação, na região posterior do cenário de máxima ocupação permitida, pela elevação do gradiente de vento. Além disso, a autora concluiu que a verticalização permite melhores condições de circulação do ar, uma vez que o aumento da altura impulsionou uma redução na taxa de ocupação do solo. Como também já havia sido referido por Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) em seu estudo de caso.

Analisando estas pesquisas, pode se destacar alguns **aspectos em comum**:

- Os modelos sempre relacionam a situação atual com uma possível, futura;
- O modelo futuro sempre se baseia na legislação de uso e ocupação do solo para aquela área específica;

- Todos os autores, à exceção de Costa (2001) e Prata (2005), elaboram o cenário de ocupação máxima permitida (OMP) e cenários com soluções intermédias embasadas no conhecimento teórico da bioclimatologia como uma crítica a legislação atual e mostrando alternativas de ocupação do solo;
- Costa (2001) também analisa a OMP, mas sob uma perspectiva histórica de evolução da legislação;
- Prata (2005) cria o cenário que acha mais provável para a área de estudo, considerando a ocupação do mercado imobiliário nos bairros em volta;
- Todas as pesquisas foram no clima tropical quente e úmido, em cidades litorâneas;
- Todos trabalham com a manipulação da forma urbana, mas Marques (2003) e Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) englobam, igualmente, a modelagem do edifício;

Todas as pesquisas mencionadas abordam o tema da densidade, da forma urbana, e dos padrões de ventilação natural, avaliando como a relação entre estes elementos poderia beneficiar o conforto ambiental da população nos espaços urbanos. O próximo subcapítulo expõe as diferentes metodologias adotadas por estes autores e a metodologia escolhida para a elaboração desta pesquisa.

2.2.4. Metodologias de análise

Existem diversas metodologias de análise do movimento do ar em meio urbano. Contudo, pode-se destacar, como as mais comumente utilizadas: as medições in loco, as simulações em maquetes físicas e as simulações em modelos digitais. Alguns pesquisadores englobam todas as metodologias em uma investigação, enquanto outros optam por seguir apenas um dos procedimentos. A **escolha do método** depende do objetivo da pesquisa, do tempo disponível e da acessibilidade ao material de investigação. Cada um apresenta as suas vantagens e desvantagens e nenhum deles

consegue compreender a totalidade dos fenômenos de ventilação, que ocorrem no meio urbano a todo o instante.

As **medições in loco** são, geralmente, efetuadas para analisar a situação atual de um bairro ou para servir de dados de entrada no modelo de ventilação. Este tipo de procedimento pode ser identificado nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos por Silva (1999), Prata (2005), Leite (2010). Segundo o Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (RUROS) as medições in loco têm a vantagem de apresentar dados mais realistas, visto que todas as variáveis de urbanização estão incluídas, como, por exemplo, a vegetação e as atividades humanas. Para realizar a medição, é necessário ter acesso a alguns instrumentos específicos, como por exemplo, o anemômetro, a bússola, um poste (caso queira extrair dados em maior altitude) e tempo suficiente para realizar as medições, (idealmente as medições devem cobrir as combinações mais frequentes de velocidade e direção do vento). A figura 32 ilustra a utilização do anemômetro digital em Recife.



Figura 32: Utilização do anemômetro digital para efetuar medições na cidade do Recife. **Fonte:** Arquivo pessoal.

As **simulações em modelos físicos** podem ser elaboradas em dois tipos de equipamentos: o túnel de vento e a mesa d'água. A mesa de água possibilita visualizar o deslocamento do fluido em uma maquete física, no entanto, a simulação é limitada à análise bidimensional. Por isso a grande maioria dos pesquisadores opta por utilizar o túnel de vento, que oferecer uma resposta mais realística aos fluxos turbulentos em

diferentes níveis do gradiente de pressão. Existem dois tipos de testes praticados no túnel de vento: o de erosão de partículas ou o de visualização de fluidos. Peregrino (2005) e Prata (2005) utilizaram a técnica de erosão de partículas, que se baseia na visualização do deslocamento de fina camada de areia, pelo modelo, após submetê-las a uma velocidade de escoamento. Já Olgay (2002); Salim e Moya (2012) preferiram aplicar a técnica de escoamento, que possibilita registrar o fluxo de fumaça pelo modelo.

No entanto, para empregar estas técnicas é necessário ter acesso a um laboratório que contenha os equipamentos de simulação (ver figura 33) e é imprescindível construir os vários modelos físicos em escala reduzida, tornando a pesquisa dispendiosa e prolongada



Figura 33:a) Túnel de vento do laboratório de conforto ambiental da Universidade Estadual de Campinas, b) Mesa d'água do laboratório GECA da Universidade Federal de Alagoas. **Fonte:** Arquivo Pessoal.

Por fim, as **simulações em modelos digitais**, segundo Salim e Moya (2012), são uma boa alternativa aos testes de túneis de vento. Estes modelos se baseiam nos conhecimentos da dinâmica de fluidos ou CFD (*computer fluid dynamics*), que são códigos computacionais complexos capazes de simular a dinâmica da maioria dos fluxos de ar e processos de transferência de calor (MARQUES, 2003). Os primeiros modelos surgiram na década de 1960, com o desenvolvimento da engenharia aeroespacial e apresentavam os resultados em fluxos bidimensionais. Com o avanço da tecnologia e dos modelos de algoritmos, a precisão dos modelos melhorou e a

visualização passou a ser tridimensional. Desde então, o uso de *softwares* CFD para o estudo de projetos tem sido essencial em várias áreas da engenharia mecânica, civil, naval e nas indústrias (SACRAMENTO, 2012).

Existem vários *softwares* CFD, que são, geralmente, utilizados em pesquisas de ventilação interna e externa. Os mais comuns são:

- Ansys CFX, utilizado por Prata (2006), Brandão (2009), Leite (2010), Cóstola (2006) Salim e Moya (2012), Cunha (2010), entre outros;
- Phoenics, utilizado por Marques (2003), Costa (2001), Sacramento (2012), Cândido (2006), entre outros;

Além destes dois, pode-se destacar o uso do *software* Envi-met, por Brandão (2009), e do *software* Vasari, por Salim e Moya (2012). Segundo Leite (2010), a utilização destes aplicativos tem diversas vantagens, se comparada com os outros métodos, pois possibilita a análise de diversos modelos de ocupação do território. No entanto, o RUROS ressalta que os *softwares* são usualmente dispendiosos, e os cálculos efetuados pelo programa requerem computadores com elevada capacidade de processamento, elevando o custo das simulações. Além disso, o pesquisador tem de ter maior conhecimento sobre o programa em si, e sobre os fluxos de ventilação para o adequado manuseio da ferramenta. Costa (2001) ressalta ainda, que estes modelos, não conseguem ser tão realistas como as medições in loco, porque isolam a variável de ventilação do contexto urbano. No meio urbano, existem elementos construídos ou naturais, com propriedades térmicas específicas, que podem estar em atividade (carros, ar condicionado) ou não, e que modificam a temperatura do ar e o fluxo de ventilação ao redor. Assim, a falta de contemplação de todas as informações urbanas e das atividades humanas que são realizadas, impede um conhecimento mais aprofundado.

3. ESTUDO DE CASO - O CAIS JOSÉ ESTELITA, RECIFE.

Este capítulo faz a caracterização da área de estudo e foi dividido em dois subcapítulos. O primeiro apresenta a cidade do Recife, com o enquadramento do modelo de crescimento da cidade, da legislação vigente e da caracterização climática. Enquanto o segundo apresenta a área de estudo experimental, começando por descrever a história do Bairro de São José, passando pela caracterização do Caís José Estelita, e por fim descrevendo a proposta do projeto Novo Recife.

3.1. Cidade do Recife

A cidade do Recife é a capital do estado de Pernambuco e está localizada no litoral do Nordeste brasileiro, na latitude $-08^{\circ} 03' 14''$, na longitude $-34^{\circ} 52' 52''$, com altitude de quatro metros, em seu centro. A área territorial é composta de morros (67,43%), de planícies (23,26%), e de zonas aquáticas (9,31%) (PREFEITURA DO RECIFE, 2013a). De acordo com o Censo demográfico, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a cidade tem uma população de 1.537.704 habitantes, distribuídos em um território de 218,50 km², com uma densidade demográfica de 7,038 (hab./km²). A cidade é o núcleo principal da Região Metropolitana do Recife (RMR) que integra 14 municípios, que concentram 41,67 % da população do Estado e grande parte das atividades econômicas do mesmo (PREFEITURA DO RECIFE, 2013a).

Segundo BITOUN et al. (2013) a **dinâmica e a organização espacial** da região metropolitana de Recife tem-se alterado devido a uma maior concentração de empreendimentos econômicos. Como a implantação do Complexo Industrial e Portuário de Suape, na zona Sul, o projeto da Cidade da Copa, na zona Oeste, e a proposta do Pólo Farmacoquímico e da Fábrica da Fiat na zona Norte. Para além destes grandes projetos indutores de transformação urbanística, os autores também aludem para o

surgimento de novas infraestruturas viárias e de novos condomínios fechados, tanto na zona Sul, quanto na zona Noroeste.

Para Barros e Lombardo (2013) estes investimentos tem impulsionado a expansão da cidade para os municípios envolventes e o adensamento urbano, sobretudo, junto às margens de água. Esta constatação vai de acordo com a afirmação de BITOUN et al. (2013, p.5), a “RM Recife exhibe um padrão de ocupação espacial caracterizado, ora por uma malha contínua que ultrapassa limites político-administrativos municipais, ora por incorporar núcleos urbanos isolados”. Demonstrando características tanto de uma cidade compacta, densamente construída, quanto de uma cidade dispersa, com pequenas ocupações espalhadas no território, produzindo um padrão de ocupação que Abramo (2007) denomina de **cidades COM-FUSAS**, ou seja, compactas e difusas.

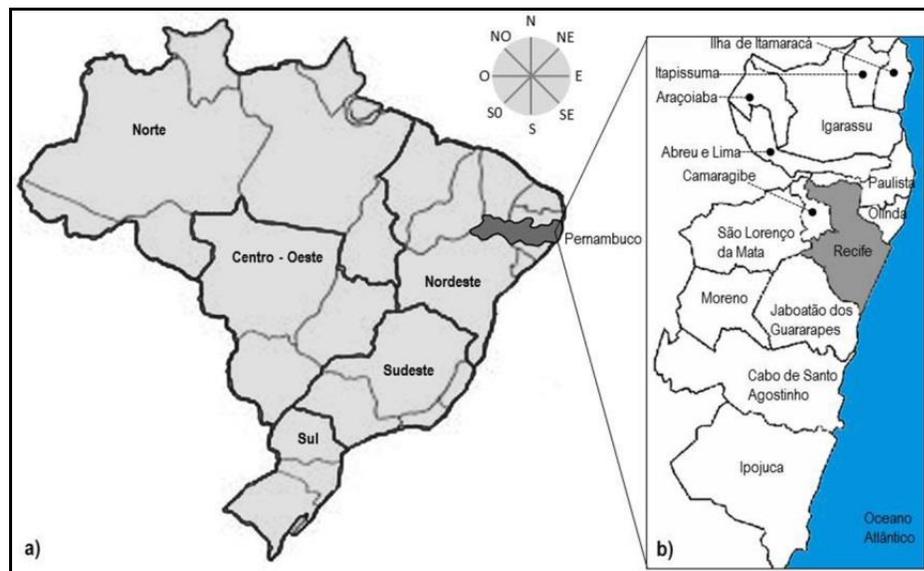


Figura 34: a) Localização de Pernambuco no Brasil, b) localização de Recife na Região Metropolitana.

Fonte: Adaptado de CONDEPE/FIDEM, 2011.

O **clima da cidade** é caracterizado por ser **tropical litorâneo quente e úmido**, com temperaturas elevadas ao longo do dia e do ano (média anual de 25,5°C), com uma radiação difusa muito intensa, um alto grau de umidade do ar (média de 80%) e uma precipitação média anual elevada, sobretudo nos meses de inverno, acima de 2.000mm (FREITAS, 2008). Existem dois padrões climáticos durante o ano: a estação seca ou de

estiagem, que se prolonga de setembro a fevereiro (primavera-verão), e a estação chuvosa, de março a agosto (outono-inverno) (BARROS E LOMBARDO, 2013). Esses dados podem ser facilmente assimilados, a partir da tabela 4 e do gráfico representado na figura 35.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez	Média
T. máx °C	30,2	30,2	30,0	29,7	28,9	27,9	27,3	27,5	28,1	29,0	30,1	30,2	29,1
T. min °C	22,4	22,6	22,7	22,6	21,9	21,6	21,1	20,6	20,7	21,4	21,9	22,2	21,8
Umid. (%)	73,0	77,0	80,0	84,0	85,0	85,0	85,0	85,0	78,0	76,0	74,0	75,0	79,8
Prec. (mm)	108	148	256	337	318	377	388	204	122	63,0	35,7	56,8	2417
V.(m/s)	2,98	2,75	2,29	2,25	2,25	2,57	2,87	3,1	3,26	3,16	3,29	3,12	2,82
D.	SE	E	SE	SE									

Tabela 4: Normais climatológicas⁹ do Recife 1961 – 1990. Média da temperatura máxima e mínima (°C); Média da Umidade relativa do ar (%); Média da Precipitação acumulada (mm); Média da direção e velocidade do vento a 10m de altitude (m/s). **Fonte:** Elaboração própria adaptado de INMET - Estação do Curado (longitude -35/ latitude -8.1).

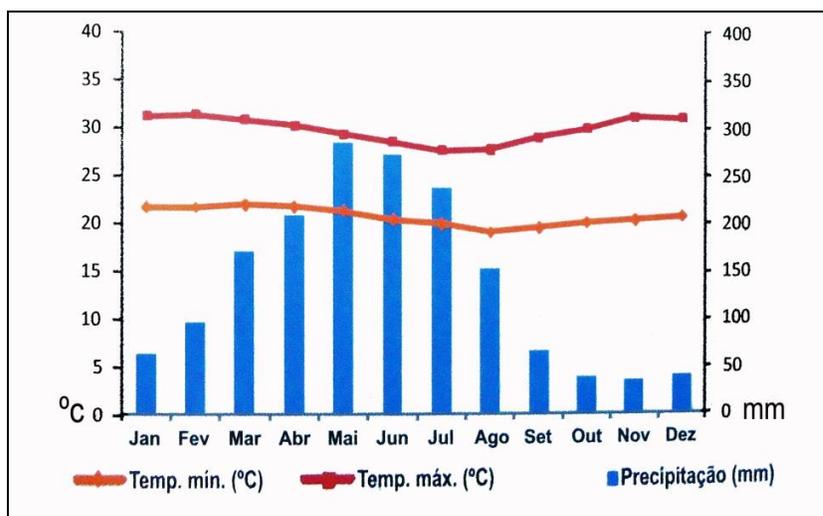


Figura 35: Média mensal de Temperatura máxima e mínima (°C), e média mensal de precipitação (mm) na cidade do Recife. **Fonte:** CONDEPE/FIDEM, 2011.

A cidade está sob a influência dos **ventos alísios do hemisfério austral**, com a direção predominante de sudeste e direções secundárias de Sul e de Leste. A velocidade média, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é de 2,82 m/s (ver tabela 2). No entanto, para Bittencourt e Cândido (2010), este valor pode ser

⁹ Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas”. Fonte: INMET

enganoso, por ocultar as oscilações que ocorrem na velocidade do vento ao longo do dia e do ano. Como o vento não é um fluido contínuo e nem constante, existem períodos de maior intensidade e períodos de calma (ausência de vento). Sem o conhecimento mais aprofundado das características dos ventos, em um determinado local, é possível, e provável, ocorrerem erros de interpretação do real potencial da ventilação natural (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2010).

Assim, Bittencourt (1993) fez uma análise aos **dados de ventilação** recolhidos pelo INMET na cidade do Recife e dividiu em quatro grupos, de acordo com o horário: Madrugada (0h às 6h), Manhã (6h às 12h), Tarde (12h às 18h) e Noite (18h às 24h). O autor avaliou as velocidades médias, a frequência e a direção do vento para esses períodos, ao longo dos diferentes meses do ano. Posteriormente sistematizou os dados e apresentou em três gráficos, que dividem as horas do dia: 3h (madrugada), 9h (manhã), 15h (tarde) e 21h (noite).

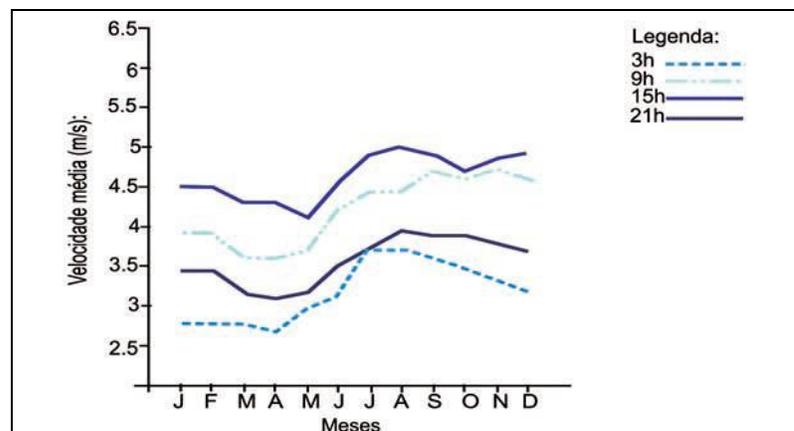


Figura 36: Média mensal da velocidade do vento em diferentes horas do dia, excluídos os períodos de calma, para a cidade de Recife/ PE. **Fonte:** Bittencourt, 1993 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

No primeiro gráfico, apresentado na figura 36, o autor demonstra a **variação média da velocidade do vento**, nesses quatro períodos do dia, ao longo dos meses do ano. Na análise, foram excluídos, dos cálculos, os períodos de calma, pois estes distorcem a real velocidade do vento nos momentos em que ocorrem. A partir do gráfico, é possível constatar que as velocidades mais baixas ocorrem nos períodos da madrugada e da noite, enquanto as velocidades mais elevadas ocorrem nos períodos da tarde e da

manhã, justamente os períodos onde a temperatura do ar é mais elevada e a ventilação, mais necessária.

No segundo conjunto de gráficos (ver figura 37), o autor avaliou a **frequência dos ventos, em cada direção**, para cada mês do ano e nos quatro períodos do dia. A partir deste gráfico, é possível verificar a **variação sazonal do vento** na cidade do Recife. Ao longo do ano, é plausível conferir uma grande frequência do vento predominante de sudeste e uma variação dos ventos secundários Sul, Leste e terciário Nordeste, sendo o primeiro mais predominante nos meses de Inverno e o segundo e terceiro, nos meses de Verão. Além disso, é possível constatar a variação que ocorre ao longo do dia, fruto das brisas marítimas e terrestres, visto que acontece um aumento significativo de vento de sudoeste no período das 3h da madrugada (brisa terrestre), que se prolonga no período da noite e da manhã, durante os meses de Inverno.

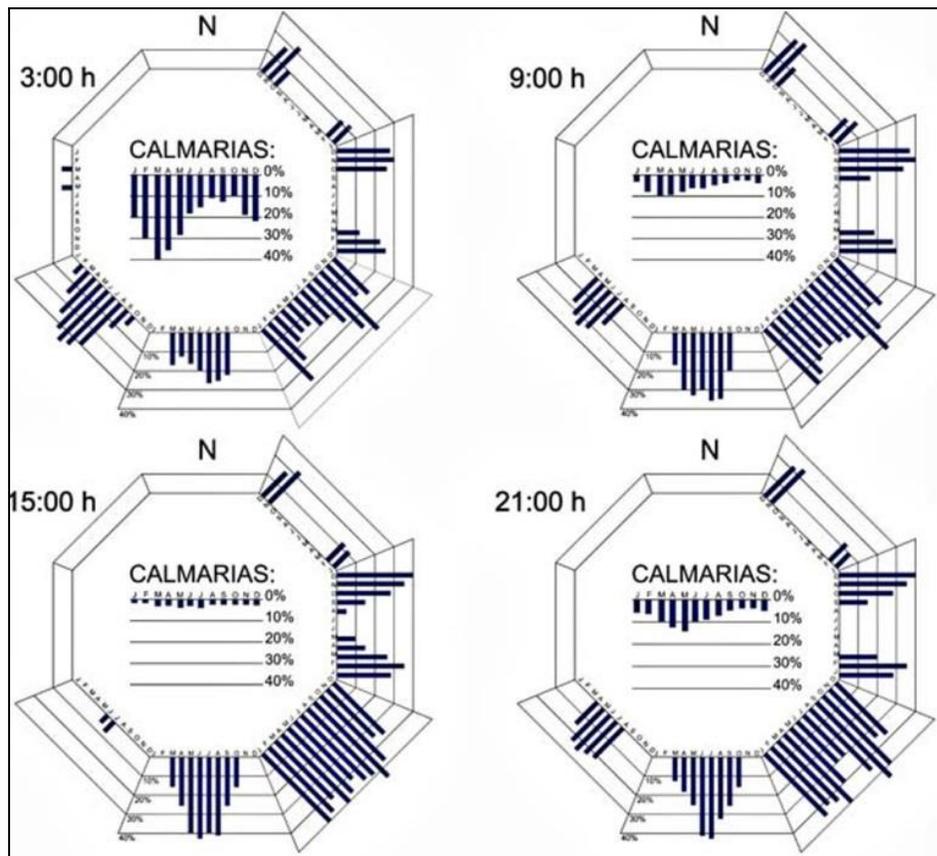


Figura 37: Frequência e direção do vento às 3h, às 9h, às 15h e às 21h para a cidade do Recife/PE.
Fonte: Bittencourt, 1993 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

Esta representação gráfica (figura 37) é muito relevante porque, também mostra a percentagem de períodos de calma para cada uma dessas horas. Deste modo, é possível verificar que ocorrem mais períodos de ausência de ventos às 3h da madrugada, nos meses de Fevereiro a Março, e pouca incidente de calmarias às 9h da manhã e às 15h da tarde em todos os meses do ano. Um gráfico semelhante a este foi produzido pelo programa SOL – AR¹⁰ (ver figura 38). Apresenta a **frequência de ocorrência dos ventos e a percentagem de períodos de calma** para cada estação do ano (Primavera, Verão, Outono, Inverno) para oito pontos cardeais (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO).

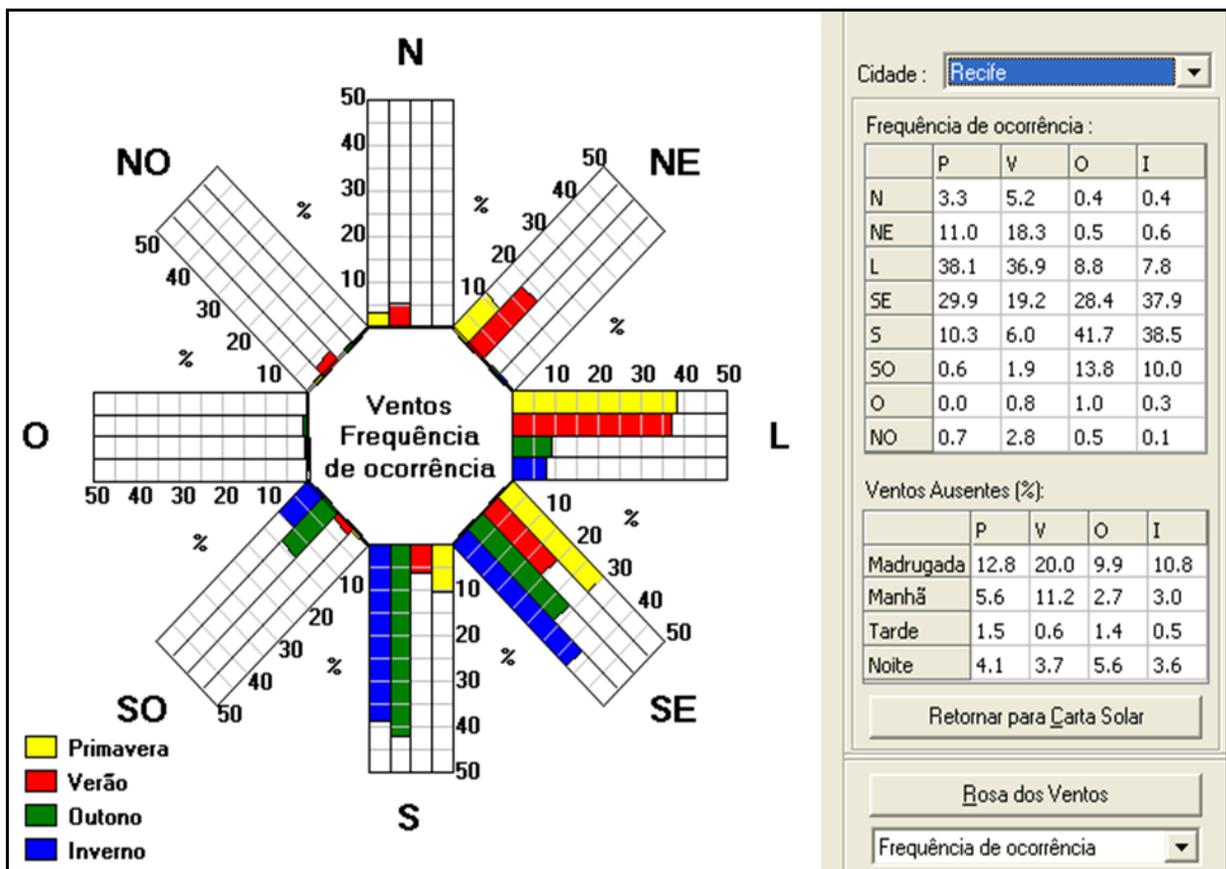


Figura 38: Frequência de direção do vento nas diferentes estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno). **Fonte:** Lamberts, Dutra e Pereira, 2004

¹⁰ Software desenvolvido no laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. O programa gera a rosa dos ventos com base nos dados das Normais Climatológicas disponibilizados pelo INMET.

Por fim, o último conjunto de gráficos elaborados por Bittencourt (2003) (ver figura 39), o autor demonstra a **frequência em que cada velocidade de vento ocorre, em diferentes horários do dia**, e em quatro meses distintos do ano: Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Este gráfico possibilita verificar se existem ventos muito fortes, ou muito fracos, nos diversos períodos do dia e em cada um dos meses do ano. Desta forma, é plausível verificar que, no horário das 15h, é mais frequente a ocorrência de ventos a 5m/s e, em seguida, de ventos de 3m/s, 4m/s e 6m/s, demonstrando pouca variabilidade ao longo do ano e muita variabilidade ao longo do dia. No horário das 3h da madrugada, entretanto, existe uma maior frequência de ventos a 0m/s (período de calmaria) e de 2m/s. No período das 9h da manhã, por sua vez, as maiores frequências vão dos 2m/s até os 6m/s, mudando bastante, conforme o mês do ano, tendo frequência mais forte (6m/s) no mês de Novembro e às 21h. Tais frequências alteram, principalmente, entre os 2m/s e os 5m/s, tendo uma frequência significativa (15%) de calmarias nos meses de Fevereiro e Maio.

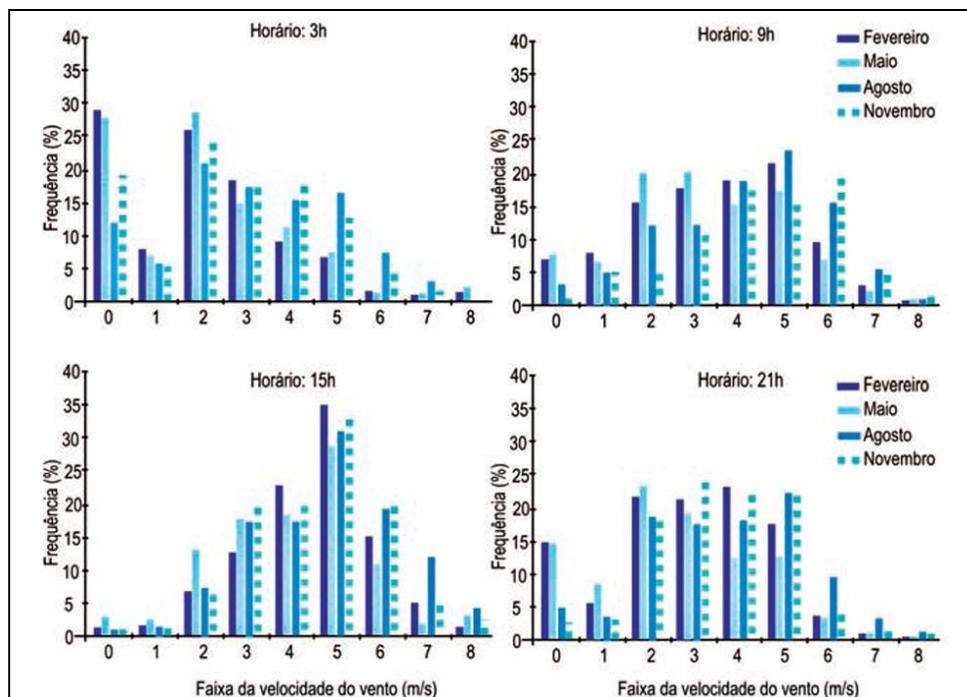


Figura 39: Frequência das velocidades do vento em Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro, às 3h, às 9h, às 15h e às 21h para a cidade de Recife. **Fonte:** Bittencourt, 1993 *apud* Bittencourt e Cândido, 2010.

No final desta análise, o autor conclui que o Recife tem um forte potencial de ventilação natural, não só por apresentar velocidades médias satisfatórias, ao longo de todo o ano, mas também porque tem um maior potencial de ventilação nas horas de maior calor, quando é mais necessária para garantir o conforto ambiental da população.

No entanto, se analisarmos a **evolução da legislação** urbanística de Recife, facilmente, constatamos que a situação de conforto não tem sido tratada adequadamente (ver imagem 40). Medina (1996) afirma que as normas urbanísticas instituídas em Recife a partir da última metade do século geraram um “desequilíbrio na eficácia das infraestruturas urbanas” (MEDINA, 1996, p.540), devido à elevada densidade permitida nos parâmetros e a lógica de regulamentação privada do lote.

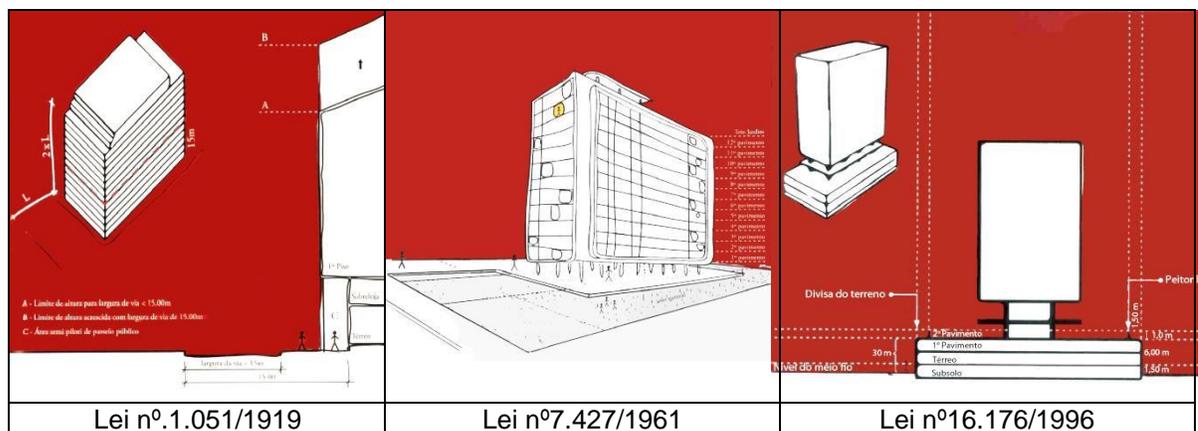


Figura 40: As diferentes formas de ocupação do solo segundo as legislações de 1919, 1961 e 1996.

Fonte: Nóbrega et al. (2014).

A **lei municipal nº 1.051/1919** constituía um código de posturas e obras municipais. Segundo Medina (1996) incorporava o zoneamento da cidade determinado pela lei municipal nº865 do mesmo ano 1919, dividindo a cidade em 4 perímetros: 1º perímetro-principal; 2º perímetro- urbano; 3º perímetro- suburbano; 4º perímetro- rural. O zoneamento tinha a configuração radio-concêntrica; onde a densidade e as atividades urbanas diminuía conforme se ia afastando do centro. Estabelecendo normas restritivas à localização, ocupação e construção das atividades consideradas incômodas ou insalubres.

Segundo Nunes (2008) esta lei foi influenciada pelo movimento sanitarista Europeu e, por isso, limitava a altura dos edifícios conforme a largura da rua e consoante o zoneamento, para garantir iluminação e ventilação natural. Contudo, o artigo 81, da mesma lei, permitia aumentar a altura dos edifícios, caso o proprietário recuasse a ocupação frontal do edifício, e construísse uma área abrigada do sol para o pedestre circular, bem como, espaços comerciais, nos pisos térreos, fortalecendo a vitalidade do espaço urbano. Por isso Nóbrega et al. (2014) afirmam que esta lei demonstrava uma forte preocupação, com o conforto ambiental, e com a qualidade de vida urbana (ver imagem 41).



Figura 41: Imagem de ocupação, segundo a legislação de 1919, Bairro de Santo Antônio. **Fonte:** Elaboração própria.

Contudo, é possível verificar, que, segundo a lei, os edifícios não precisavam considerar afastamentos laterais, por isso eram construídos, blocos de edifícios contínuos, alinhados com a rua, que poderiam gerar grandes barreiras à circulação do ar, ou incentivar o efeito de canalização na rua, dependendo da orientação das edificações em relação aos ventos dominantes. Esta forma de ocupação urbana segue os princípios estéticos e sanitaristas Europeus, e nesse sentido se demonstra, pouco apropriada para o clima quente e úmido de Recife.

Com a alteração do código de obras, **Lei nº 7. 427/1961**, a altura do edifício passou a ser determinada pelas divisas do lote, começando, assim, a contemplar a preocupação de afastamentos laterais e de fundo, melhorando a permeabilidade da malha urbana. Na nova legislação, passou a ser obrigatória a permanência de parte do solo natural do terreno, o que permite uma melhor drenagem da água da chuva. Além disso, segundo Nóbrega et al. (2014), nesta lei, foi inserido o conceito de pilotis, uma das características fundamentais da arquitetura moderna, e o de uso múltiplo, por meio da obrigatoriedade de pavimentos comerciais. Contudo, apesar de a introdução de afastamentos ser positiva, pois permite a maior porosidade e otimização da ventilação, os recuos frontais podem trazer menos vitalidade urbana, pois não permitem uma relação tão direta com a rua.

A **lei nº 16.176/1996**, por sua vez, trouxe alterações importantes em relação à regulamentação das áreas de garagens das edificações. Tal mudança transformou, radicalmente, a base do edifício e prejudicou, enormemente, o conforto humano e a ventilação urbana. Isso ocorre, porque o edifício pódio, como foi chamado, não só diminui a vitalidade urbana, como também cria enormes barreiras à ventilação, ao nível do pedestre (ver imagem 42). Deste modo, a massa construída, nos primeiros pavimentos, se assemelha de certa forma, àquela definida pela lei nº 1.051/1919. Contudo, na primeira, os edifícios, alinhados na calçada, apresentavam proteção, por meio de marquises, para o pedestre e tinham, ainda, uso comercial. Atualmente, o usuário deve caminhar em calçadas rodeadas de muros de garagem, em ruas vazias e desconfortáveis (NÓBREGA ET AL, 2014).



Figura 42: Imagem de ocupação, segundo a legislação vigente, bairro de Boa Viagem. **Fonte:** Elaboração própria.

Todas estas modificações na legislação – a redução da cobertura vegetal, o adensamento urbano e expansão da cidade, sem um cuidadoso estudo microclimático e sem uma legislação que restrinja normas às edificações, em conformidade com as características climáticas do Recife – impactaram muito na qualidade dos espaços públicos. Esta situação tem levado ao aumento das temperaturas no meio urbano e à redução das velocidades de deslocamento do vento. Como a ventilação é o elemento climático mais importante para garantir o conforto no clima quente e úmido, considera-se urgente aprofundar os estudos de ventilação urbana no Recife.

3.2. Área de estudo

A área de estudo se insere no **bairro de São José**, um dos mais antigos e tradicionais da cidade do Recife. Segundo os dados da Prefeitura do Recife, do ano 2014, o bairro contém 8.668 habitantes, distribuídos numa área de 326 hectares (PREFEITURA DO RECIFE, 2013b). É um dos bairros com menor número de população residente, pois a

maior parte das edificações é destinada ao comércio e serviços, além disso, contém um grande número de galpões, e um grande terreno da antiga linha férrea desativada, pertencente à extinta Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA). É justamente essa área da linha férrea, que está a ser alvo de interesse por parte do mercado imobiliário para a construção do projeto Novo Recife, no cais José Estelita (ver figura 43).

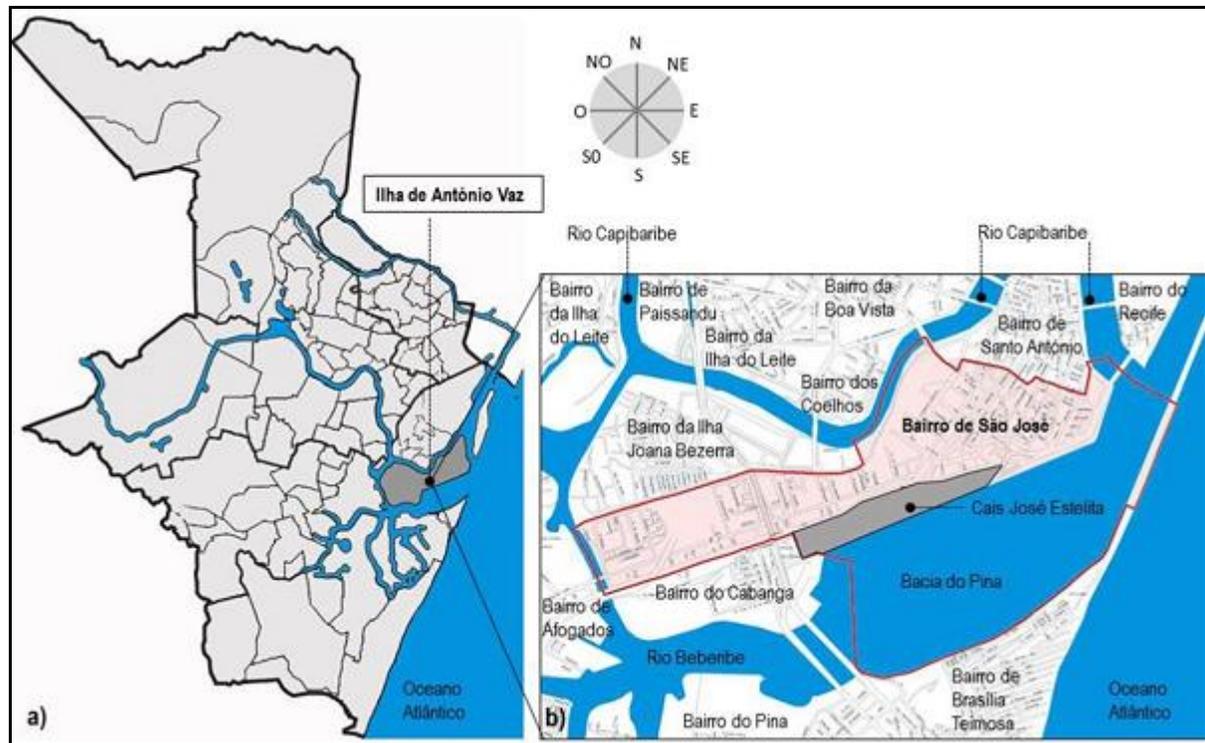


Figura 43: a) Localização da Ilha Antônio Vaz, na cidade do Recife. b) Localização do Bairro de São José e da área do Cais José Estelita. **Fonte:** Elaboração própria adaptado de Prefeitura do Recife, 2013.

3.2.1. Breve história do bairro de São José

A história do bairro de São José se mistura à história da cidade do Recife. No início do século XVII, surgiram os primeiros povoados, nas ilhas de São Francisco Frei Porto, atual ilha do Recife, e na Ilha Antônio Vaz, onde se encontram, agora, os bairros de Santo Antônio e de São José (PREFEITURA DO RECIFE, 2013c).

A área começou a ser povoada em 1630, com a chegada dos holandeses à planície alagada de Recife. Eles se identificaram com o território, por se assemelhar à sua pátria mãe, onde eles já tinham afinidade estratégica e militar, por isso, iniciaram a urbanização da ilha de Antônio Vaz, segundo o planejamento do príncipe Maurício de Nassau – plano da **cidade Maurícia**. Das modificações que ocorreram neste período, destacam-se a construção do "Aterro dos Afogados", atual Rua Imperial, a construção da primeira ponte que ligava as duas ilhas, intitulada de “ponte Maurício de Nassau”, e a construção do forte Frederico Henrique, onde, agora, existe o Forte das cinco pontas, edificado pelos “portugueses” (SANTOS, 2013).

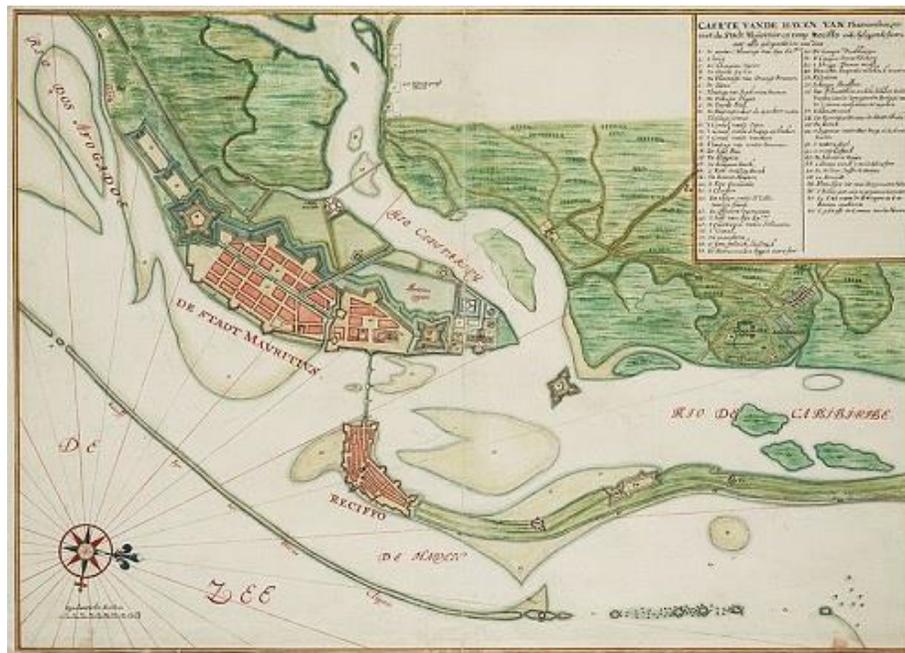


Figura 44: Mapa Holandês de 1655, do plano da cidade Maurícia. Destaca-se a urbanização das duas ilhas, a ponte Maurício de Nassau e o Forte das Cinco Pontas. **Fonte:** Museu da cidade de Recife, 2013.

Em 1654, os habitantes locais, expulsaram os holandeses e continuaram a consolidar este território. Ao longo dos séculos seguintes, o bairro foi ganhando importância, devido à sua ligação com o porto e às casas de engenho de açúcar, que se alojavam ao longo da várzea do Rio Capibaribe, o que incitou um crescente adensamento do território, com a construção de sobrados, igrejas e grandes equipamentos urbanos, e a expansão do território rumo ao continente, por meio de aterros, como o aterro dos afogados (ver figura 45) (BALTAR, 2000).

As quadras eram densamente ocupadas por sobrados ou casarios de porta e janela; ruas estreitas e tortuosas se abriam em pátios e adros das igrejas barrocas. Eram marcados pelo contraste, tanto das ruas, becos e vielas com os pátios, como das edificações com até 03 pavimentos, com a verticalidade das torres das igrejas (PONTUAL e PEREIRA, 2011).

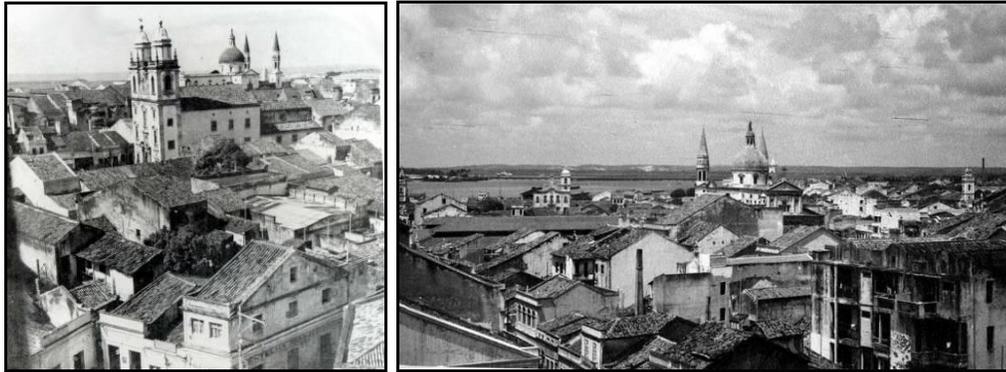


Figura 45: Bairro de Santo Antônio e São José, XIX. **Fonte:** Pontual e Pereira, 2011.

Em 1856, foi inaugurada a estrada de ferro do Recife ao rio São Francisco, para exportar o grande volume de mercadorias do interior do Estado (ver figura 46).



Figura 46: A Estrada de ferro, que conectava Recife ao São Francisco. **Fonte:** Prefeitura do Recife, 2013e.

No início do século XX, o bairro de São José já estava bastante consolidado, mas nas décadas de 1930 e 1950, o bairro sofreu uma profunda transformação, em virtude de um processo de **modernização e de higienização da cidade**. Partes do traçado urbano secular e dos edifícios históricos, dos bairros de São José e Santo Antônio, foram demolidos para dar lugar a “avenidas modernas”, sob os planos de Nestor de

Figueiredo, Ulhôa Cintra e Edgar Amorim, foram edificadas as avenidas Guararapes e Dantas Barreto (ver figura 47) (BALTAR, 2000).

Em busca de melhorias de higiene, salubridade, circulação e estética, foram propostas grandes avenidas, como se fossem respiradouros, e, para ocupá-las, a tipologia que melhor representava o progresso: o arranha-céu. (PONTUAL e PEREIRA, 2011).



Figura 47: Imagens da demolição do bairro de São José, para a abertura da Avenida Dantas Barreto..
Fonte: http://www.dpnet.com.br/vidaurbana/materias/2012/equivocos_urbanos/ (Diário de Pernambuco);
<http://www.panoramio.com/photo/3190571>, 2013.

Segundo Pontual e Pereira (2011) com a abertura desta nova avenida e com o aval legislativo da prefeitura, o mercado imobiliário observou uma oportunidade de verticalizar e rentabilizar o solo nesta área à semelhança do que ocorrera na Avenida Guararapes, no bairro de Santo Antônio. No intuito de proteger a integração dos novos edifícios com a paisagem dos monumentos históricos envolventes, a Diretoria do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (DPHAN) disputou várias batalhas jurídicas com os empresários privados para tentar conter a “excessiva” verticalização no entorno dos edifícios tombados. Em 1965, o DPHAN aliou-se à prefeitura, para, regulamentar um plano de gabaritos máximos e conter a descaracterização do sítio histórico (ver figura 48) (PONTUAL e PEREIRA, 2011). Atualmente é possível encontrar no início da Avenida Dantas Barreto alguns dos edifícios que foram verticalizados antes do plano de gabaritos ter sido implementado (ver figura 49).



Figura 48: O plano de gabaritos de 1965, dos Bairros de Santo Antônio e São José. **Fonte:** Pontual e Pereira, 2011.



Figura 49: Edifícios construídos na Avenida Dantas Barreto antes da aplicação do plano de gabaritos em 1965. **Fonte:** Arquivo Pessoal.

Na mesma época, inicia - se o processo de **ampliação do Porto do Recife**, com a construção de um aterro junto à Bacia do Pina, atual cais José Estelita. Esse território é, em parte, cedido para a empresa que geria o pátio ferroviário do Recife, na época, a Great Western, com o intuito de melhorar a eficiência de transporte de mercadorias do porto. Assim, a empresa amplia a infraestrutura, com novos edifícios operacionais e um maior número de linhas ferroviárias (SANTOS, 2013).

No entanto, a década de 1990 foi marcada pela gradual transferência das atividades do Porto do Recife para o Porto de Suape, o que levou à desativação do pátio ferroviário, em 1996 (BERNARDES e NASCIMENTO, 2012). Dois anos depois, começaram os estudos da Metrópole 2010 e da Metrópole Estratégica, que analisaram toda a faixa litorânea, desde o centro histórico de Olinda até o bairro do Pina em Recife, englobando, por conseguinte, o bairro de São José. Em 2003, esse estudo foi incorporado ao plano do **Complexo Turístico e Cultural Recife-Olinda** e, ainda nesse ano, foi assinado um protocolo de cooperação técnica e financeira entre o Governo do Estado de Pernambuco e a empresa pública portuguesa Parque Expo (PORTO DIGITAL, 2013). Daí surgiu um plano que tinha como objetivo central “valorizar e dar visibilidade internacional ao patrimônio cultural material e imaterial das duas cidades” (SANTOS, 2013, p.13). Como o território era muito extenso, o plano dividiu a área por zonas, onde o bairro de São José aparece incluído por completo, nessa proposta, mas é delimitada a área do cais José Estelita e do cais Santa Rita como áreas de intervenção efetiva, sendo contempladas com uma proposta de renovação urbana (ver figura 48).



Figura 50: Mapa de zoneamento do projeto Recife Olinda. O cais José Estelita e o Cais de Santa Rita, estão marcados como áreas de intervenção do setor 4. **Fonte:** Adaptado de ALVES, et. al.,2008.



Figura 51: Maquete eletrônica, da proposta de ocupação para o setor 4. **Fonte:** Parque Expo, 2013.

A proposta não chegou a ser executada, mas conseguiu atrair o interesse das construtoras e dos empresários, devido à sua localização privilegiada no centro histórico da cidade, perto dos monumentos, dos equipamentos, dos serviços, da infraestrutura e, ainda, pela vista privilegiada para o rio e para o mar, sobre a qual as pessoas estão dispostas a pagar mais pelo m² (BERNARDES e NASCIMENTO, 2012). Como resultado, surgiram vários outros projetos, com o mesmo intuito de reforçar o centro da cidade como um **polo de turismo, cultura e lazer**. Entre esses, destacam-se o projeto do Porto Novo, a via Mangue, o centro comercial Rio Mar, o projeto das duas torres e o Projeto Novo Recife. Vários desses projetos são frutos de parcerias entre o Governo do Estado, a Prefeitura e os empresários do setor, que segundo Lacerda (2007), demonstram uma estratégia conjunta de modelo de **city marketing** na cidade do Recife.

Baseado no projeto Recife-Olinda, surgiu uma proposta de construção de dois edifícios residenciais, no cais de Santa Rita, com 40 pavimentos cada. O projeto foi aprovado e edificado, e passou a marcaram uma nova escala de verticalização no centro da cidade, que pode ser observada de diversos bairros (bairro do Recife, Santo Antônio, Pina, Brasília Teimosa) (ver figura 51 e 52).



Figura 52: Paisagem atual do Bairro de São José. **Fonte:** Arquivo Pessoal, 2013.

Na figura 52, é possível observar as várias **fases de desenvolvimento** do centro do Recife. Ao fundo, destacam-se as torres das igrejas e os edifícios com aproximadamente 15 a 20 pavimentos, na avenida Dantas Barreto e na ilha do Recife. Em primeiro plano aparece a bacia do Pina e a grande extensão do Cais José Estelita, local onde se propõe a construção do projeto Novo Recife, com uma lógica de ocupação semelhante à que foi efetuada na construção das duas torres que aparecem à direita da imagem. Como o projeto Novo Recife foi o ponto de partida para a elaboração dos modelos virtuais no Cais José Estelita, a projeto será aprofundado no próximo subcapítulo.

3.2.2. Projeto Novo Recife

A proposta do projeto Novo Recife foi lançada em 2011, para a área do pátio ferroviário do cais José Estelita. O terreno de 101.754,27 m², segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) – de nº 16.176/96 – pertence à Zona de Urbanização Preferencial 1 (ZUP1), que possibilita um alto potencial construtivo, sem restrição de gabarito. Dada à localização privilegiada, e o zoneamento pouco restritivo, um grupo de empresas concorrentes decidiu se associar para adquirir esse terreno, pertencente à extinta RFSSA. O leilão ocorreu em 2008 e o terreno foi arrematado para um consórcio de empresas privadas do setor imobiliário, formado pela Moura Dubeux, Queiroz Galvão, GI Empreendimento e pela Ara Empreendimentos, que, ainda em conjunto, elaboraram

a proposta do projeto intitulado de Novo Recife (ver figura 53) (BERNARDES e NASCIMENTO, 2012).



Figura 53: Imagem da Maquete eletrônica do projeto Novo Recife. **Fonte:** SOUTO, 2013.

Segundo o **memorial descritivo** apresentado pelo consórcio o projeto é um complexo empresarial e habitacional de luxo, que contempla a edificação de oito edifícios residenciais, dois edifícios empresariais, dois edifícios de flat e cinco edifícios garagem, distribuídos por cinco quadras (ver figura 53 e 54) (CONSÓRCIO NOVO RECIFE, 2013).

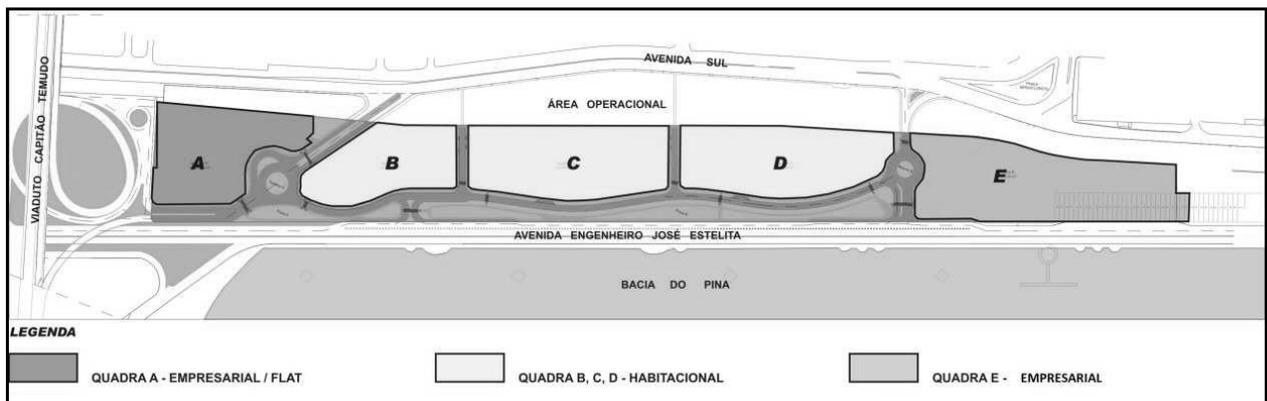


Figura 54: Organização das quadras do Projeto Novo Recife **Fonte:** Consórcio Novo Recife, 2013.

Na proposta os 12 edifícios tem uma altura que varia entre os 21 e os 41 pavimentos enquanto os 5 edifícios garagem tem entre 2 a 7 pavimentos, oferecendo aproximadamente 5.000 vagas de estacionamento. A área total de construção é de aproximadamente 355.000m², e são contabilizados 21.301m² de área verde (ver tabela 5). O consórcio afirma que serão feitas novas ligações às avenidas já existentes a norte e a Sul do terreno, para garantir o escoamento do novo número de veículos e que irá destinar 10.457,46 m² do terreno para área verde pública, arborizada e com equipamentos de lazer (ver tabela 5 e 6) (CONSÓRCIO NOVO RECIFE, 2013).

Identificação		m ² Terreno	m ² Área verde	m ² Construção	Usos	μ	Vagas estacionamento Total	nº pavtos/ Tipo
LOTE 1	QUADRA "A"	12.065,00	3.164,86	62.923,25	EMPRESARIAL	4,40	956	37
					FLAT	4,00	231	21
	QUADRA "B"	10.096,12	4.099,15	51.185,86	HABITACIONAL	3,64	585	35
					HABITACIONAL			35
	QUADRA "C"	15.068,00	5.573,02	83.012,14	HABITACIONAL	4,00	965	37
					HABITACIONAL			33
					HABITACIONAL			41
					HABITACIONAL			41
	QUADRA "D"	14.395,50	4.731,35	80.702,25	HABITACIONAL	3,91	942	37
					HABITACIONAL			33
					HABITACIONAL			37
					HABITACIONAL			37
	QUADRA "E"	14.516,92	3.732,80	77.164,01	EMPRESARIAL	4,40	834	38
					FLAT	4,00	465	31
					HOME SERVICE			
QUADRA "E"	5.106,56	-	-	INSTITUCIONAL	-	94	1	
TOTAL		71.248,69	21.301,18	354.987,51	-		5.072	-

Tabela 5:Quadro resumo dos usos e das áreas propostos pelo projeto Novo Recife. **Fonte:** Consórcio Novo Recife, 2013

CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL						
						
<p>Figura: Imagem aérea do Cais José Estelita (em planta). Fonte: Google Earth, 2014</p>						<p>Figura: Edifício das duas Torres. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>
						
<p>Figura: Galpões na Av. José Estelita. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	<p>Figura: Edifícios na Av. José Estelita. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	<p>Figura: Espaço Público na Av. José Estelita. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	<p>Figura: Área do Pátio Ferroviário. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	<p>Figura: Armazéns na Av. José Estelita. Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	<p>Figura: Forte das Cinco Pontas Fonte: Arquivo Pessoal, 2014</p>	
PROPOSTA DO PROJETO NOVO RECIFE						
						
<p>Figura: Fotomontagem de integração do projeto no terreno (em planta). Fonte: GI Empreendimento, 2013</p>				<p>Figura: Proposta de integração com os Armazéns. Fonte: Jornal do Comercio</p>	<p>Figura: Proposta de ligação com a Av. Dentas Barreto. Fonte: Jornal do Comercio</p>	
						
<p>Figura: Fotomontagem de integração do projeto com a paisagem (em vista da baía do Pina). Fonte: GI Empreendimento, 2013</p>				<p>Figura: Espaço público proposto para a Av. José Estelita. Fonte: Jornal do Comercio</p>		

Tabela 6: Imagens atuais do Cais José Estelita, e área envolvente e imagens com a proposta do projeto Novo Recife. **Fonte:** Elaboração Própria

A proposta foi apresentada para **discussão com a sociedade civil** na audiência pública, realizada no Plenarinho da Câmara Municipal do Recife, no dia 22 de março de 2012. Estiveram presentes os responsáveis pelo projeto e os representantes do IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), do MPPE (Ministério Público de Pernambuco), FUNDARPE (Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco), da Prefeitura do Recife e da Universidade, para além de uma parte da sociedade (OBSERVATÓRIO DO RECIFE, 2012).

Durante a audiência ficou claro o descontentamento da maioria dos presentes. O projeto foi intensamente criticado pela **verticalização excessiva** dos edifícios propostos e pela falta de consonância com a escala dos edifícios existentes no entorno. Tomás Lapa, representante da Universidade acrescentou que o projeto é um atentado à preservação da memória e identidade do povo Recifense por “agredir” a **paisagem histórica** do centro da cidade que, especificamente naquele bairro contém vários edifícios tombados. Já a promotora da Justiça, Belize Correia, mencionou a **função social da propriedade**, reforçando que a área deve ser de fruição de toda a coletividade, ou seja, para o benefício de toda a população e não apenas para favorecer uma pequena parcela da sociedade. Nesse sentido, Tomás Lapa referiu que o modelo de ocupação proposto segue a lógica do capital que **pensa o lote isoladamente** sob a ótica da rentabilização do terreno e da maximização do lucro e não sob a ótica da transformação salutar e ética da cidade para todos (OBSERVATÓRIO DO RECIFE, 2012). Essa observação é fortalecida com a constatação de que o piso térreo do projeto prevê a construção de grandes muros contínuos de edifícios garagem ao longo de superquadras que, segregam e isolam as pessoas no lote, segundo uma lógica de condomínio privado. Este modelo de ocupação põe em cheque a vitalidade da vivência urbana e a segurança dos pedestres, por não convidar as pessoas à passagem ou permanência no espaço urbano como foi referido por Jacobs (2001) e Gehl (2013).

Para além destas reivindicações, Belize Correia também chamou a atenção para a falta de estudos de impacto (impacto ambiental e de vizinhança) que seriam fundamentais

para a adequada avaliação da proposta por parte do poder público e da sociedade civil. Esses estudos deveriam demonstrar por exemplo a capacidade de suporte das infraestruturas (viária, hidráulica, saneamento básico), a relação do projeto com a dinâmica econômica e social dos bairros do entorno, o impacto no meio ambiente natural e construído. (OBSERVATÓRIO DO RECIFE, 2012).

Ao fim da audiência uma parte dos cidadãos decidiu criar um grupo nas redes sociais, chamado de **Direitos Urbanos**, com o intuito de ampliar a discussão pública sobre este e outros projetos em andamento na cidade do Recife. O grupo foi ampliando o número de participantes que discutiam ativamente os problemas urbanos da cidade e soluções alternativas para o terreno do cais José Estelita (FILHO, 2013). Perante este ambiente virtual surgiu o **movimento #OcupeEstelita**, uma manifestação apartidária organizada pelo grupo Direitos Urbanos, que ocorreu no dia 15 de Abril de 2012. Os ativistas procuraram chamar a atenção da sociedade para o **direito à cidade**, defendendo que a cidade deve ser construída por todos e para todos de forma democrática e participativa. Reivindicando que uma outra proposta para aquele terreno seria possível e desejável. Desta forma, o grupo encara este grande vazio urbano, como uma oportunidade para redirecionar o planejamento urbano da cidade, que é de modo geral segregador e insustentável (ALVES, 2013). Por isso considera de extrema relevância questionar e discutir o modelo de cidade que tem sido construído pelo poder público em parceria com o interesse do capital privado o modelo de cidade que a população deseja para o futuro. Defendendo um desenvolvimento urbano que seja efetivamente **pautado nos princípios da sustentabilidade** (GRUPO DIREITOS URBANOS RECIFE, 2012). O posicionamento do grupo ficou ainda mais evidente na carta convite enviada três dias antes do evento para os participantes da reunião preparatória da Rio/Clima associada ao evento da Rio +20:

“Vimos, através desta carta, convidar as senhoras e os senhores para participarem conosco do #OcupeEstelita, no Recife, neste próximo domingo, 15 de abril, das 9h às 16h. O #OcupeEstelita será um grande ato da sociedade civil em defesa do **direito às cidades sustentáveis**, pelo meio ambiente e em protesto por um uso do solo responsável, ambientalmente equilibrado e socialmente justo na Região Metropolitana do Recife.” (GRUPO DIREITOS URBANOS RECIFE, 2012)

O #OcupeEstelita ocorreu no cais José Estelita e juntou pessoas de diversos estratos da sociedade e com formações distintas para conviver e discutir o futuro sustentável da cidade. O segundo e o terceiro #OcupeEstelita aconteceram no mesmo ano nos dias 22 de Abril e 12 de Maio, enquanto que o quarto e último evento até ao momento aconteceu no dia 28 de Abril de 2013. O grupo responsável pelo evento disponibiliza todas as informações no *website* do movimento para facilitar o conhecimento da população sobre a evolução do processo de deliberação do projeto Novo (OCUPE ESTELITA, 2013).



Figura 55: Ação do movimento ocupe Estelita. **Fonte:** <http://piiunicapmd3.blogspot.com.br/p/fotos.html>, 2013

Apesar desta forte oposição ao projeto, **as opiniões sobre o mesmo dividem-se**. Uma parte da sociedade defende a construção do projeto, porque o vislumbram como símbolo de progresso e de desenvolvimento urbano. Defendendo a renovação urbana desta área central ociosa, através de uma proposta que gere emprego, moradia e economia. Encarando a proposta apresentada pelo consórcio Novo Recife como a **única oportunidade** de mudar esta área urbana abandonada à décadas pelo poder público. Para Filho (2013) essa ideia foi facilmente assimilada pela população porque o projeto foi divulgado pelos principais meios de comunicação da cidade, como uma dicotomia, ou se constrói o projeto Novo Recife ou o terreno fica como está. Apontando que os grupos que são contra o projeto são contra o progresso da cidade e a favor da conservação do estado atual. Filho (2013) analisou algumas das publicações dos

jornais da cidade, em especial o Jornal do Comercio e afirmou que “foram encontradas indicações do uso de semióforos como o do desenvolvimento, que fazem com que a sociedade seja levada a crer que o único caminho possível é o do mercado” (FILHO, 2013). Acrescenta que “o discurso dos meios de comunicação tradicionais está alinhado com o discurso daqueles que detém o controlo do capital no Recife.” (FILHO, 2013)

Por ser uma área com mais de três hectares, o projeto Novo Recife é considerado um empreendimento de impacto, segundo a lei nº 16.176/1996 artigo 61 e 62. Deste modo, é exigido aos empresários, que apresentem um memorial justificativo que indique os impactos ambientais e sociais, nas estruturas naturais ou construídas do entorno. Necessitando de abordar as alterações que ocorrem no “sistema de transportes, no meio ambiente, na infraestrutura básica e nos padrões funcionais e urbanísticos de vizinhança” (Lei nº 16.176/1996 Art.62). No que se refere ao ambiente natural, o relatório menciona o **impacto na ventilação** na seguinte frase:

O impacto sobre a ventilação sudeste será atenuado pelos afastamentos generosos entre as torres, posto que os pavimentos vazados permeiem os ventos, fazendo-os atravessar de uma face à outra (CONSORCIO NOVO RECIFE, 2013).

Contudo, não são apresentados estudos que comprovem esta afirmação, nem fica claro, que pisos vazados se referem. Do mesmo modo, não é feita nenhuma referência a outros elementos climáticos como insolação, radiação, umidade e permeabilidade do solo, apenas são mencionadas as vantagens da incorporação de cobertura vegetal no terreno, que atualmente se encontra bastante árido. Esse memorial justificativo serviu de base para a avaliação do projeto por parte do Conselho de Desenvolvimento Urbano (CDU) e pela Comissão de Controle Urbanístico (CCU). O projeto foi aprovado pela maioria dos membros do CDU, e também pelo CCU.

Conforme a promotora de justiça, Belize Correia, o Ministério Público ingressou com Ação Civil Pública em face do Município do Recife, dia 12 de dezembro de 2012, devido às **ilegalidades** ocorridas no processo de votação do projeto no CDU (Conselho de

Desenvolvimento Urbano), que realizou três reuniões em 2012 (30 de Novembro, 21 e 28 de Dezembro) aprovou na última data (CORREIA, 2013). Segundo Correia (2013) o “Projeto Novo Recife contém diversas ilegalidades, que motivaram os seguintes pedidos: em caráter liminar, a suspensão de todo e qualquer ato administrativo referente ao projeto e, no mérito, a declaração de sua nulidade desde o início.”. Indicando a falta de diversos documentos e pareceres obrigatórios por lei para que se pudesse proceder à deliberação e votação do projeto:

- Faltou o parcelamento prévio do solo por parte da CONDEPE/FIDEM (Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco) obrigatório segundo a Lei Federal nº 6.766/76 e a Lei Municipal nº. 16.286/97 dada a dimensão do terreno de aproximadamente 10ha.
- Não apresentou a consulta do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes) proprietário da linha férrea ativa localizada na área contígua ao empreendimento.
- Faltou o parecer do IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) imprescindível dada a proximidade visual dos monumentos tombados.
- Não houve análise do projeto pela FUNDARPE (Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco) como seria obrigatório, porque o patrimônio ferroviário do Estado de Pernambuco foi tombado por este órgão.
- Faltou o estudo de impacto de vizinhança, exigência prevista no Estatuto das Cidades, na Lei nº. 10.257/2001, art. 188.
- Também não foi apresentado o estudo de impacto ambiental, contrariando o disposto no art. 225, § 1º, inciso IV, art. 16 da Lei Municipal nº. 16.176/96 e art. 10 e seguintes da Lei Municipal nº. 16.243/96.

As ilegalidades encontradas no projeto já fizeram com que fosse suspenso por diversas vezes (GOUVÊA, 2013). Atualmente o projeto está em tramitação na prefeitura que solicitou recentemente, algumas alterações no desenho urbano (PREFEITURA DO RECIFE, 2014).

4. SIMULAÇÕES

Neste capítulo, serão elucidados os parâmetros adotados e os critérios estabelecidos para a elaboração de cada cenário virtual. Além disso, será apresentado o funcionamento do programa de dinâmica de fluidos PHOENICS VR 3.6.1 (CHAM, 2010), utilizado nas simulações e os resultados obtidos.

4.1. Modelos

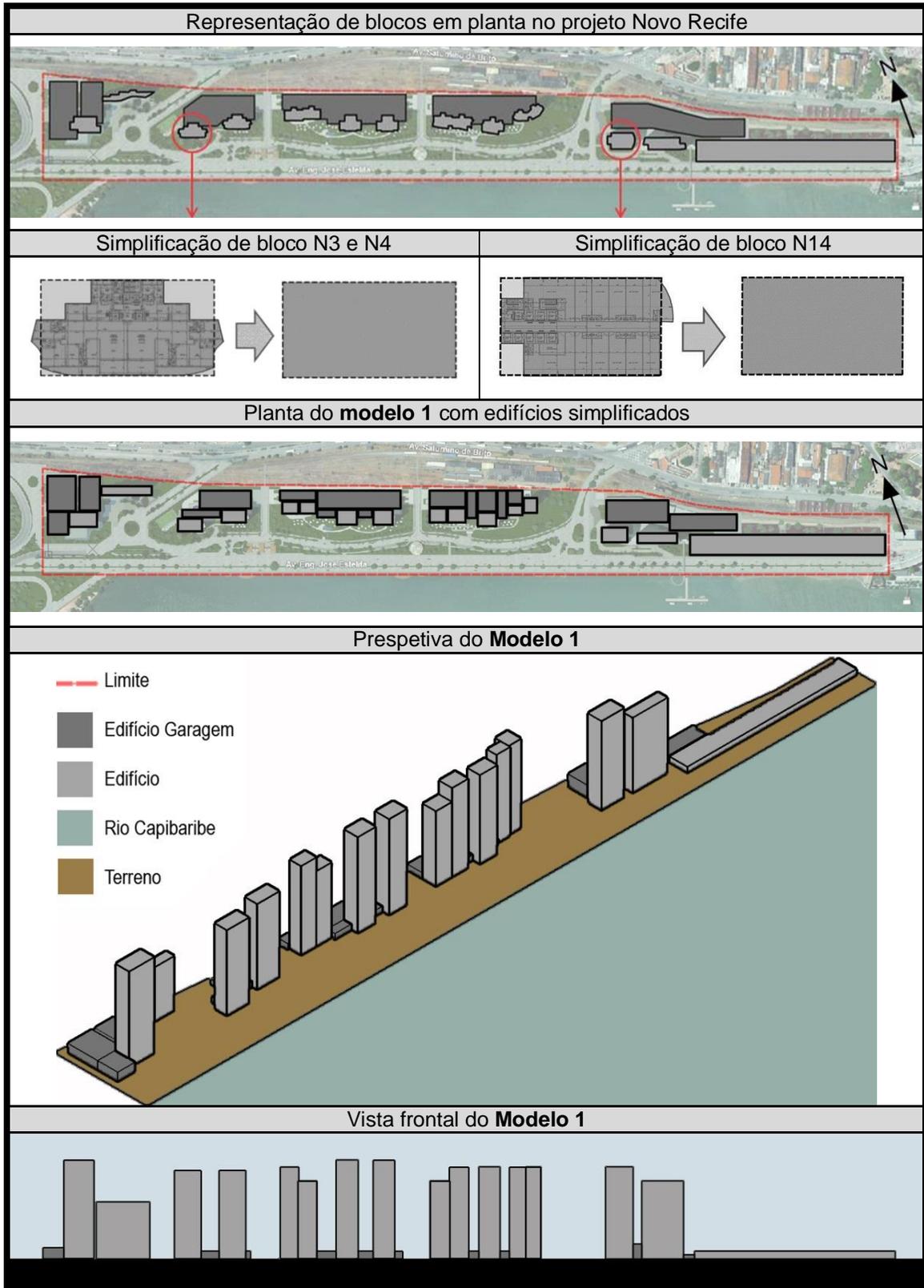
Para elaborar a simulação de dinâmica de fluidos computacional, ou *Computer Fluid Dynamics* (CFD), foi necessário, primeiramente, modelar os diferentes **cenários de ocupação do solo**, tridimensionalmente. Ao todo, foram elaborados seis modelos virtuais, que tomaram como base a ocupação e a densidade construtiva análoga ao projeto Novo Recife, em avaliação para aquela área do cais José Estelita. À exceção do último modelo, todos têm uma densidade construtiva muito próxima e têm edifícios com a mesma geometria e orientação, excluindo, assim, estes parâmetros da análise. Deste modo, os cenários virtuais se diferenciam na altura, na porosidade (afastamento entre pavimentos), na densidade construtiva, e no local de implantação (alterando o afastamento entre os edifícios).

Ao contrário de outras pesquisas em ventilação urbana (MARQUES, 2003; LEITE, 2010), o modelo inicial não consiste na simulação da situação atual, porque o terreno, da área em estudo, contém poucas edificações. Optou-se por analisar as edificações projetadas e, também, por não incluir a modelação dos edifícios envolventes, pois estes se encontram relativamente distantes, não exercendo grande influência sobre a ventilação do espaço em estudo. Além disso, a integração de mais elementos volumétricos iria exigir uma maior capacidade de análise por parte do programa de dinâmica de fluidos PHOENICS e mais memória RAM do computador. Desta forma, deu-se prioridade ao estudo de uma intervenção na área limitada pelo projeto Novo Recife, tomando esse projeto como referência para os cenários seguintes. Os modelos

apresentam um bloco em comum, que consiste nos galpões existentes do porto. Este bloco serve como uma unidade de referência, entre os diferentes cenários, que derivam, uns dos outros, sucessivamente, da seguinte forma:

- **Modelo 1:** Ocupação semelhante à proposta pelo projeto Novo Recife;
- **Modelo 2:** Deriva do **modelo 1**, mas altera a localização e configuração dos pavimentos garagem, aumentando os afastamentos entre os edifícios e a altura dos mesmos;
- **Modelo 3:** Foi baseado no **modelo 2**, mas os edifícios têm metade da altura e o dobro de ocupação de solo;
- **Modelo 4:** Análogo ao **modelo 3**, mas os edifícios são mais porosos (com pilotis e afastamentos entre os pavimentos intermédios);
- **Modelo 5:** Foi elaborado a partir do **modelo 4**, mas os edifícios têm metade da altura e o dobro de ocupação de solo;
- **Modelo 6:** Semelhante ao **modelo 5**, mas com metade da densidade construtiva, que foi reduzida através da limitação da altura dos edifícios.

Para a construção do **modelo 1**, adotou-se como referência a forma de ocupação urbana proposta pelo projeto Novo Recife, utilizando a planta e os cortes disponíveis no memorial do projeto (CONSORCIO NOVO RECIFE, 2011). A geometria e a densidade construtiva dos edifícios não foi seguida a rigor; foi, apenas, elaborada uma aproximação ao projeto, de modo a manter uma geometria retangular simplificada em todos os blocos de edifícios, facilitando a sua inserção posterior no programa de dinâmica de fluidos. Deste modo, foram excluídos os detalhes do edifício, dando prioridade à altura e aos afastamentos entre os blocos. Este modelo contém quinze blocos de edifícios que apresentam alturas que variam entre os 80 e 140 metros de altura, o que corresponde a 27 e 47 pavimentos respetivamente. Além disso, conta com dezasseis blocos de edifícios garagem que medem, em média, 12 metros de altura. A área de implantação dos edifícios ocupa 28% do terreno e apresenta uma densidade construtiva de 37.891m²/há (ver quadro 13).

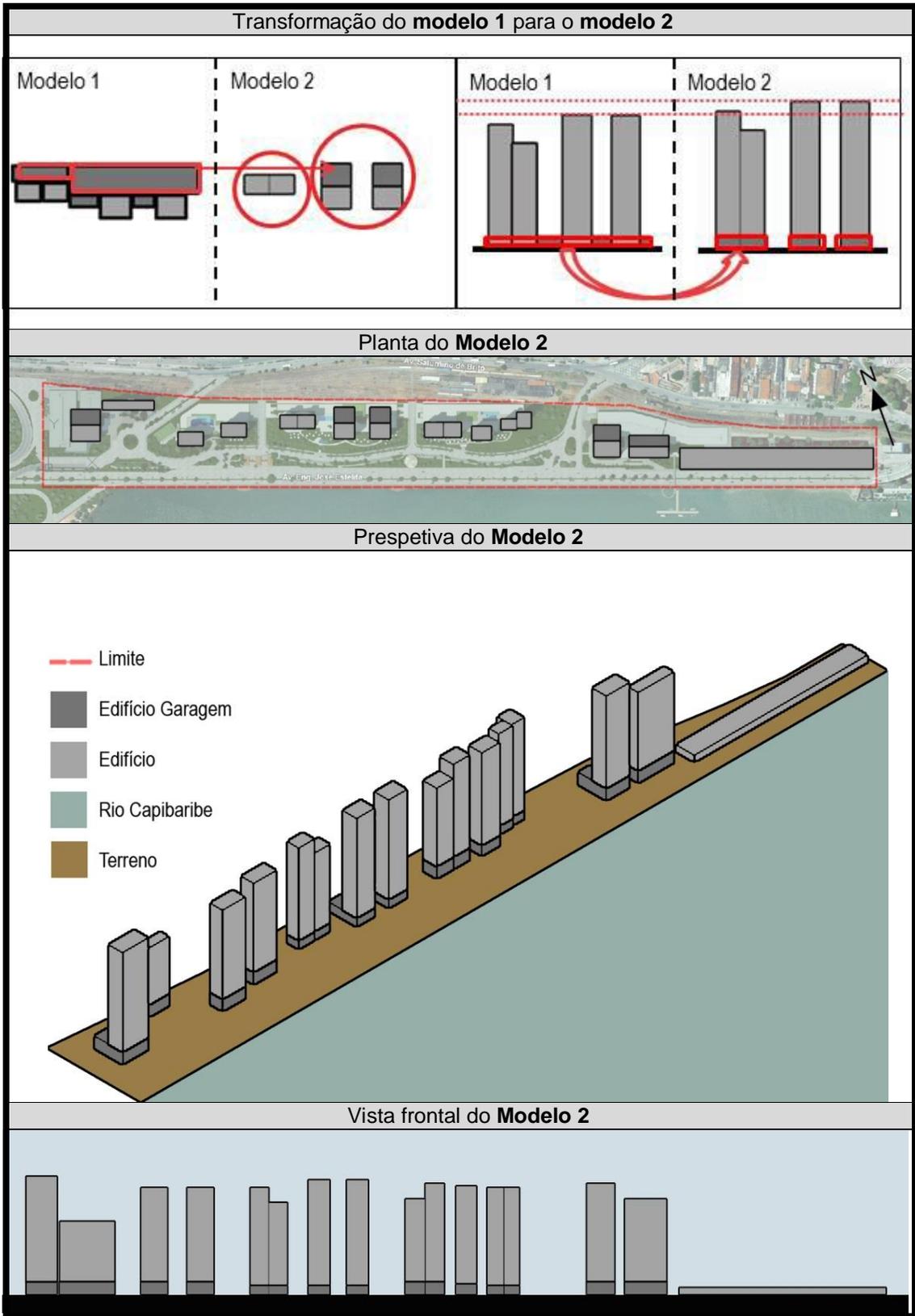


Quadro 13: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 1. **Fonte:** Elaboração própria.

O **modelo 2** foi elaborado a partir de uma variação do **modelo 1**. Neste cenário, a área de implantação dos pavimentos de garagem foi reduzida para a área de implantação do edifício. O objetivo foi diminuir as áreas em que o pedestre está exposto aos muros de garagens, apontadas, por diversos autores ao longo do capítulo 1, como espaços urbanos sem qualidade de permanência podendo provocar desconforto físico e psicológico. Com a redução da área de implantação, foi elevada a altura dos edifícios de modo a manter uma densidade construtiva semelhante nos dois modelos. O cálculo da altura foi elaborado a partir da seguinte fórmula:

$[AEM2] = \frac{[ACGM1]}{[AIEM2]} + [AEM1]$	<p>[AEM2] - Altura dos edifícios do Modelo 2. [AEM1] - Altura dos edifícios do Modelo 1. [ACGM1] - Área construtiva da garagem do Modelo 1. [AIEM2] - Área de implantação dos edifícios do Modelo 2</p>
---	--

Em alguns casos, a área construtiva da garagem do **Modelo 1** [ACGM1] era muito superior à área de implantação dos edifícios do **Modelo 2** [AIEM2], por isso os edifícios garagem do **modelo 2** ficariam com muitos pavimentos, tornando alguns desses edifícios inviáveis de serem, realmente, construídos. Assim, foi determinado um limite máximo de sete pavimentos, que é a altura máxima utilizada no projeto Novo Recife, para edifícios garagem. Desta forma, nos casos em que a altura do edifício garagem do **modelo 2** excediam o limite de sete pavimentos, os blocos de garagem eram duplicados para a área a sotavento, onde ocorre menos interferência desta massa construída na ventilação (ver quadro 14). Concluídos os cálculos, o **modelo 2** ficou com quinze blocos de edifícios, com alturas que variam de 97,5 a 157,5 metros de altura, quantidade de 32 e 52 pavimentos, respectivamente, e cinco edifícios garagem, com uma altura média de 15,5 metros. A densidade construtiva é de 37.196m²/ha, semelhante ao **modelo 1**, mas com uma área de implantação inferior, ocupando apenas 16% do terreno. Pretende-se com este modelo compreender se, ao aumentar os afastamentos entre os edifícios ao nível do solo, gera uma melhoria nos níveis de conforto do pedestre, ou se as velocidades se tornam demasiado elevadas, devido à turbulência provocada pelo aumento da altura dos edifícios.



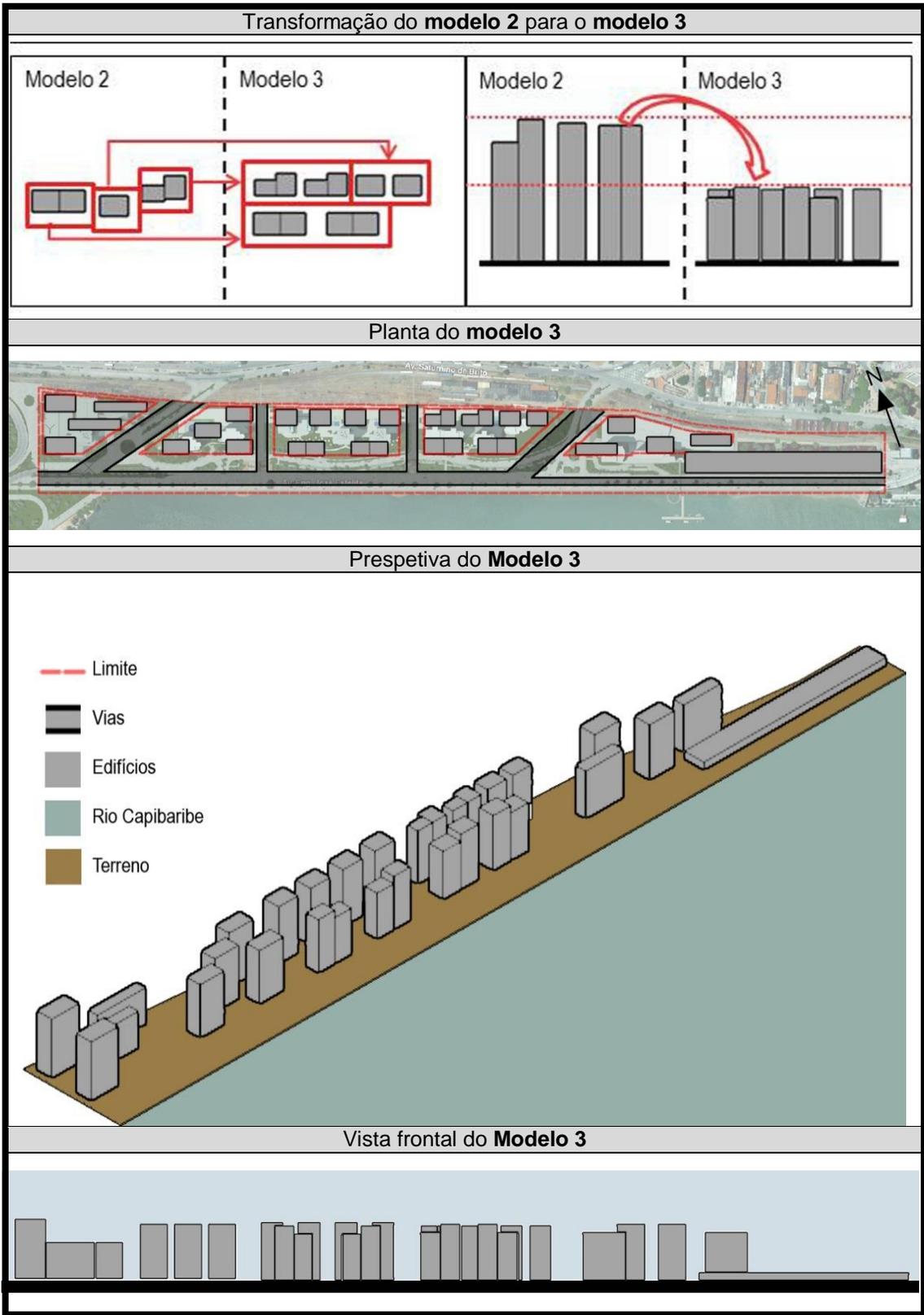
Quadro 14: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 2. **Fonte:** Elaboração própria.

O **modelo 3** é uma derivação do **modelo 2**, contudo este tem aproximadamente metade da altura e o dobro do número de edifícios (ver quadro 15). O objetivo foi reduzir o impacto da altura dos edifícios na paisagem histórica envolvente, tendo em vista o fato de esse ser um dos principais aspetos criticados pelos grupos sociais (ALCÂNTARA, 2014). Em termos bioclimáticos, procurou-se compreender se medida gera uma diminuição na extensão da zona de esteira, visto que diversos autores apontam uma correlação direta entre a altura do edifício e o comprimento da zona de esteira a sotavento. Além disso, pretende-se entender se os novos afastamentos são suficientes para garantir a adequada circulação do ar.

Para gerar a implantação dos edifícios, procurou-se respeitar os limites das vias principais e os respetivos afastamentos, determinados na lei do uso e ocupação do solo nº 16.176/1996. Segundo o artigo 78, da mesma lei, os afastamentos das edificações, em relação aos limites dos lotes, devem ser obtidos conforme o número de pavimentos do edifício e da zona da cidade em que o projeto se insere. Assim, esses cálculos foram efetuados através das seguintes fórmulas:

<p>Afastamento frontal = Afastamento frontal inicial + (Número de pavimentos – 4) x 0,25 Afastamento lateral = Afastamento lateral inicial + (Número de pavimentos – 4) x 0,25 Afastamento de fundos = Afastamento lateral</p>

Como a área de estudo se insere na Zona de Urbanização Preferencial 1 (ZUP 1), o afastamento frontal inicial é de 5 metros e o afastamento lateral inicial, de 3 metros. Com base nesses dados, foram calculados os limites para cada edifício e foi gerada uma implantação, que procurou promover o desalinhamento dos edifícios, visto que foi esse modelo de ocupação que Olgyay (2002) considerou mais permeável ao deslocamento do ar. O modelo contém trinta blocos de edifícios que variam entre os 48,75 metros aos 78,75 metros de altura. A densidade construtiva é de 35.642m²/ha, um pouco abaixo do **modelo 2**, devido aos cálculos de rememramento dos edifícios. A área de implantação é de 21%, superior ao **modelo 2**, mas, ainda assim, inferior ao **modelo 1**.

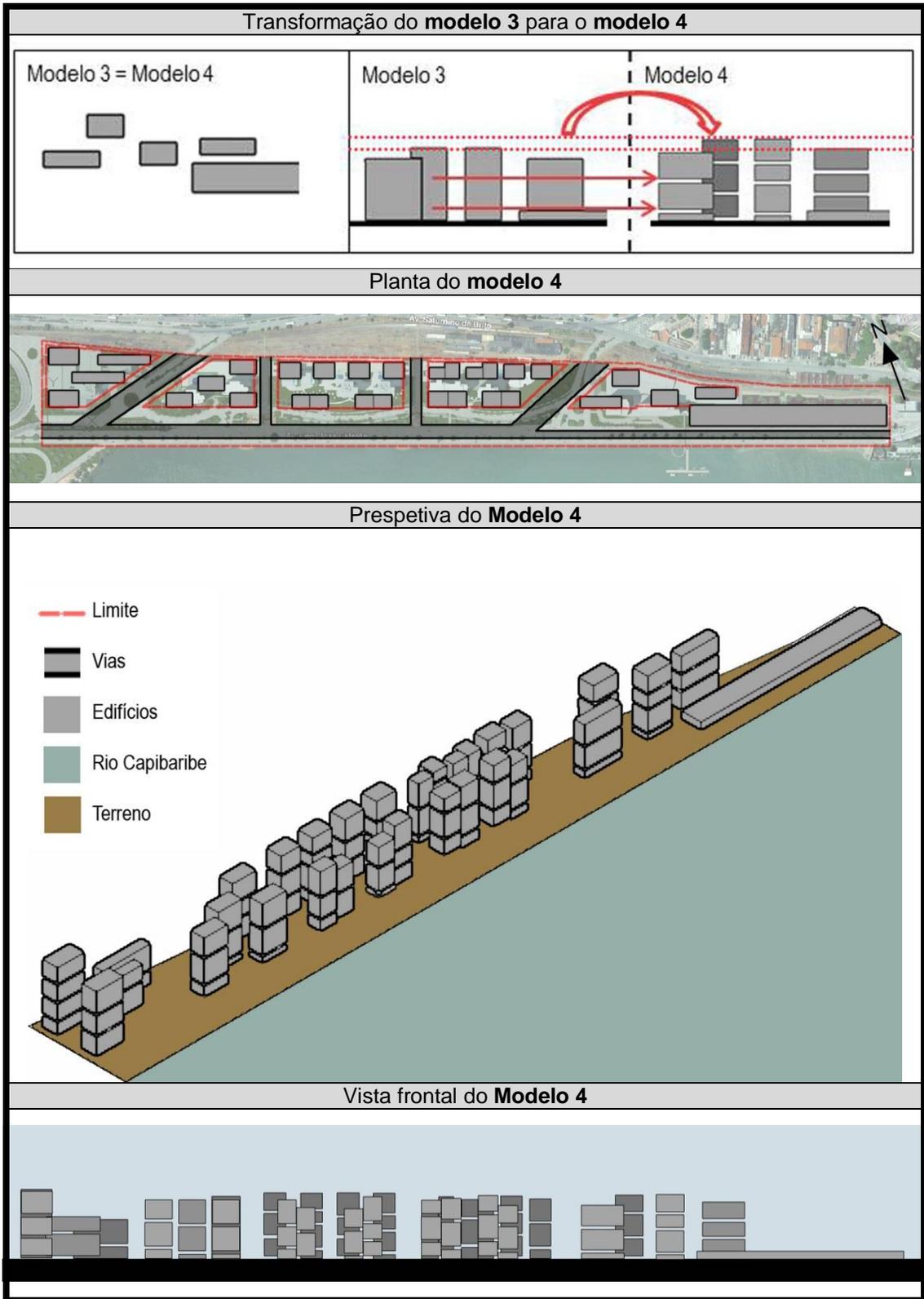


Quadro 15: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 3. **Fonte:** Elaboração própria.

O **modelo 4** apresenta a mesma implantação que o **modelo 3**, mas alguns edifícios estão sobre pilotis e todos contemplam pavimentos vazados a diferentes alturas. A intenção foi aumentar a porosidade do tecido urbano, acrescentando novos afastamentos verticais, ou seja, incorporando espaços “livres” de barreiras entre os pavimentos. Este modelo de ocupação foi sugerido por diversos autores, conforme explanado no capítulo 2, e, a partir dele, pretende-se compreender os benefícios que tal modelo poderá trazer para o conforto do pedestre e para a fluidez de deslocamento do ar em nível urbano. Além disso, a integração dos pavimentos vazados pode originar novos usos no interior dos edifícios, promovendo uma maior interação entre os moradores e a possibilidade de criar espaços verdes de amenidade. Para a elaboração do modelo, foram estabelecidas três regras base, que orientaram o desenho:

- Necessidade de inclusão de um pavimento vazado entre os primeiros cinco pisos, pois é altura que mais influencia o conforto do pedestre;
- Necessidade de inclusão de um pavimento vazado a cada 10 pavimentos, para melhorar o deslocamento do vento para os edifícios da envolvente, diminuindo a zona de esteira;
- Compensar a introdução dos pavimentos vazados, para o que se sugere aumentar um piso em altura, por cada pavimento vazado inserido.

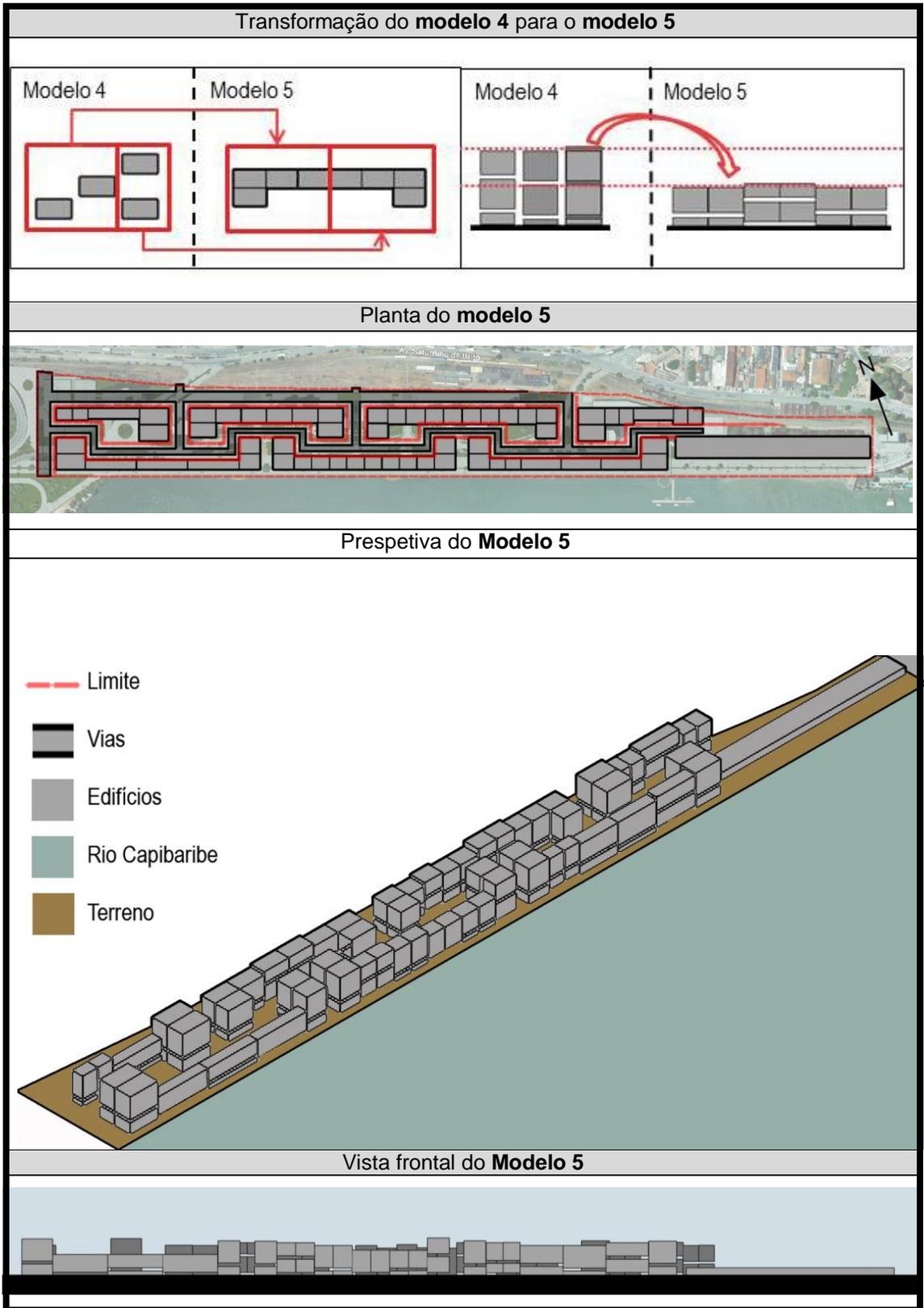
Estas regras possibilitaram a inserção de dois ou três pavimentos vazados em diferentes alturas nos edifícios, incentivando, assim, uma maior variação do deslocamento do ar em meio urbano. Contudo, a adição de um novo pavimento, fez com que a área construtiva de cada bloco aumentasse e, por conseguinte, houve um acréscimo na densidade construtiva do modelo (39.635m/ha). Assim, o **modelo 4** passou a ter uma densidade construtiva maior que os outros três modelos apresentados anteriormente. Não obstante, a área de implantação é igual ao **modelo 3**, mas a altura dos edifícios varia entre os 49 e os 90 metros, ou seja, o edifício mais baixo têm 16 pavimentos, enquanto o mais alto têm 30 (ver quadro 16).



Quadro 16: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 4. **Fonte:** Elaboração própria.

O **modelo 5** é uma derivação do **modelo 4**, apesar de apresentar uma ocupação no solo, totalmente, distinta. Neste cenário, foi implantado o dobro dos edifícios com aproximadamente metade da altura. O objetivo foi reduzir, ainda mais, a interferência da altura dos edifícios na paisagem e promover um modelo de ocupação mais semelhante aos bairros existentes no centro da cidade. Procurou-se, também, aumentar os espaços de convivência com o rio, modificando o desenho das quadras, onde se priorizou o desenho à escala humana proposto por Gehl (2013), no capítulo 1. Em relação à ventilação, procurou-se compreender se os espaços públicos podem oferecer conforto para os pedestres, mesmo com a diminuição dos afastamentos laterais, mas com a introdução de pilotis e pavimentos vazados. Além disso, pretende-se compreender se ocorre uma diminuição das áreas de esteira a sotavento, com a redução da altura dos edifícios.

Para efetuar o arranjo urbano destes sessenta blocos, dentro dos limites do terreno, foi necessário elaborar diversos modelos, até chegar a uma solução que se considerou urbanisticamente viável. O modelo conta, assim, com um agrupamento de blocos alinhados, onde foi evitada a formação clássica de quadras, por já se conhecerem os efeitos prejudiciais deste modelo de ocupação (ver quadro 17). Os edifícios apresentam alturas variando entre 28 e 49 metros, o que corresponde a 9 e 18 pavimentos, respectivamente. Houve um pequeno aumento da densidade construtiva para 41.756m²/ha, devido ao desmembramento dos edifícios com pavimentos vazados. A área de implantação é a maior de todas (de 35%), por contar com uma maior número de edifícios.



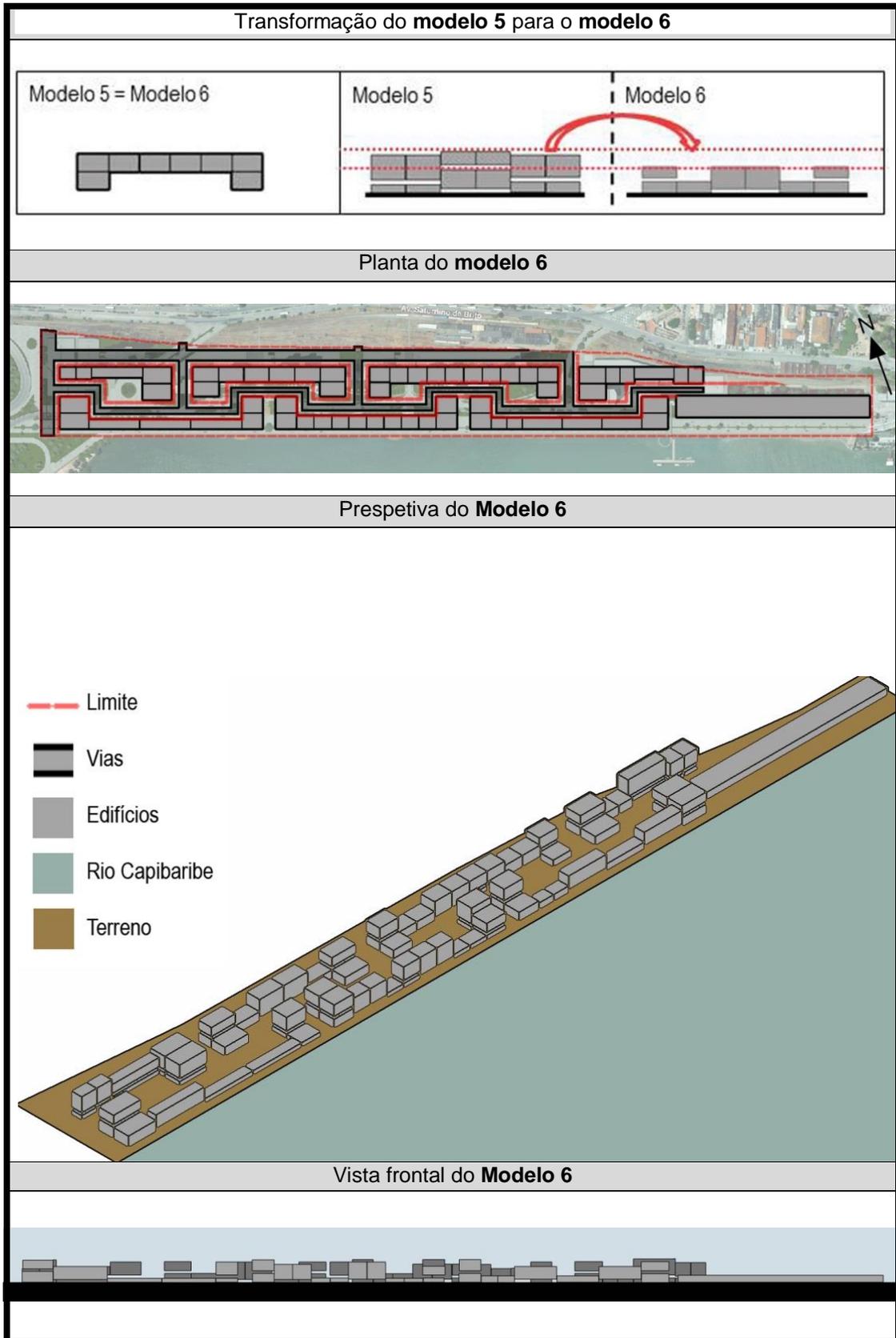
Quadro 17: Representação, implantação, perspectiva e vista do modelo 5. **Fonte:** Elaboração própria.

O **modelo 6** apresenta a mesma ocupação que o **modelo 5**, mas com uma densidade construtiva inferior a todos os outros modelos (23.917m²/ha). Para isso, a densidade construtiva foi reduzida quase pela metade do modelo anterior e foram estabelecidas duas regras, que orientaram o desenho:

- Incentivo à variação da altura dos blocos, porque é um princípio bioclimático que também contribui para a diversidade da paisagem e para a vitalidade urbana.
- A altura do edifício mais alto seria de doze pavimentos;

A partir deste cenário, pretende-se compreender se a redução da densidade, pela limitação da altura, contribui para a melhoria do deslocamento do ar. Para a cidade, as implicações na redução da densidade construtiva podem significar a necessidade de ocupar outra área urbana, para abrigar o mesmo contingente populacional, ou a redução do padrão construtivo, aumentando, assim, o número de unidades e de habitantes por m². Também, pode-se promover a diminuição da área construtiva, por meio da diminuição da área destinada aos pavimentos garagem, priorizando outro tipo de transporte, e oferecendo uma maior diversidade de usos naquelas quadras. Isso implicaria possivelmente a alteração do público-alvo que irá adquirir os imóveis, deixando de estar destinados exclusivamente para o mercado de luxo. Para o construtor, este modelo induz numa diminuição do potencial construtivo adquirido, e uma potencial redução dos lucros pela diminuição do número de unidades, pela alteração do padrão construtivo, e pela redução da quantidade de apartamentos com vista privilegiada sobre o rio. Segundo o jornal do comércio, os imóveis, que oferecem vista para os ambientes naturais, são os que têm o metro quadrado mais caro do Recife.

Assim, o **modelo 6** conta com sessenta blocos, com alturas variando entre 6 e 31 metros, ou seja, o edifício mais baixo tem 2 pavimentos e o mais alto tem 12. A área de implantação é equivalente à do **modelo 5**, que significa que ocupa 35% do terreno (ver quadro 18).



Quadro 18: Representação, implantação, perspetiva e vista do modelo 6. **Fonte:** Elaboração própria.

A tabela 7 resume os principais dados construtivos, dos modelos, para que se possa fazer uma comparação mais direta entre eles. Os **modelos 1 e 2** são os que têm os edifícios mais altos e os **modelos 5 e 6**, os mais baixos. Os primeiros três modelos não têm pavimentos vazados, ao contrário dos três últimos (**modelo 4, 5 e 6**). O **modelo 5 e 6** são os que têm a maior área de implantação e menor área de solo natural, enquanto o **modelo 2** é o que tem menor área de implantação. Por sua vez, os **modelos 4 e 5** são os que têm a maior densidade construtiva, devido à inclusão de pavimentos vazados. Se os pavimentos vazados não fossem contabilizados como área construída, a densidade seria semelhante aos modelos anteriores.

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Área de implantação [AI] (%)	28%	16%	21%	21%	35%	35%
Área de estrutura viária [AV] (%)	17%	17%	17%	17%	18%	18%
Área de solo natural=AT-(AI+AV) (%)	55%	67%	62%	62%	47%	47%
Densidade construtiva (m ² /ha)	37.891	37.196	35.642	39.635	41.756	23.917
Altura do edifício mais alto (m)	140,0	157,0	78,5	90,0	53,0	31,0
Nº de pavimentos máximos*	47	52	26	30	18	10
Altura dos edifícios em relação ao bairro	Muito altos		Altos		Média	

* Calculado considerando que cada pavimento mede 3m de pé direito.

Tabela 7: Resumo dos modelos. **Fonte:** Elaboração Própria

Com a elaboração destes modelos, no cenário virtual de dinâmica de fluidos PHOENICS, pretende-se analisar as hipóteses lançadas no início da pesquisa:

- A redução da porosidade da malha, por meio da diminuição dos afastamentos laterais entre os edifícios, é mais prejudicial para a ventilação urbana, do que o aumento da rugosidade pela elevação da altura das edificações;
- O aumento da porosidade vertical (afastamento entre pavimentos) do edifício diminui os fluxos turbulentos provocados a sotavento dos mesmos.
- A redução da densidade construtiva, por meio da limitação da altura dos edifícios, não garante a melhoria da ventilação urbana;

4.2. Software PHOENICS

O aplicativo selecionado para a simulação de ventilação foi o **PHOENICS (Parabolic Hyperbolic Elliptic Numerical Integration Code Series)**, que pertence à firma CHAM (Concentration Heat and Momentum Limited), fundada em 1974. Trata-se de um *software* de dinâmica de fluidos computacional (CFD), que permite a investigação de diversos processos que envolvem o fluxo de fluidos, transferência de calor e de massa, reações químicas e/ou combustão em equipamentos ou em ambientes (CHAM, 2013). Por isso, é utilizado em diversas áreas do conhecimento, como na engenharia (civil, naval, nuclear e química) e na arquitetura, em que têm sido desenvolvidas diversas pesquisas acadêmicas de ventilação em espaços urbanos e no interior de edificações. Podemos citar como exemplos os trabalhos de Bittencourt (1993), Costa (2001), Marques (2003), Cândido (2006), e Sacramento (2012). Por ser um programa com mais de 30 anos de uso, é considerado uma ferramenta confiável, que proporciona resultados precisos. O programa vem sendo regularmente atualizado, no entanto, nesta pesquisa, foi utilizada a versão VR 3.6.1, de 2005, no laboratório de conforto da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

O programa **funciona a partir três módulos sequenciais**, o pré-processador, o processador e o pós-processador (ver figura 56).

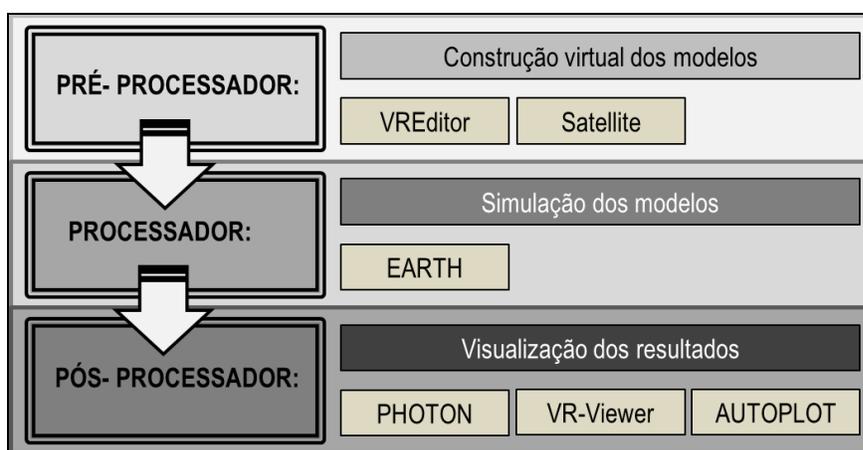


Figura 56: Módulos que compõem o PHOENICS. **Fonte:** Elaboração própria adaptado de CHAM, 2010.

O **pré-processador** é composto pelo *VR-Editor* e pelo *Satellite*, que são editores de realidade virtual. Eles são responsáveis por receber as informações e traduzi-las, para que possam, em seguida, ser interpretadas pelo processador – módulo seguinte (MARQUES, 2003). Assim, no pré-processador, são inseridos todos os dados de definição do estudo, isto é, para além do desenho da geometria dos modelos, é necessário, igualmente, definir o tamanho do campo de análise virtual – chamado de domínio – a malha de cálculo – denominada de grid – as configurações de direção, velocidade, entrada e saída – chamados de *inlet* e *outlet* respetivamente - do fluido, as condições de contorno e os parâmetros de relaxamento, que influenciam na característica do escoamento, na precisão dos resultados e no tempo de simulação (COSTA, 2001).

Deste modo, para iniciar a configuração do modelo virtual, é necessário, primeiramente, definir o **tamanho do domínio**, que deve ser maior que o objeto, para que haja um livre escoamento do ar sem que ocorram interferências nos campos de pressão lateral. Conforme a apostila do PHOENICS, o domínio deverá ser seis vezes o tamanho do objeto no eixo x, treze vezes no eixo y e três vezes no eixo z. No entanto, Sacramento (2012) ressalta que o cálculo do domínio deve levar em consideração as dimensões do objeto, pois quanto maior o domínio, mais cálculos serão necessários no processador. No caso dos modelos em estudo, por se tratarem de áreas urbanas, as dimensões dos objetos são bastante elevadas. Por isso, reduziram-se os valores recomendados para metade, ou seja, o domínio é três vezes a dimensão do objeto em x, seis vezes e meia em y e uma vez e meia em z, conforme a figura 55 e o quadro 19.

CÁLCULO DO DOMÍNIO PARA O PHOENICS								
Equações			$D_{om} = 1,5. S_{ob} + S_{ob} + 1,5. S_{ob}$					
			$D_{om} = 1,5. S_{ob} + S_{ob} + 5. S_{ob}$					
			$D_{om} = 1,5. S_{ob} + S_{ob}$					
Medidas do objeto			Medidas do domínio			Origem do objeto		
S_{ob}	S_{ob}	S_{ob}	D_{om}	D_{om}	D_{om}	X	Y	Z
1168,1907	411,1604	140,0000	4672,7628	3083,7030	350,0000	1752,2861	616,7406	0,0000

Quadro 19: Cálculo do domínio do modelo 1. **Fonte:** Adaptado de apostilha do PHOENICS

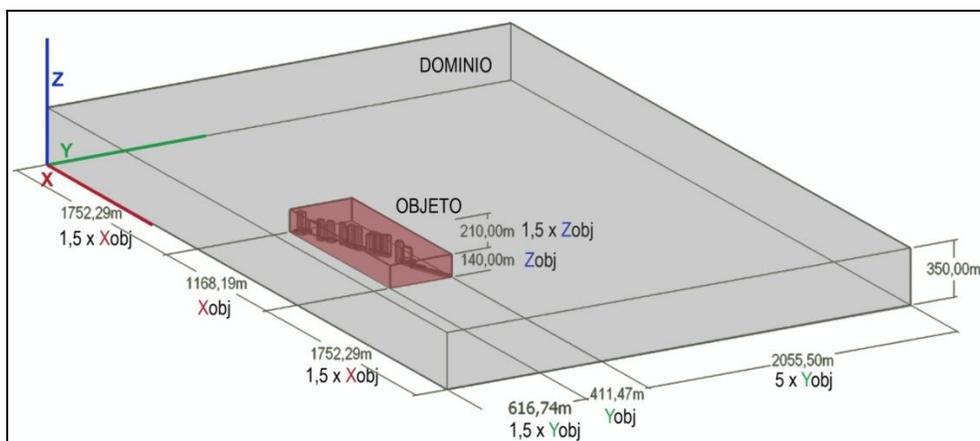


Figura 57: Dimensões do domínio e o objeto no modelo 1. **Fonte:** Elaboração própria

Após a **definição da malha**, são inseridos os blocos de edifícios que compõem o modelo tridimensional e, em seguida, é configurada a área de entrada (*inlet*) e saída (*outlet*) do fluido. Como o objetivo do trabalho é de analisar os ventos provenientes de Sudeste e Sul, estes foram configurados para entrar no ambiente virtual a 45° e a 90° , respectivamente. Contudo, o volume de entrada de 45° é posicionado à esquerda, equivalendo a um vento de Sudoeste. Por isso, para analisar a ventilação na direção pretendida, o modelo foi programado com a configuração espelhada como mostra a figura 59.

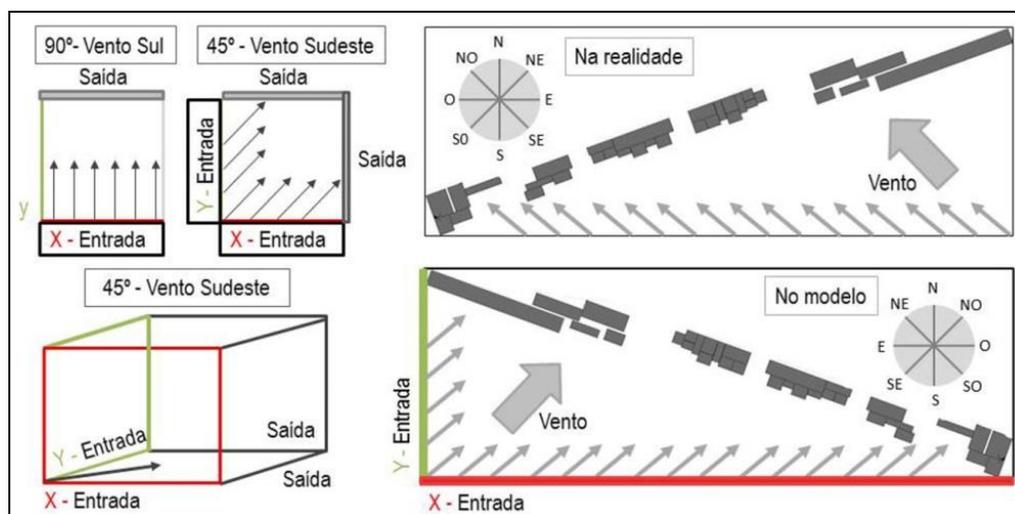


Figura 58: Esquema dos locais de entrada e saída do vento, nos modelos a 45° e a 90° . **Fonte:** Elaboração própria.

A **configuração da velocidade do ar** foi determinada a partir da média de 2,82m/s, indicada pelas Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2013), para a estação da Várzea, no Recife, retirada a 10m de distância do solo. Esta média é calculada considerando todos os meses do ano e todas as horas do dia, inclusive os períodos do dia em que ocorrem calmarias. Para a inserção deste dado, no modelo virtual, foi necessário, primeiramente, calcular a velocidade do vento a diferentes alturas do solo, pois, como foi mencionado no capítulo 2, a velocidade do ar se altera ao longo do **gradiente vertical e conforme o fator de rugosidade do terreno**. A equação e os parâmetros de rugosidade (ver quadro 20) que servirão de base para a pesquisa foram os seguintes:

$\frac{V}{V_m} = K \times Z^a$	<p>V = Velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s). V_m = Velocidade média do vento, medida na estação meteorológica a uma altura padrão de 10m (m/s). z = Altura da abertura de entrada do vento (m). K; a = Coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do entorno.</p>
--------------------------------	--

Coeficientes de terreno	K	a
Campo aberto plano	0.68	0.17
Campo com obstáculos esparsos	0.52	0.20
Área urbanizada	0.35	0.25
Centro de grandes cidades	0.21	0.33

Quadro 20: Cálculo de coeficiente de rugosidade conforme o terreno. **Fonte:** Jackman, 1979 *apud* Adaptado de Bittencourt e Cândido, 2010.

Apesar de a área em estudo se localizar no centro da cidade, não existem muitos obstáculos no sentido de onde provém o vento. Por isso, foi adotado o parâmetro de campo aberto plano com o fator $k=0.68$ e o fator $a=0.17$ (ver figura 59). Isto significa que a velocidade de entrada no modelo a 5m de altura do solo será igual a 2,52m/s, como demonstra na equação abaixo e no esquema da figura 58.

$$V = 2,82 \times 0,68 \times (5^{0,17}); \mathbf{V=2,52m/s}$$



Figura 59: Esquema de gradiente de ventilação e tabela de velocidade do vento Sul. **Fonte:** Elaboração própria

Após concluir a configuração dos dados de entrada, é necessário ajustar a **regularidade do grid**. O *grid* é uma malha de cálculo, gerada automaticamente pelo programa ao inserir os blocos de edifícios. Esse *grid* é demarcado pelas extremidades máximas de cada bloco de edifício, resultando numa malha bastante irregular em termos de dimensões dos espaçamentos. Essa anomalia pode levar a erros de cálculo. Por isso, torna-se necessário refinar o *grid*, de modo a ajustar o máximo possível os espaçamentos nos três eixos (x, y, z). Na figura abaixo, (figura 60) é possível conferir como esse arranjo ocorre. Com a cor laranja, estão demarcadas as linhas geradas pelo programa e, com a azul, as novas linhas de reajuste inseridas no modelo. Concluída esta etapa, o modelo fica pronto para o processador.

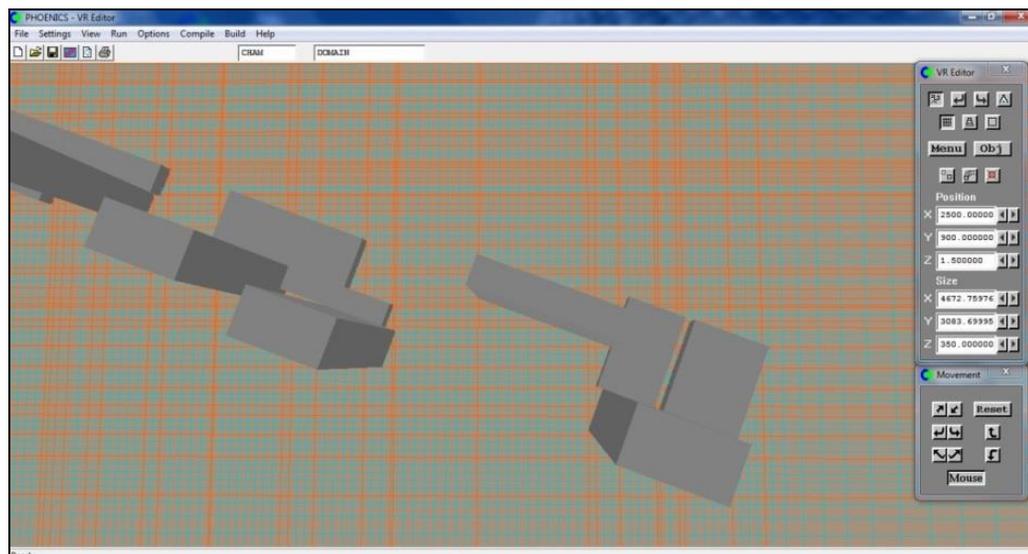


Figura 60: Visualização do *grid* no PHOENICS. **Fonte:** Elaboração própria.

O **processador** contém um sistema de sub-rotinas, chamado EARTH, que gera a simulação do modelo por meio de complexos cálculos numéricos (COSTA, 2001). Segundo Marques (2003, p.87) o programa “computa as diferenças nos balanços de massa, momento e energia em um grande número de elementos de volume, nos quais o domínio do escoamento é subdividido.” Além disso, o programa adequa-se regularmente às variáveis inseridas, até alcançar o balanço de todos os volumes. Consiste em um processo de tentativa em erro, porque os balanços são um “problema matemático com um alto grau de não linearidade” (MARQUES, 2003, p.87). Deste modo, é necessário o processador **efetuar os cálculos diversas vezes**, iniciando com 50 interações e duplicando o número de interações, até chegar num resultado satisfatório. Em cada interação, o programa vai convergindo os dados de modo a diminuir a taxa de erro, por meio de ajustes sucessivos (CHAM, 2010). O decorrer da simulação pode ser acompanhado em uma tela gráfica que apresenta a evolução dos erros (ver figura 61).



Figura 61: Tela que demonstra o cálculo do erro nas diferentes variáveis. Fonte: Elaboração Própria

No final da simulação, é possível visualizar os resultados no **pós-processador**, que é composto pelo *VR Viewer*, o PHOTON e o AUTOPLOT. Para este trabalho, optou-se pelo modo de **visualização do VR Viewer**, que permite observar os resultados sob a forma de vetores, de campos de velocidades ou de isolinhas (CHAM, 2010). Assim, a compreensão é bastante interativa e intuitiva, permitindo conferir a direção do vento e a velocidade de deslocamento, por meio de uma escala de cores que vai do azul ao vermelho (ver imagem 62). Esta visualização pode ser feita nos três eixos, bidimensionalmente, deixando a desejar uma visualização tridimensional dos fenômenos aerodinâmicos.

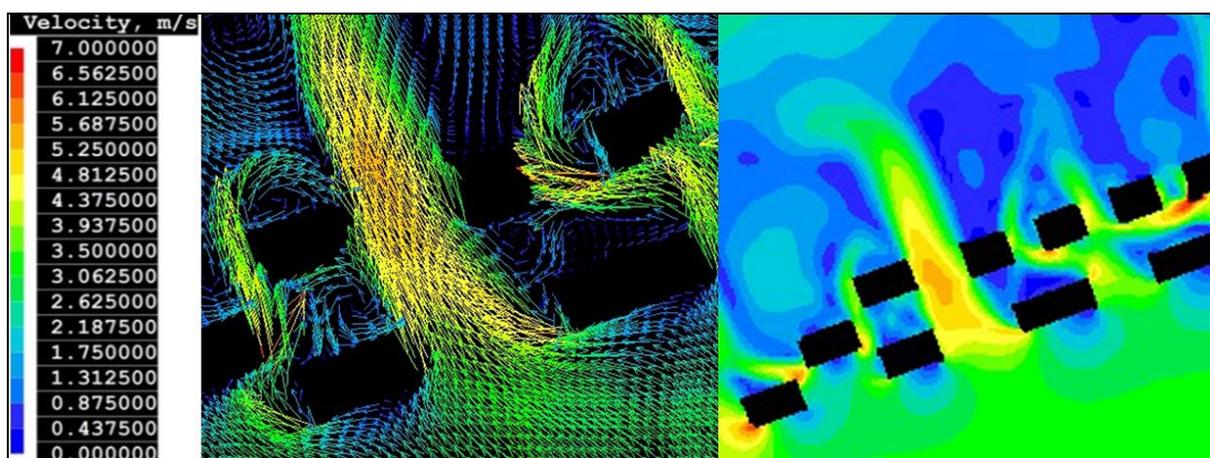


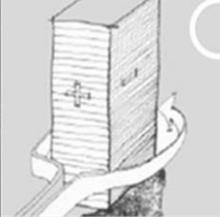
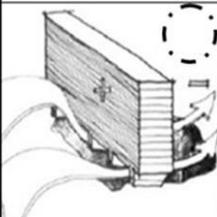
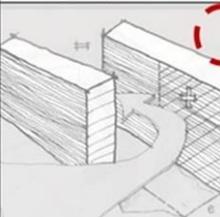
Figura 62: Visualização dos resultados em módulo VR-Editor, na imagem da esquerda é a visualização por vetores e a imagem da direita por campos de velocidade. **Fonte:** Elaboração própria.

4.3. Resultados das simulações

Os resultados obtidos nas simulações serão apresentados neste subcapítulo, que, foi subdividido em dois, para explicar, com mais clareza, as **duas análises distintas** que foram concebidas. No primeiro, são apresentadas as análises de conforto ao nível do pedestre, ou seja, a 1,5m de distância do solo e, no segundo, são demonstradas as variações de velocidades a diferentes alturas do gradiente de ventilação.

4.3.1. Análise de conforto térmico ao nível do pedestre.

Para a análise de conforto térmico do pedestre, foram extraídas, das simulações, **imagens a 1,5 metros distância do solo**, por ser considerada uma altura padrão para a configuração do ser humano. Em seguida, essas imagens foram avaliadas à luz dos conceitos apreendidos sobre a ventilação urbana no capítulo 2. No qual, foram identificados, em cada um dos modelos, alguns dos **efeitos aerodinâmicos**, descritos por Gandemer (1978), e foi definida uma **zona de conforto** conforme a velocidade de deslocamento do ar (ver quadro 21). Todas as análises dos modelos foram resumidas nos quadros 22, 23, 24, 25, 26 e 27 para facilitar a leitura.

Efeitos aerodinâmicos Gandemer (1978)		Escala de velocidade de conforto		
Efeito de Esteira	Efeito de Canto	Velocidade m/s	Conforto Ambiental	
			↑ Mobilidade começa a ficar afetada Início da zona de desconforto por velocidade elevada	
			< 7.000000 7.000000 6.562500 6.125000 5.687500 5.250000 4.812500 4.375000 3.937500 3.500000 3.062500 2.625000 2.187500 1.750000 1.312500 0.875000 0.437500 0.000000	zona de Conforto Térmico para o clima quente e húmido de Recife
Efeito Pilotis	Efeito de diferença de pressão			Início da zona de desconforto por acumulo de calor Qualidade ar fica comprometida
				

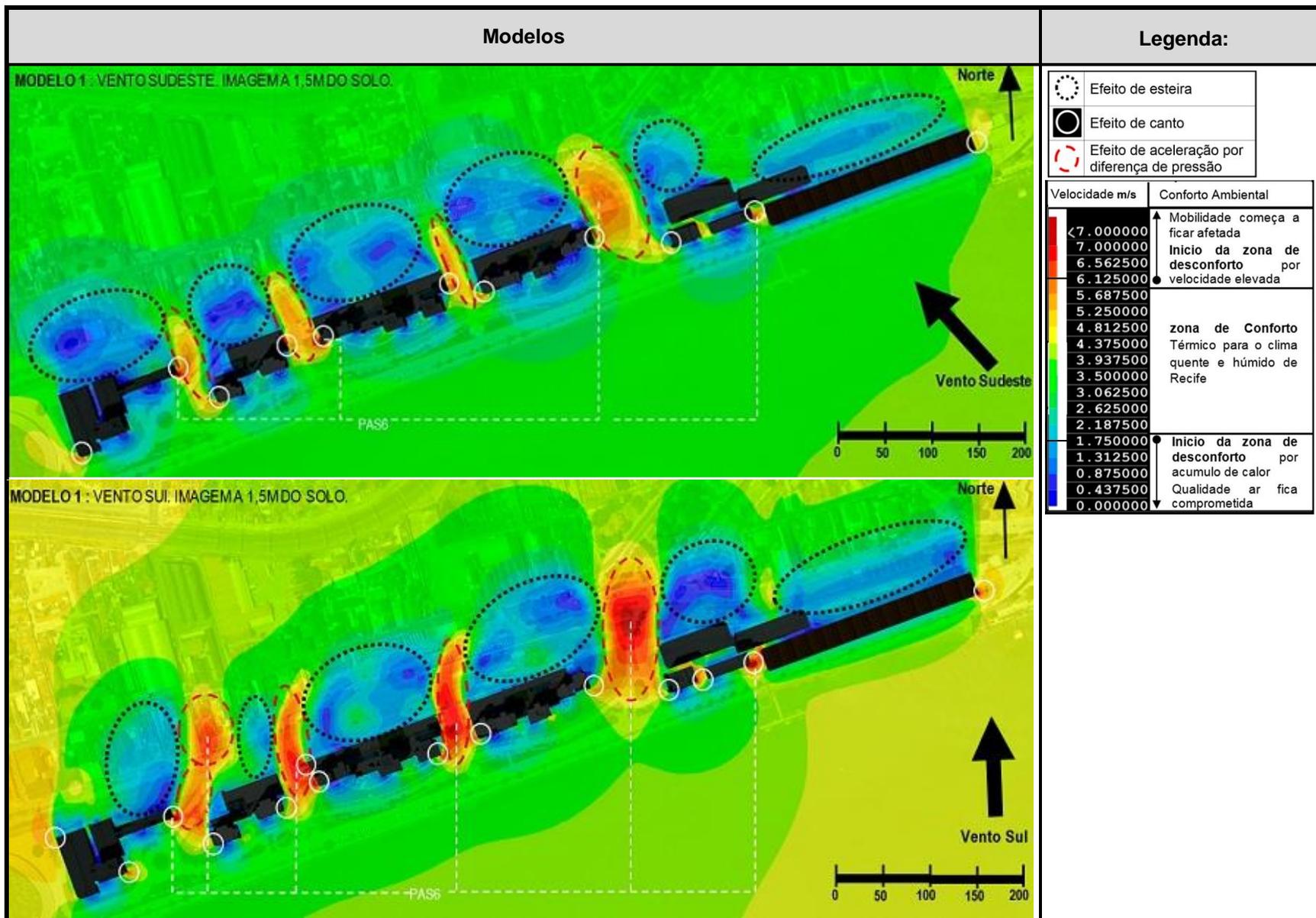
Quadro 21: Parametros para a análise dos modelos à altura do pedestre. **Fonte:** Elaboração própria.

Como foi mencionado, o modelo de visualização VR, do programa de dinâmica de fluidos PHOENICS, apresenta uma **escala gráfica colorida associada à velocidade do vento**. Os vários tons de azul indicam velocidades de deslocamento do ar abaixo de 2,1875 m/s, enquanto os tons verdes apontam velocidades entre os 2,1875 m/s e os 3,9375m/s, já as cores quentes, ou seja, o amarelo, o laranja e o vermelho representam sucessivamente velocidades mais elevadas. O limite máximo de 7m/s foi estabelecido após elaborar algumas experiencias gráficas com a escala e constatar

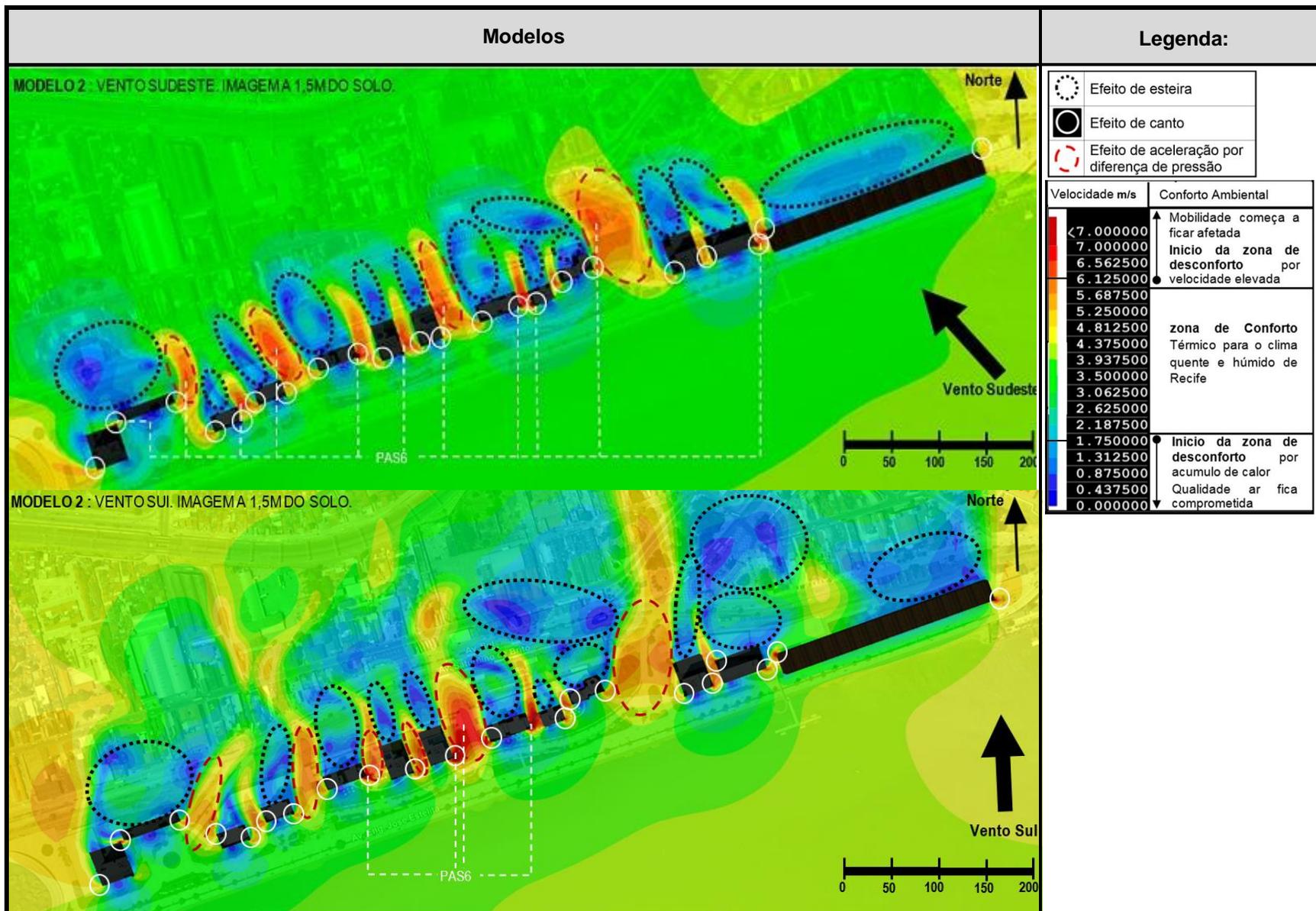
que este valor gerou imagens mais expressivas, distinguindo melhor os dados que seriam analisados. Por esse motivo todos os valores acima de 7m/s foram representados em uma só cor - o vermelho escuro.

A análise da relação entre a **velocidade e os limites de conforto** do pedestre foi baseada nas referências estudadas. Segundo Beaufort, quando a velocidade do vento é menor que 1,5 m/s, os efeitos em terra são imperceptíveis, por isso o autor categoriza de Calmaria. Logo, abaixo desta velocidade o pedestre tende a sentir desconforto térmico, sobretudo em locais onde o clima é quente e úmido, porque não consegue dissipar o calor que fica acumulado na pele em forma de suor. A baixa velocidade do vento dificulta a remoção do suor e a renovação do ar, deixando aglomerar um maior porção de partículas poluentes. A fraca qualidade do ar é também prejudicial para a saúde da população. Considerando a escala gráfica gerada pelo programa PHOENICS, e a velocidade indicada por Beaufort, optou-se por estabelecer um limite a 1,75m/s, ou seja, quando as cores das imagens (ver quadro 22 ao 27) são abaixo de 1,75m/s significa que o pedestre está fora da zona de conforto. Quanto ao limite máximo, Silva (1999), refere que velocidades acima de 6 m/s geram desconforto térmico e exercem gradualmente uma maior dificuldade para o pedestre caminhar. Comparando esse valor com a escala gráfica produzida pelo programa, foi determinado que os valores acima de 6,125m/s estariam fora da zona de conforto do pedestre, por isso foram identificados nas imagens – PAS6.

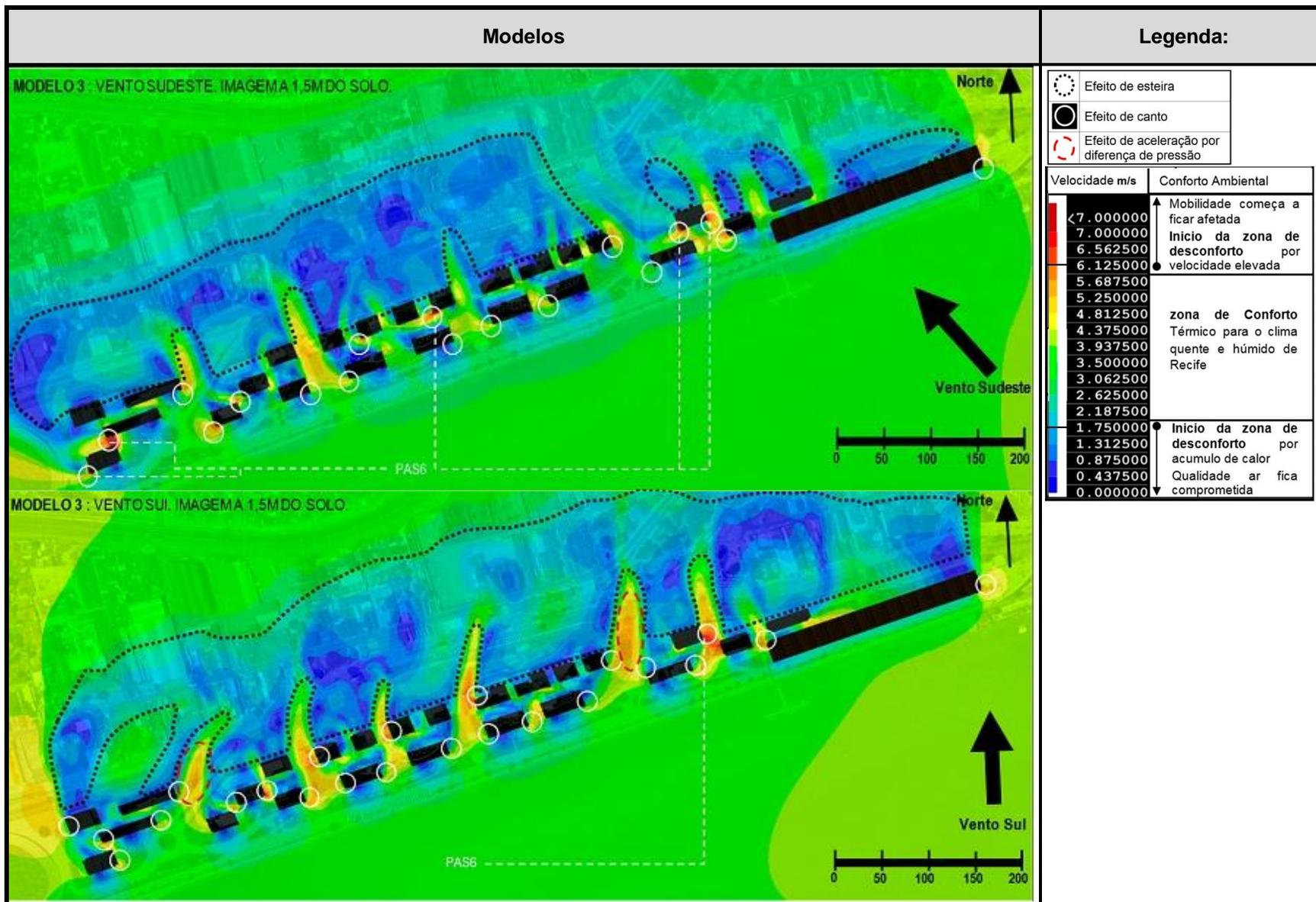
A zona de conforto térmico foi definida entre 1,75 m/s e 6,125m/s. Este intervalo com limites rígidos foi estabelecido para ajudar na análise das imagens, ou seja, não significa que o pedestre sente imperiosamente desconforto se a velocidade do vento for 1,6m/s ou 6,2m/s. A transição entre o estado de conforto e o desconforto na realidade ocorre de forma gradual, e depende de diversos fatores, como o grau de aclimação de cada indivíduo, as vestimentas utilizadas, o tempo de exposição ao vento, a atividade que está a ser realizada entre outros fatores mencionados no capítulo 2.



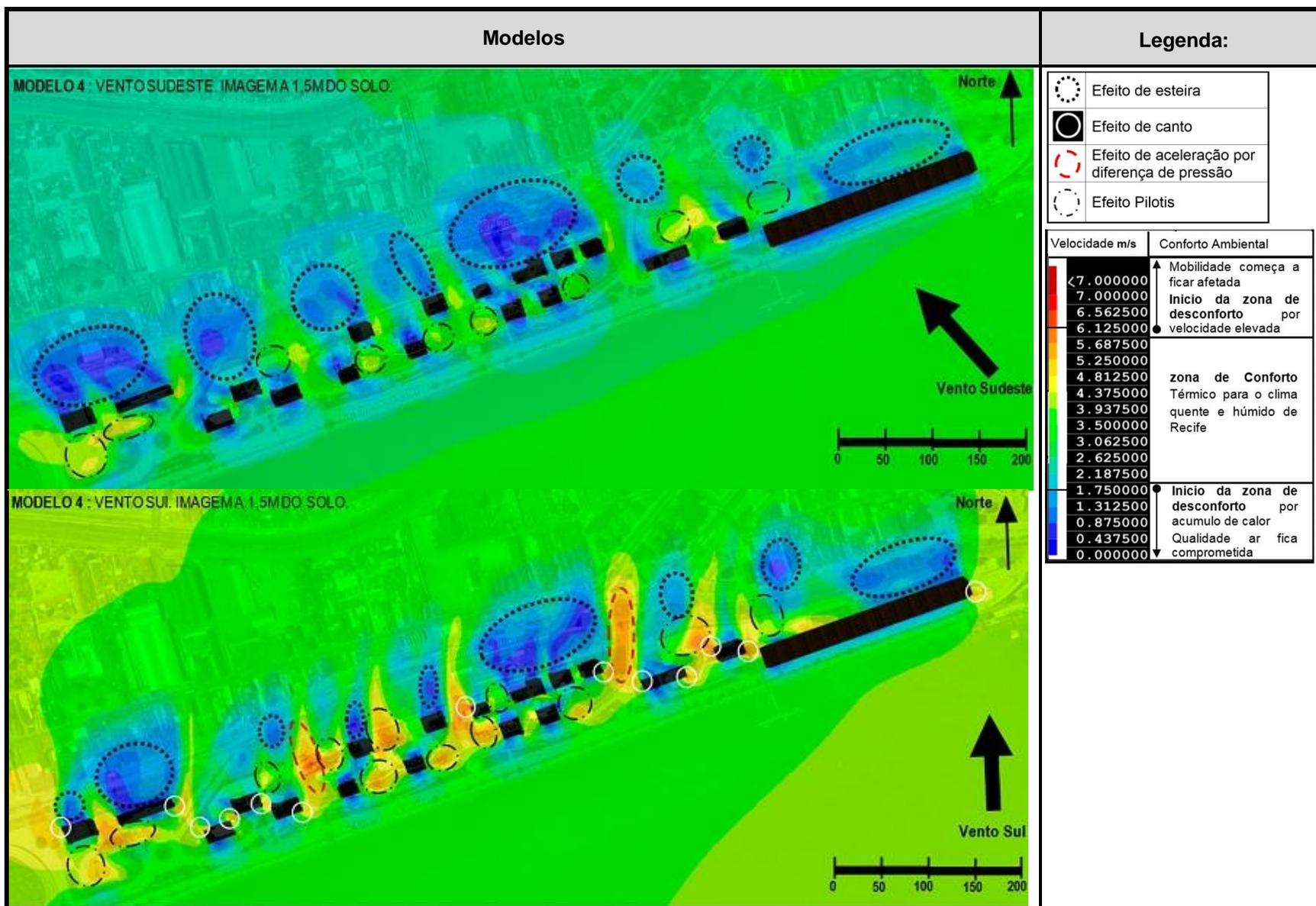
Quadro 22: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 1 a 1,5 metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.



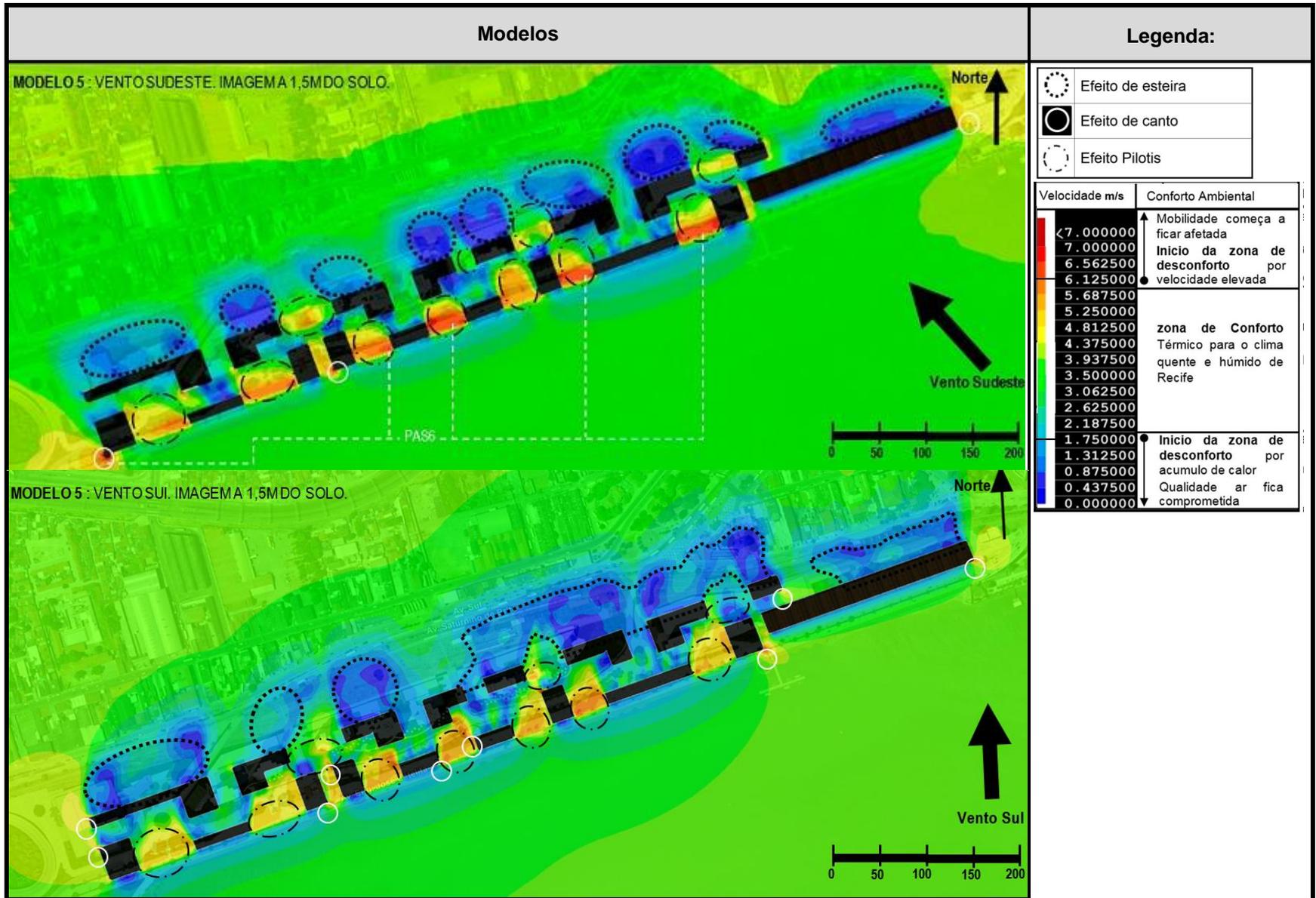
Quadro 23: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 2 a 1,5metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.



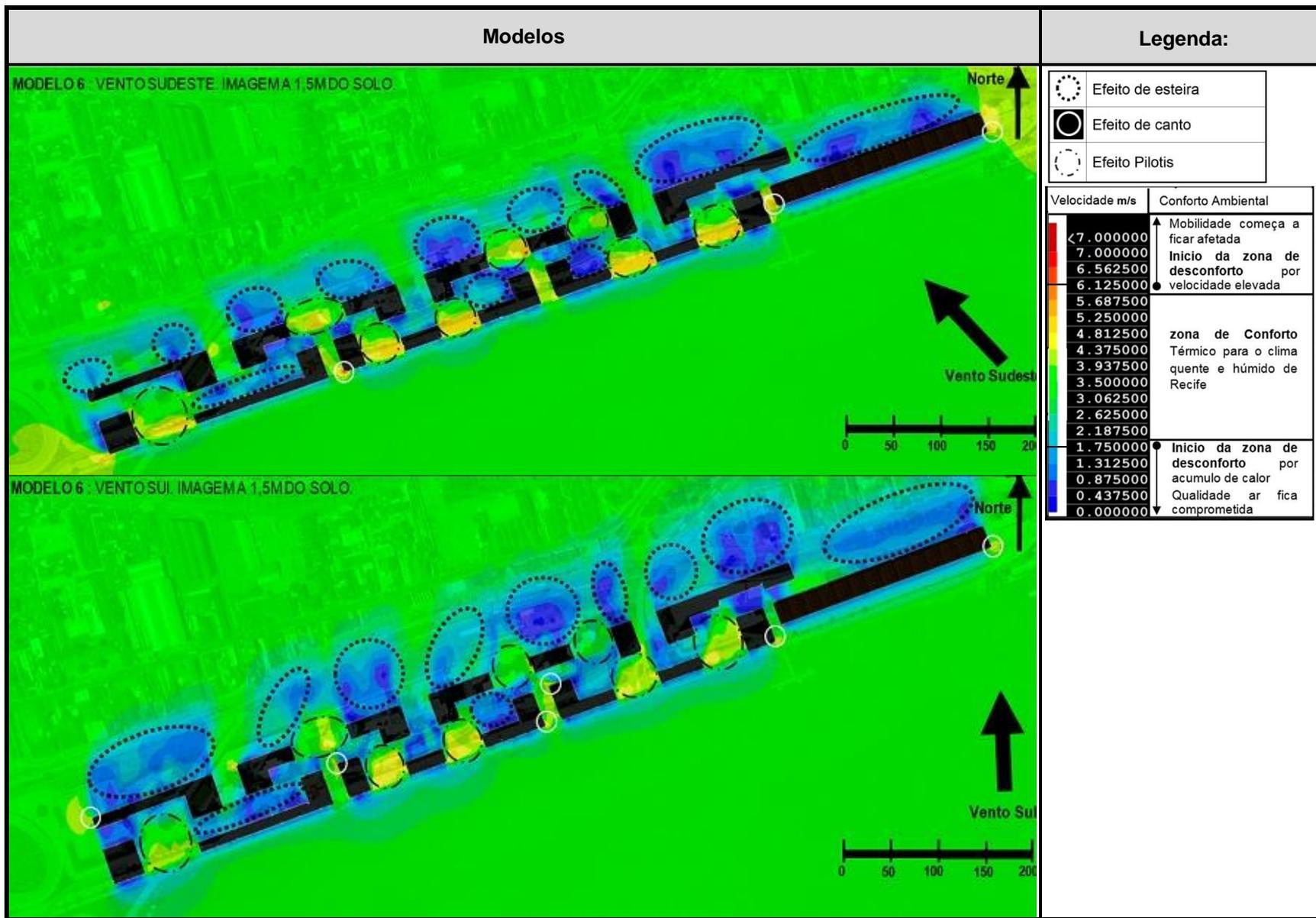
Quadro 24: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 3 a 1,5metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.



Quadro 25: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 4 a 1,5metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.



Quadro 26: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 5 a 1,5metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.



Quadro 27: Análise da velocidade do vento Sudeste e Sul no modelo 6 a 1,5metros de distância do solo. **Fonte:** Elaboração Própria.

No **modelo 1** pode-se identificar o efeito de esteira, originando fluxos turbulentos e uma redução na velocidade do ar na área a sotavento dos edifícios. Além de alguns efeitos de canto e de aceleração por diferenças de pressão que estão diretamente relacionados. Estes efeitos ocorrem porque, o vento ao encontrar uma barreira (os edifícios propostos) é forçado a contorná-la, como os obstáculos são bastante largos (junto ao solo são propostos grandes edifícios garagem), o fluxo tem de passar por um pequeno espaço físico condicionado pela rua, exercendo maior pressão nesses trechos e provocando assim uma aceleração da velocidade do ar. Por isso, este modelo apresenta várias áreas de desconforto para o pedestre tanto por velocidades demasiado elevadas quanto por velocidades demasiado baixas. Essa situação é agravada quando a ventilação é proveniente de Sul, ou seja, nos meses de Inverno, porque a aceleração acima de 6,125m/s é mais intensa e nessa época do ano é acompanhada pela chuva.

No **modelo 2** a redução da área de implantação dos edifícios garagem proporcionou um maior afastamento entre os edifícios ao nível do solo, e reduziu a área de esteira a sotavento. Fragmentou as áreas de desconforto por baixa velocidade e intercalou com áreas de aceleração, devido à altura e ao afastamento lateral dos edifícios. Ao comparar os dois modelos é possível verificar que o **modelo 1** é mais prejudicial para o pedestre porque tem mais áreas em que a velocidade do ar é abaixo de 0,875m/s, além de áreas contínuas desconforto por velocidades demasiado elevadas e baixas. Apesar do modelo 2 ter mais áreas de aceleração acima de 6,125m/s esses espaços são pontuais e associados ao efeito de canto dos edifícios. Isso significa que nesses locais específicos o pedestre sentiria desconforto em permanecer um longo período de tempo.

O **modelo 3** é o que apresenta uma maior extensão da zona de esteira a sotavento dos edifícios propostos. A imagem mostra que a velocidade do vento nessa área é geralmente abaixo da zona de conforto do pedestre 2,1875m/s. Isto significa que, o aumento da taxa de ocupação do solo gerou mais espaços de desconforto por baixas velocidades, do que a elevação da altura dos edifícios (**modelo 2**) devido à redução dos afastamentos entre os edifícios. Esta situação piora quando o vento é oriundo de

Sudeste, que é a orientação que ocorre ao longo de todo o ano. No entanto houve uma redução das zonas de desconforto por velocidades demasiado elevadas, mesmo tendo sido identificados vários efeitos de canto.

No **modelo 4** as áreas com o efeito de esteira são menores que no **modelo 3** porque a introdução dos pavimentos vazados e dos pilotis permitiu uma maior permeabilidade do tecido urbano. A introdução destes elementos vazados, também fez com que houvesse uma redução da pressão positiva a barlavento e por isso, o modelo não apresenta nenhuma área em que a velocidade é acima de 6,125m/s. Todos os efeitos pilotis identificados estão dentro da zona de conforto do pedestre. Conclui-se então que o aumento da permeabilidade vertical trouxe várias vantagens para o conforto do pedestre, sobretudo quando o vento é proveniente de Sul.

No **modelo 5** o aumento do número de edifícios gerou uma redução dos afastamentos laterais, que provocou uma maior pressão na área a barlavento. Por isso as áreas com efeitos de pilotis apresentam velocidades mais altas que no **modelo 4**. Quando o vento é Sudeste é possível identificar algumas áreas em que o efeito pilotis e o efeito de canto incitam velocidades acima do conforto. No entanto, a redução da altura dos edifícios pela metade originou a diminuição da profundidade da zona de esteira, apesar de algumas áreas terem velocidades abaixo de 0,875m/s que seriam problemáticas para o conforto do pedestre, pela fraca taxa de renovação do ar para dispersar o calor e os poluentes.

No **modelo 6** a redução da altura dos edifícios, gerou uma diminuição da pressão a barlavento. Por isso os efeitos pilotis tem velocidades mais baixas se comparado com o **modelo 5**. No entanto a modificação da localização dos edifícios com pilotis originou mais zonas de esteira no interior das quadras, demonstrando a importância do estudo da localização deste elemento arquitetónico. Por fim, existem alguns efeitos de canto, no entanto nenhum deles apresenta velocidades acima de conforto com um desempenho muito semelhante tanto com vento de Sul quanto Sudeste.

Ao comparar todos os modelos, pode-se concluir que o **modelo 3** é o que apresenta uma maior extensão da zona de esteira e, por isso, uma maior área com ventilação abaixo do nível mínimo de conforto para o pedestre, enquanto o **modelo 2** é o que apresenta mais pontos de aceleração acima da velocidade máxima de conforto. No entanto, se juntarmos o desconforto provocado tanto pelas altas velocidades quanto pelas baixas, o **modelo 1** é o que tem a combinação mais desagradável para o pedestre. Isto ocorre, porque neste modelo, há extensas áreas contínuas de sombra de vento e grandes áreas de canalização de vento nas ruas, com velocidades que vão até os 9m/s na ventilação Sul.

O **modelo 4** se destacou, pois é o que melhor se enquadra nas necessidades de conforto do pedestre, visto que apresentou zonas de sotavento bastante reduzidas e nenhuma velocidade acima dos 6,125m/s. Os **modelos 2, 5 e 6** poderiam, também, ser interessantes para o conforto e para a vitalidade urbana, se houvesse um estudo mais aprofundado da localização ideal dos pavimentos vazados e da variação de alturas.

A partir deste estudo foi possível constatar que:

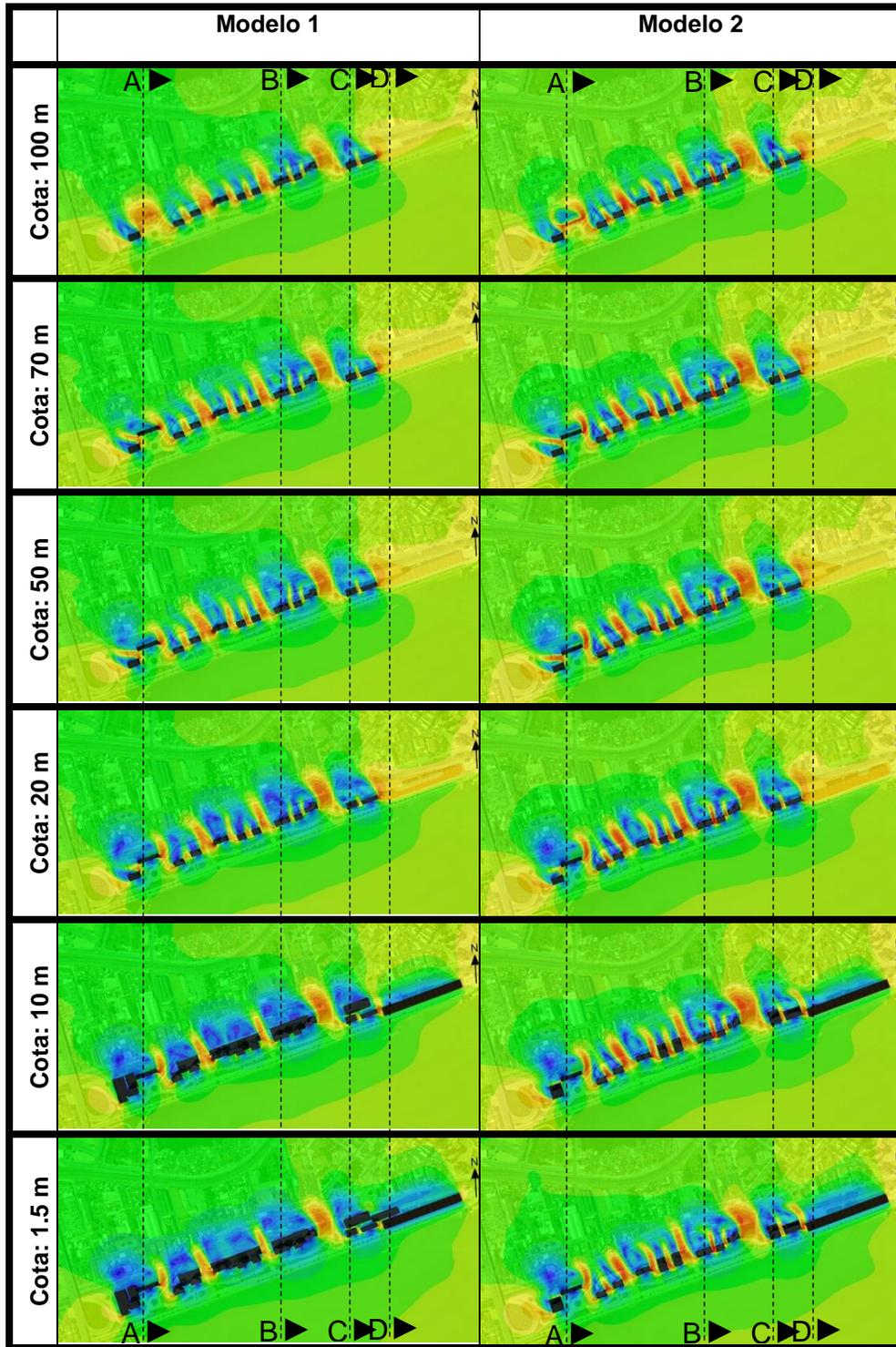
- O modelo de edifício garagem – proposto para o projeto Novo Recife e, amplamente, difundido na construção da cidade do Recife – prejudica, gravemente, a qualidade ambiental, o conforto do pedestre e os níveis adequados de renovação do ar;
- A elevação da altura dos edifícios e o aumento dos afastamentos laterais – apesar de ser desejável para a permeabilidade do solo e para a redução das zonas de esteira – pode provocar velocidades demasiado elevadas, junto ao solo, comprometendo o conforto de deslocamento do pedestre;
- A introdução de pilotis, na base dos edifícios, pode reduzir a dimensão das áreas de esteira a sotavento e diminuir a pressão positiva a barlavento, se forem devidamente localizados;
- A redução da densidade construtiva, por meio da limitação da altura, não é uma garantia de maior conforto para o pedestre ao nível do solo.

4.3.2. Análise do deslocamento do ar em diferentes alturas do solo

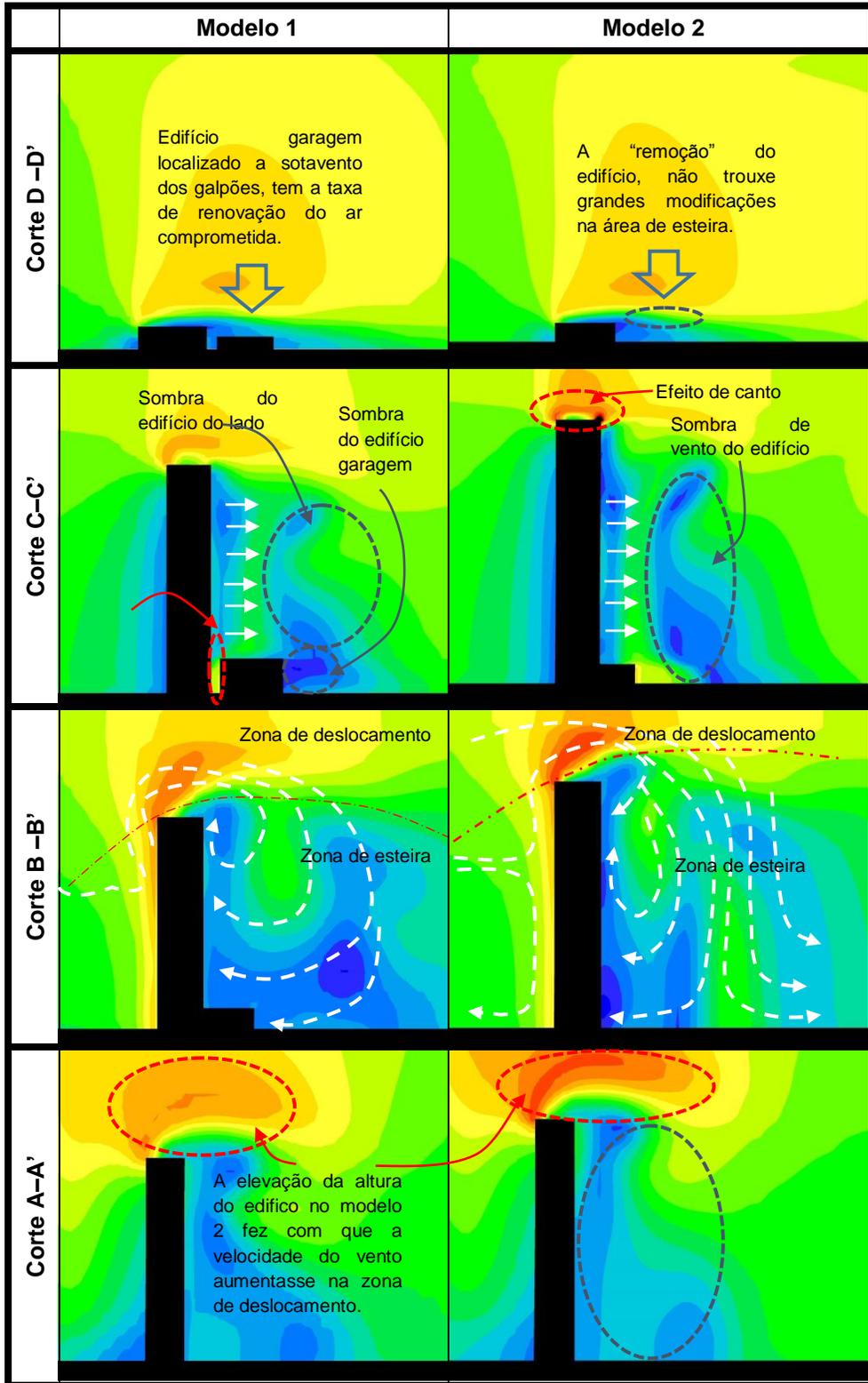
Para analisar as alterações que ocorrem na ventilação natural, em meio urbano foram efetuados dois estudos distintos. O primeiro consiste na identificação dos **efeitos aerodinâmicos**, referenciados por Gandemer (1978), e das **zonas de circulação**, descritas por Oke (1978). Para isso, foram retiradas quatro imagens transversais de cada modelo, na mesma localização, para proporcionar uma comparação direta das diferenças ocasionadas por cada forma urbana distinta. O segundo estudo teve como objetivo identificar os modelos que mais alteram o padrão de circulação natural. Para isso, foram selecionadas imagens a **diferentes alturas do solo (1,5; 10; 20; 50; 70 e 100 metros)** e foram identificadas as **áreas de aceleração e redução da velocidade do vento** em cada um dos modelos. A escala de velocidades, utilizadas em todos os modelos, foi a mesma (ver figura 63).

Efeito	Velocidade m/s
Aceleração	<7.000000
	7.000000
	6.562500
	6.125000
	5.687500
	5.250000
	4.812500
Valor de Entrada	4.375000
	3.937500
	3.500000
	3.062500
	2.625000
Redução	2.187500
	1.750000
	1.312500
	0.875000
	0.437500
	0.000000

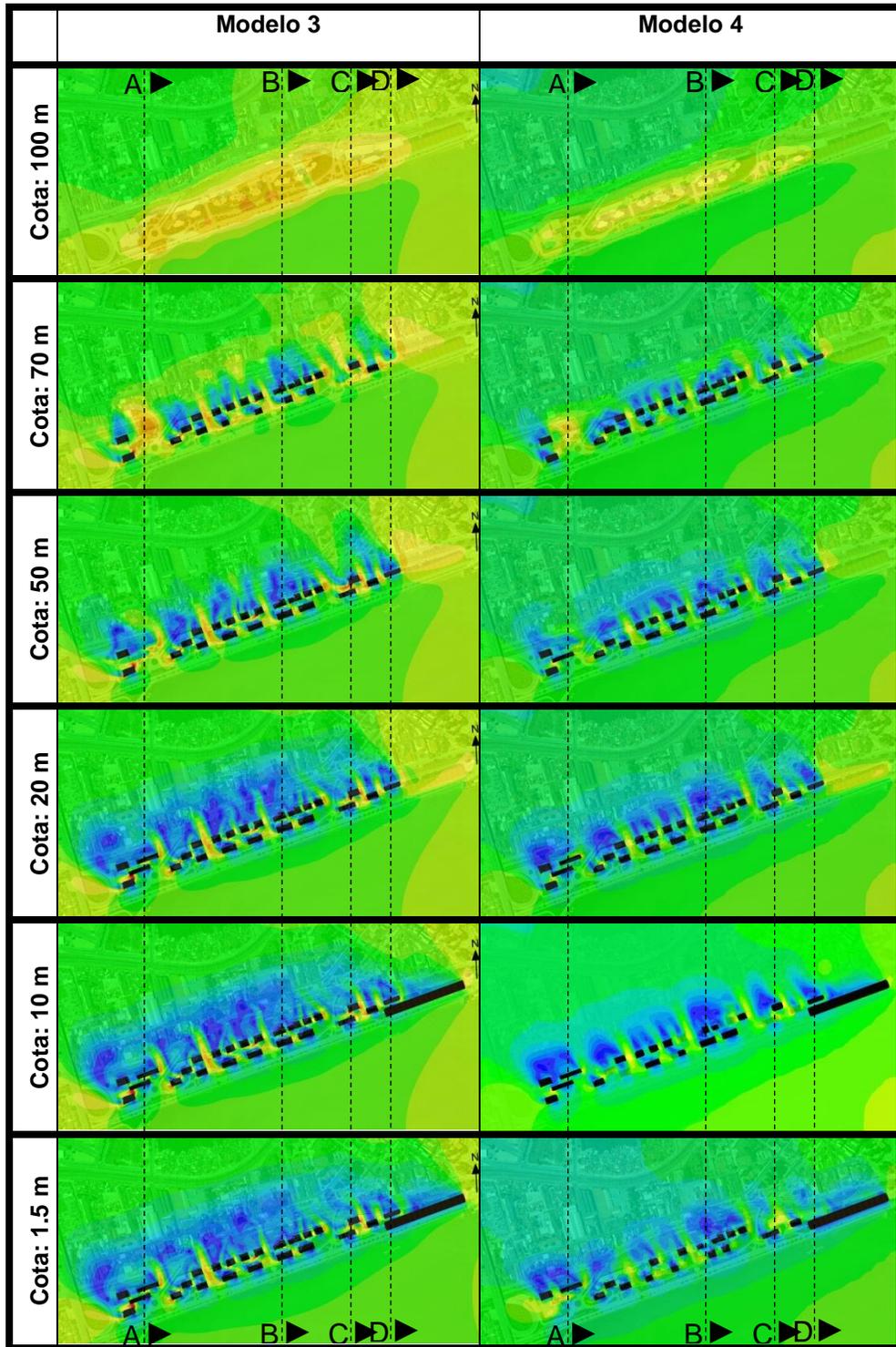
Figura 63: Escala de velocidades. **Fonte:** Elaboração própria.



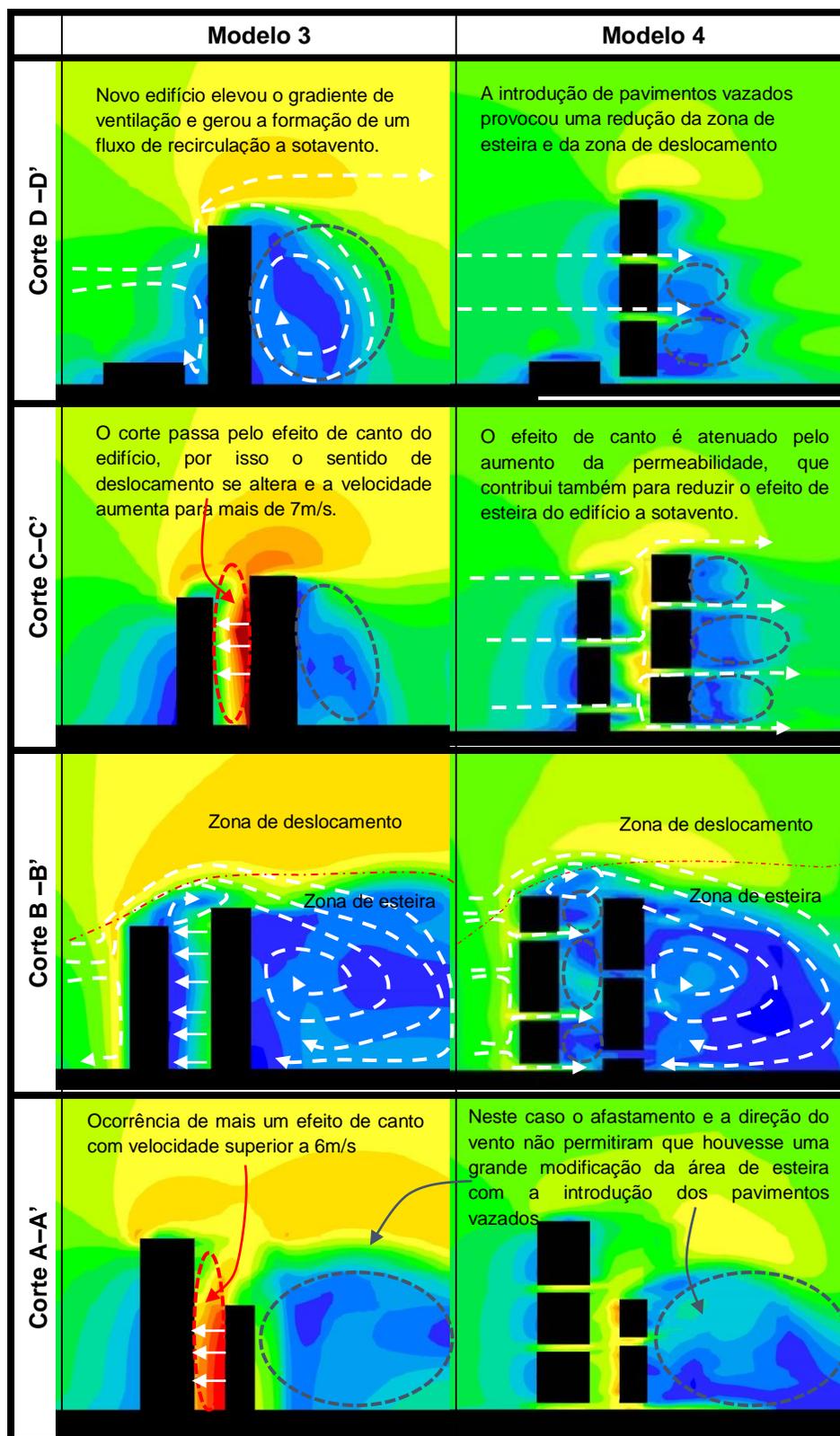
Quadro 28: Imagens dos modelos 1 e 2 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. **Fonte:** Elaboração Própria.



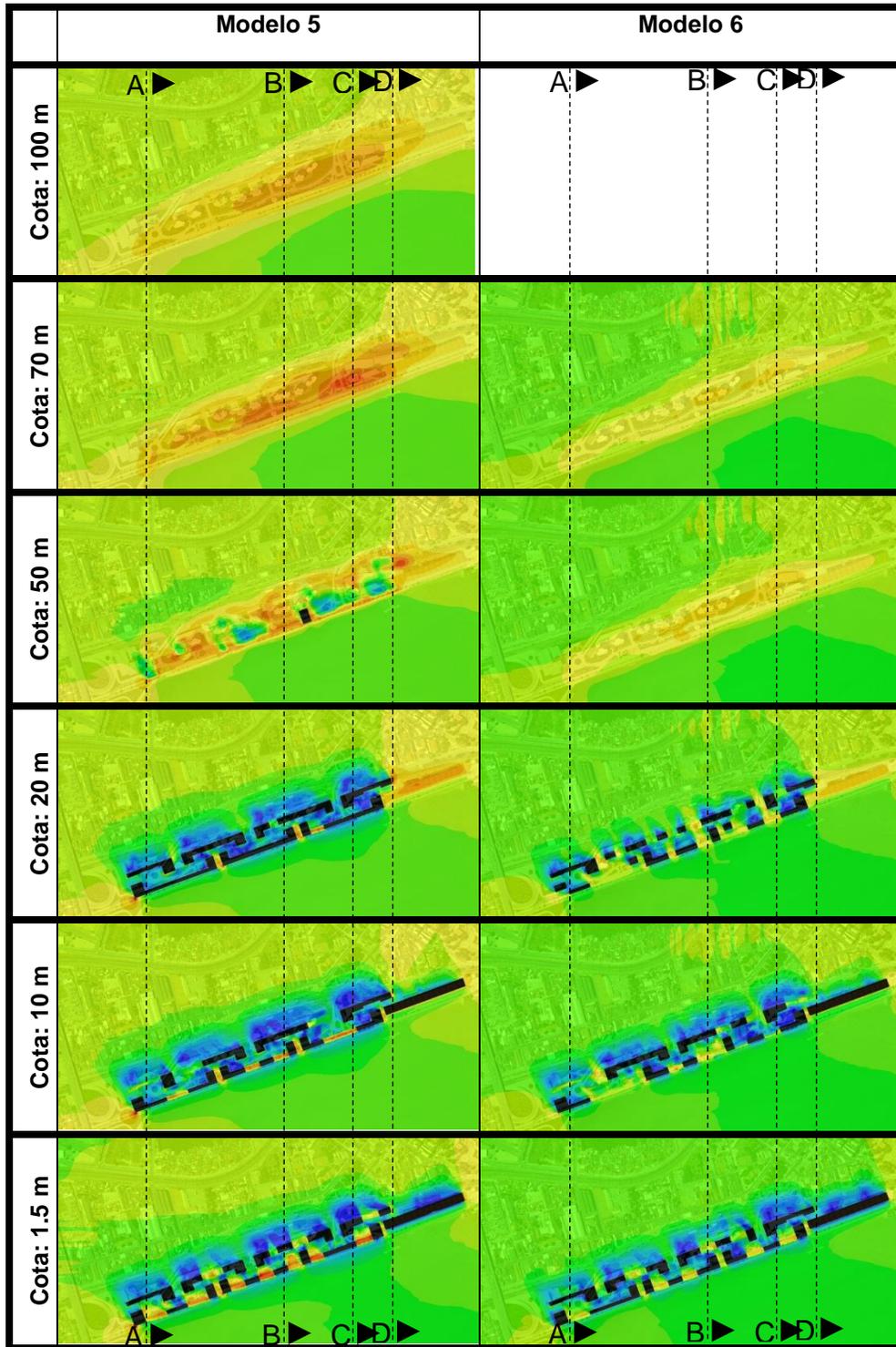
Quadro 29: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 1 e 2, vento oriundo de Sudeste. **Fonte:** Elaboração Própria.



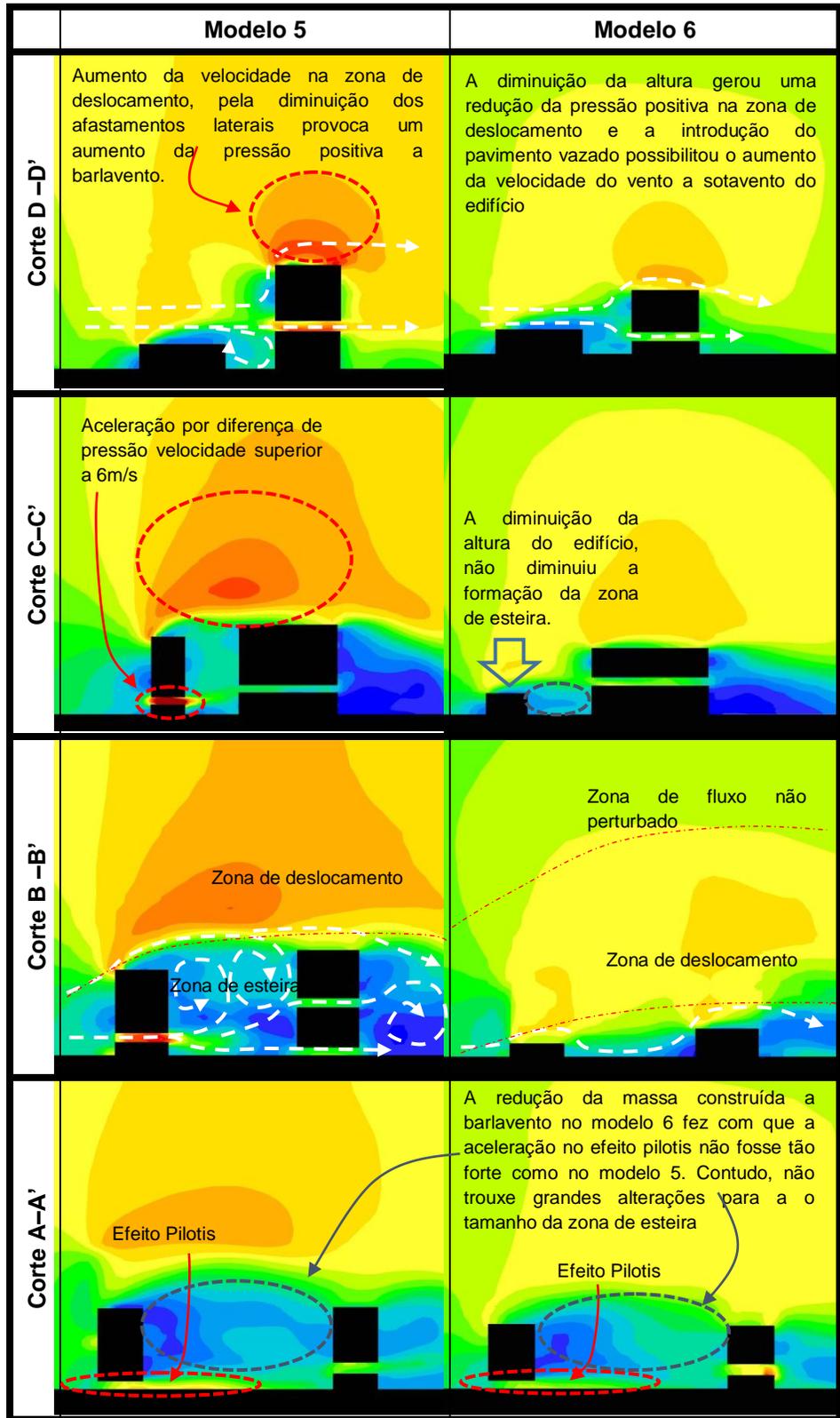
Quadro 30: Imagens dos modelos 3 e 4 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. **Fonte:** Elaboração Própria.



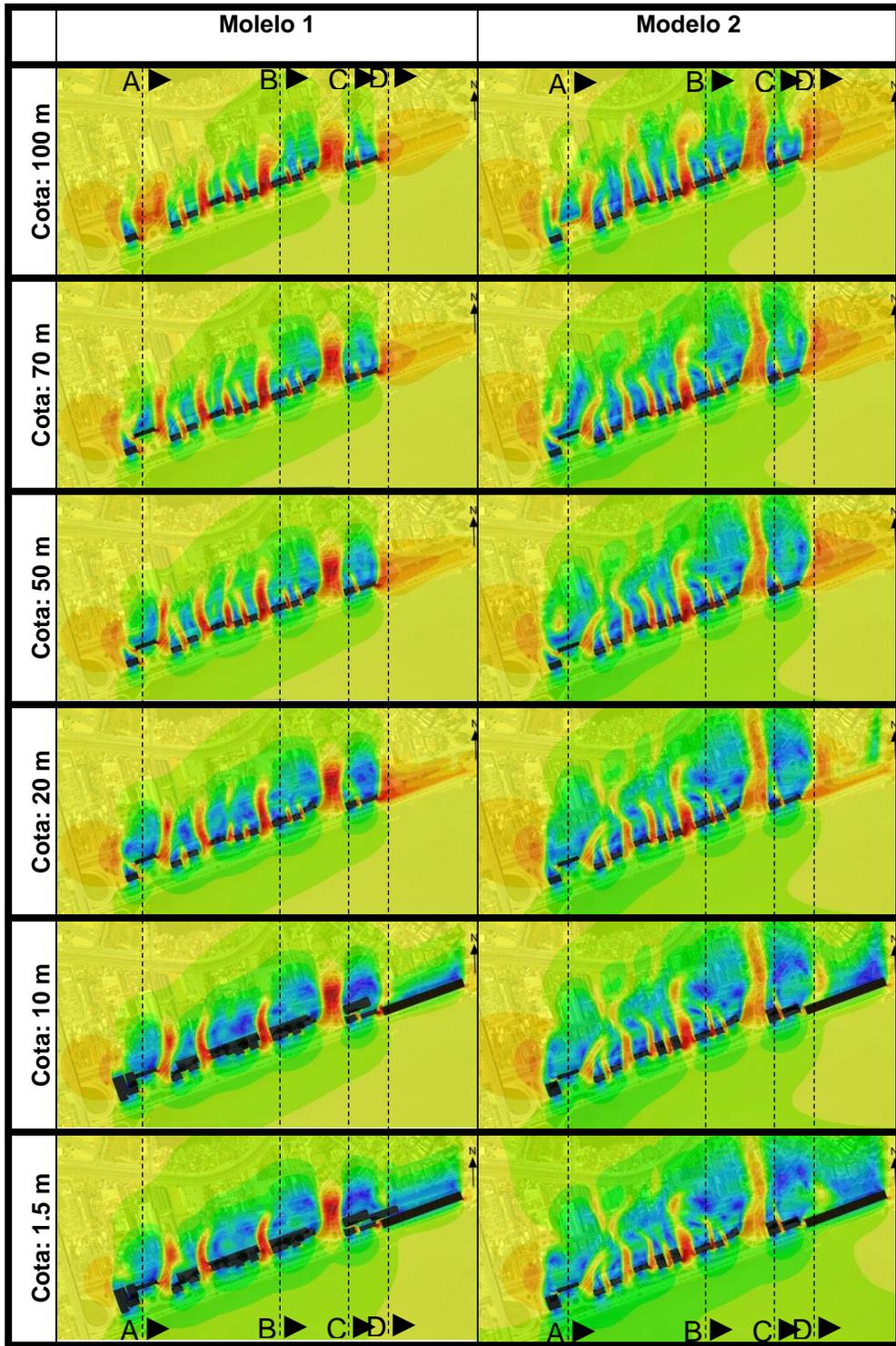
Quadro 31: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 3 e 4, vento oriundo de Sudeste. Fonte: Elaboração Própria.



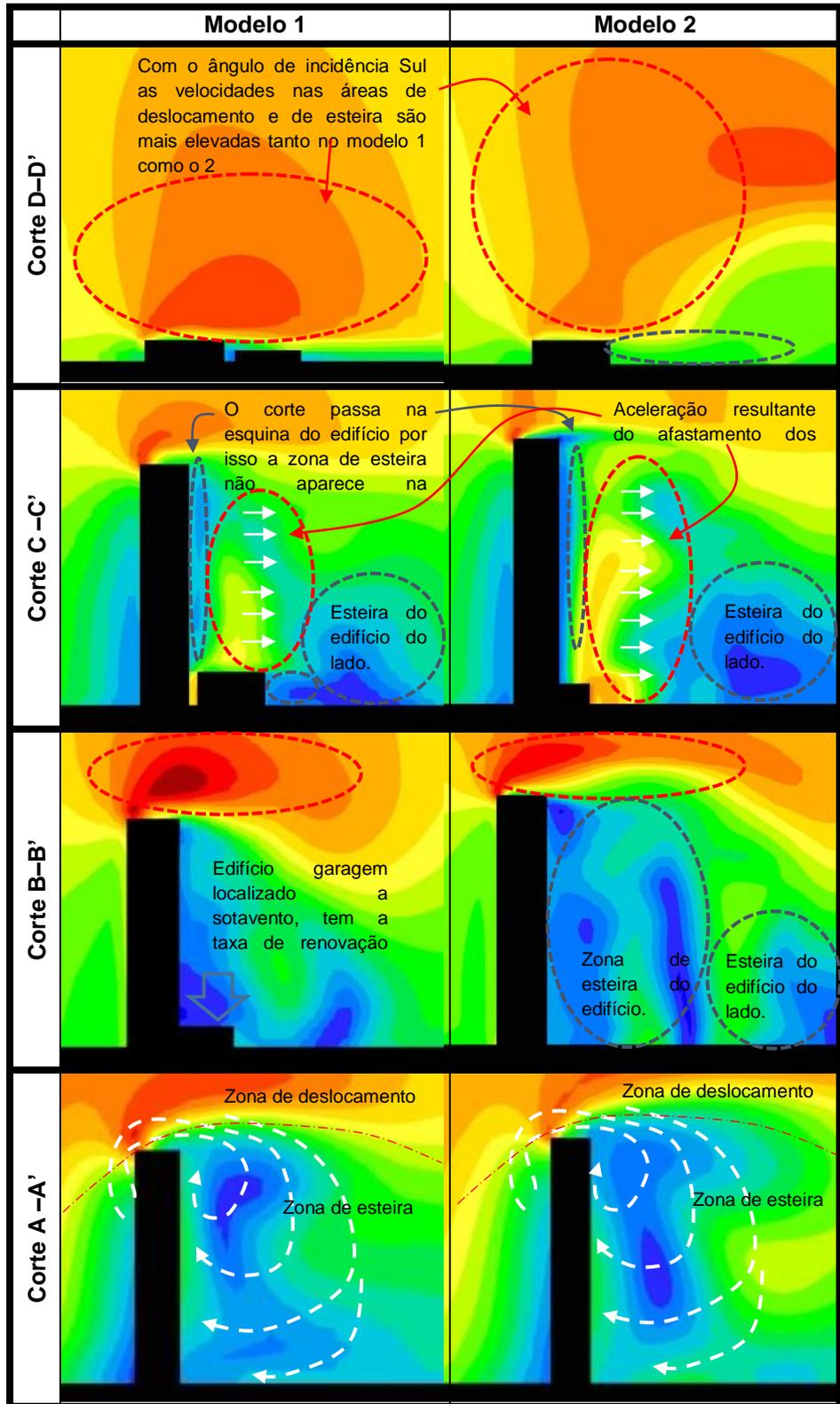
Quadro 32: Imagens dos modelos 5 e 6 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sudeste. **Fonte:** Elaboração Própria.



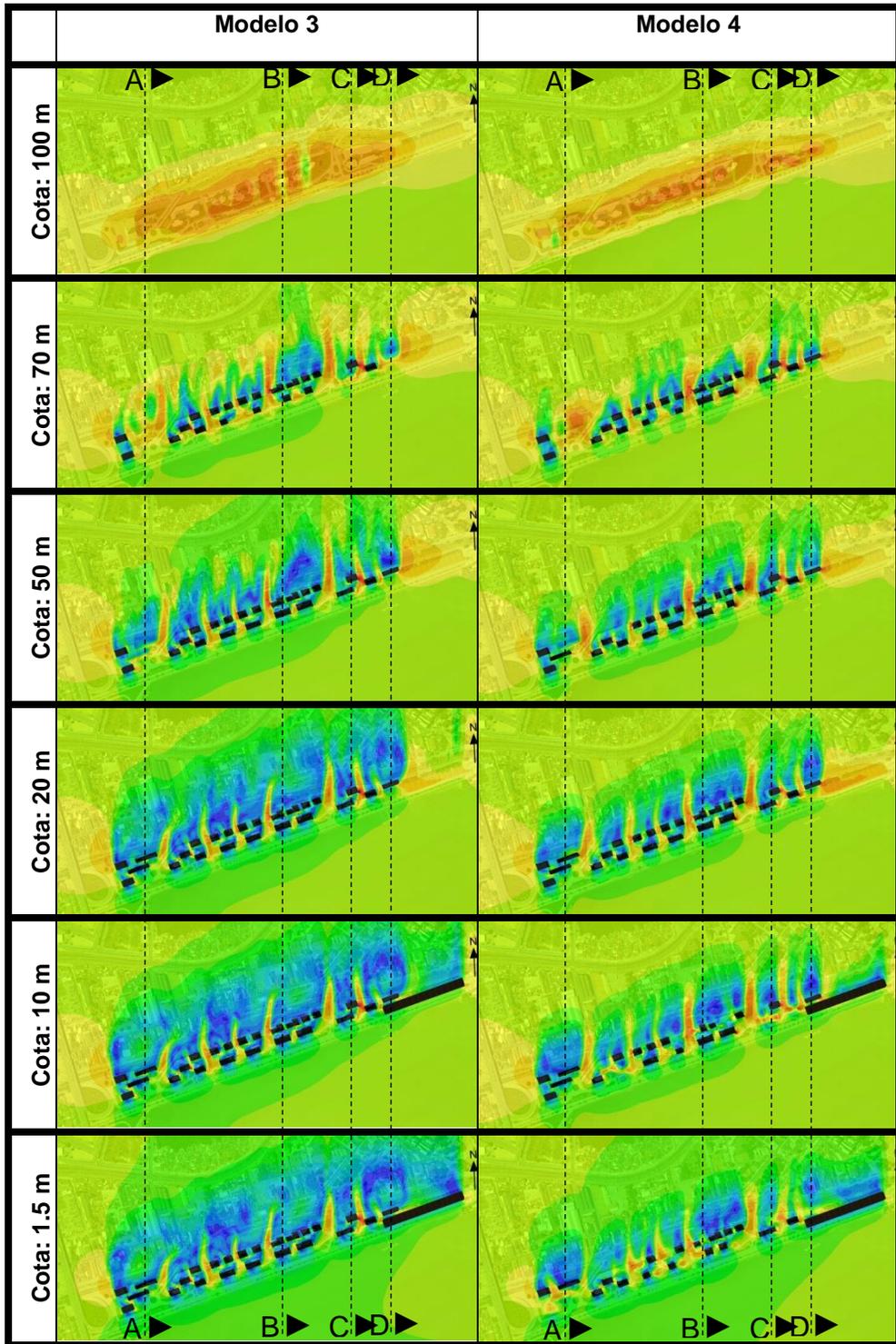
Quadro 33: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 5 e 6 vento oriundo de Sudeste. **Fonte:** Elaboração Própria.



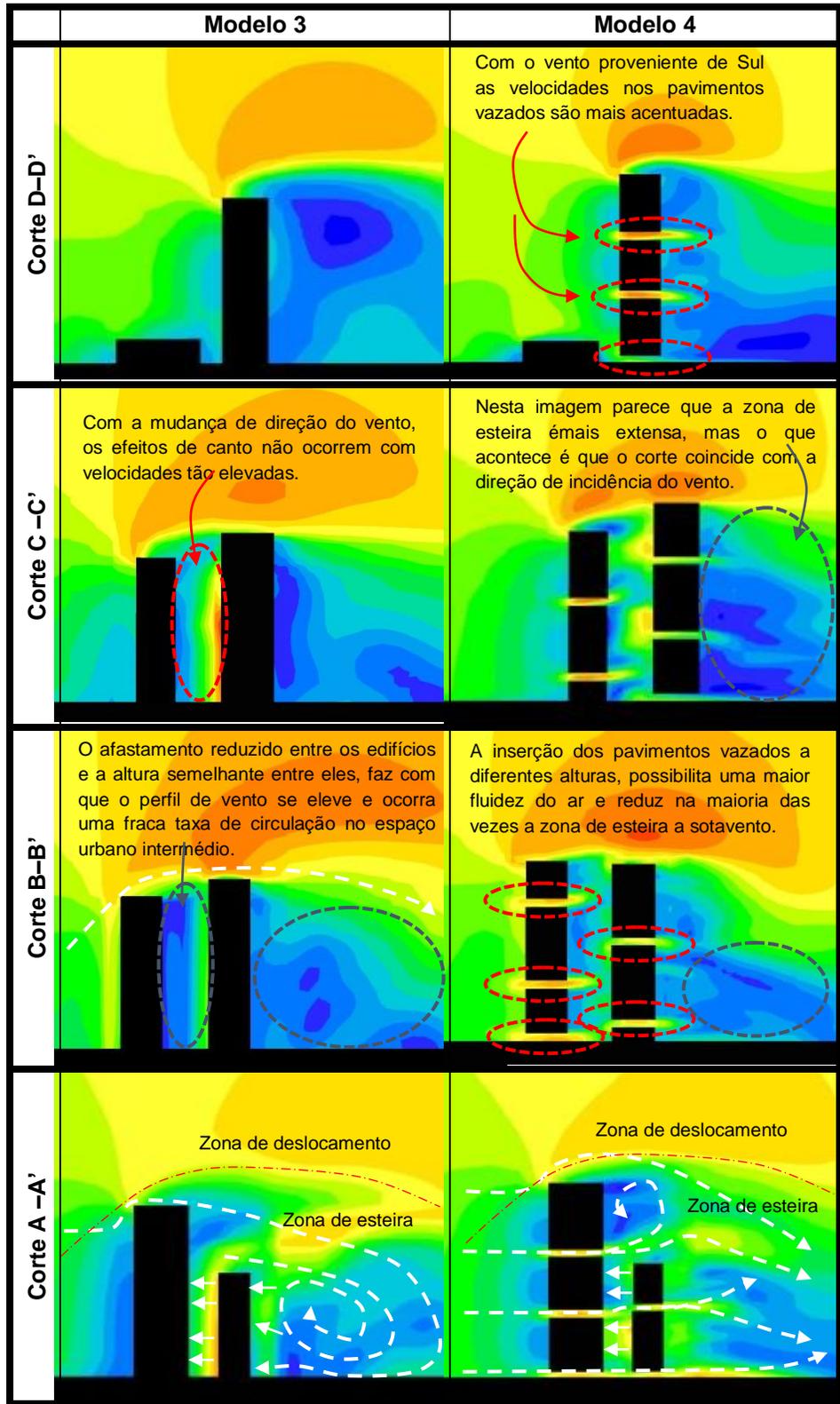
Quadro 34: Imagens dos modelos 1 e 2 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. **Fonte:** Elaboração Própria.



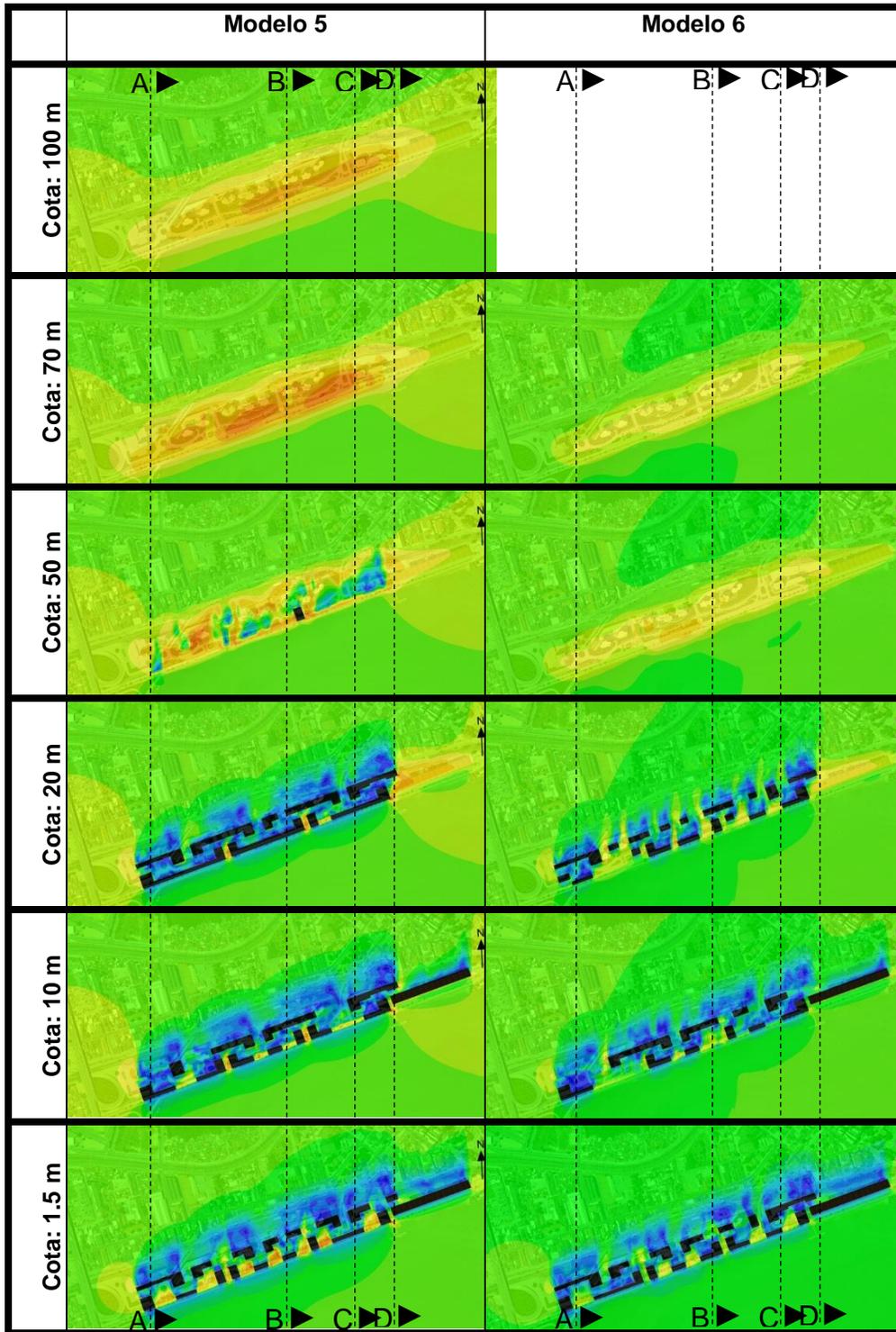
Quadro 35: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 1 e 2, vento oriundo de Sul. **Fonte:** Elaboração Própria.



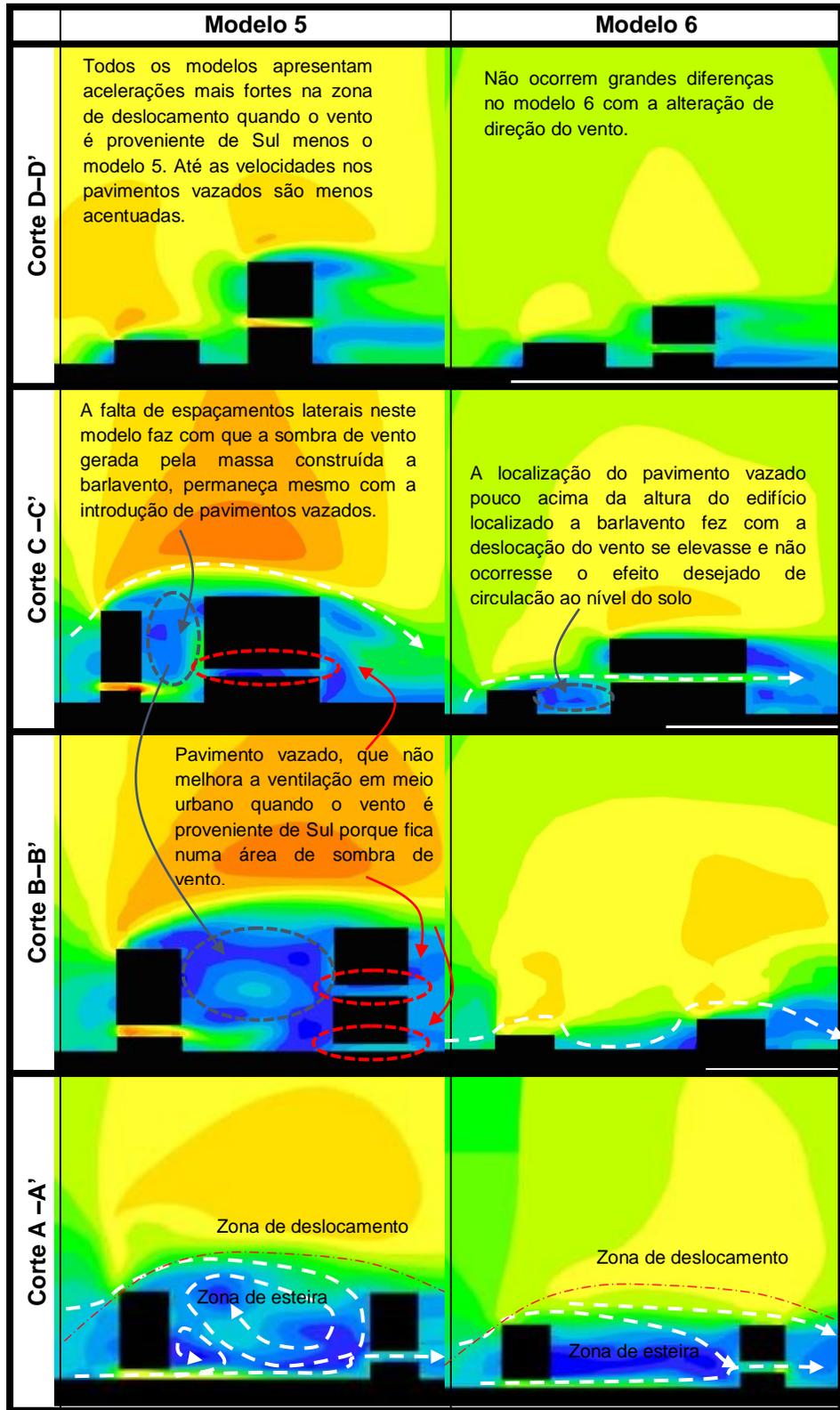
Quadro 36: Imagens dos modelos 3 e 4 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. **Fonte:** Elaboração Própria.



Quadro 37: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 3 e 4, vento oriundo de Sul. Fonte: Elaboração Própria.



Quadro 38: Imagens dos modelos 5 e 6 a 1,5; 10; 20; 50 e 100 metros de distância do solo com vento proveniente de Sul. **Fonte:** Elaboração Própria.



Quadro 39: Análise dos cortes A, B, C e D nos modelos 5 e 6, vento oriundo de Sul. **Fonte:** Elaboração própria

Ao analisar as imagens dos modelos a diferentes alturas do solo, é possível constatar que os **modelos 1, 2 e 5** são os que produzem mais momentos de aceleração acima dos 6,125m/s e, que o **modelo 3** é o que gera uma maior extensão da área de esteira. Contudo, os **modelos 5 e 6** são os que influem na formação de uma maior área de sombra de vento entre os edifícios, o que pode prejudicar a ventilação interna dos mesmos. Analisando o deslocamento do ar em diferentes alturas, como seria de esperar, os modelos com edifícios mais altos são os que mais modificam a ventilação nos níveis superiores. Sendo que o deslocamento do vento nos **modelos 1 e 2**, acima dos 50 metros, o é muito semelhante. Já do **modelo 3** para o **modelo 4**, existe pequena diminuição da área de esteira em todas as alturas, indicando que os pavimentos vazados podem contribuir para a melhoria da ventilação urbana. O **modelo 5** tem maiores áreas de esteira que o **modelo 6**, sobretudo, na cota de 20 metros, pois apresenta mais massa edificada.

Na análise dos cortes transversais, foi possível identificar que:

- A elevação da altura dos edifícios, no **modelo 2**, provocou uma aceleração mais acentuada na zona de deslocamento;
- A introdução dos pavimentos vazados, no **modelo 4**, diminui alguns efeitos de canto e de pressão identificados no **modelo 3**;
- Nem sempre os pavimentos vazados surtiram o efeito desejado, no **modelo 5**, com área de desconforto por velocidades abaixo de 2m/s e acima de 6m/s;
- A introdução de alguns pavimentos vazados, no **modelo 6**, pode ter prejudicado a circulação do vento nas camadas mais perto do solo, devido à elevação do gradiente de ventilação.

Para aprofundar o estudo, foi elaborada uma tabela que sistematiza as alterações que ocorrem no vento inicial em cada altura, através da contagem das áreas que, depois, são apresentadas em percentagens.

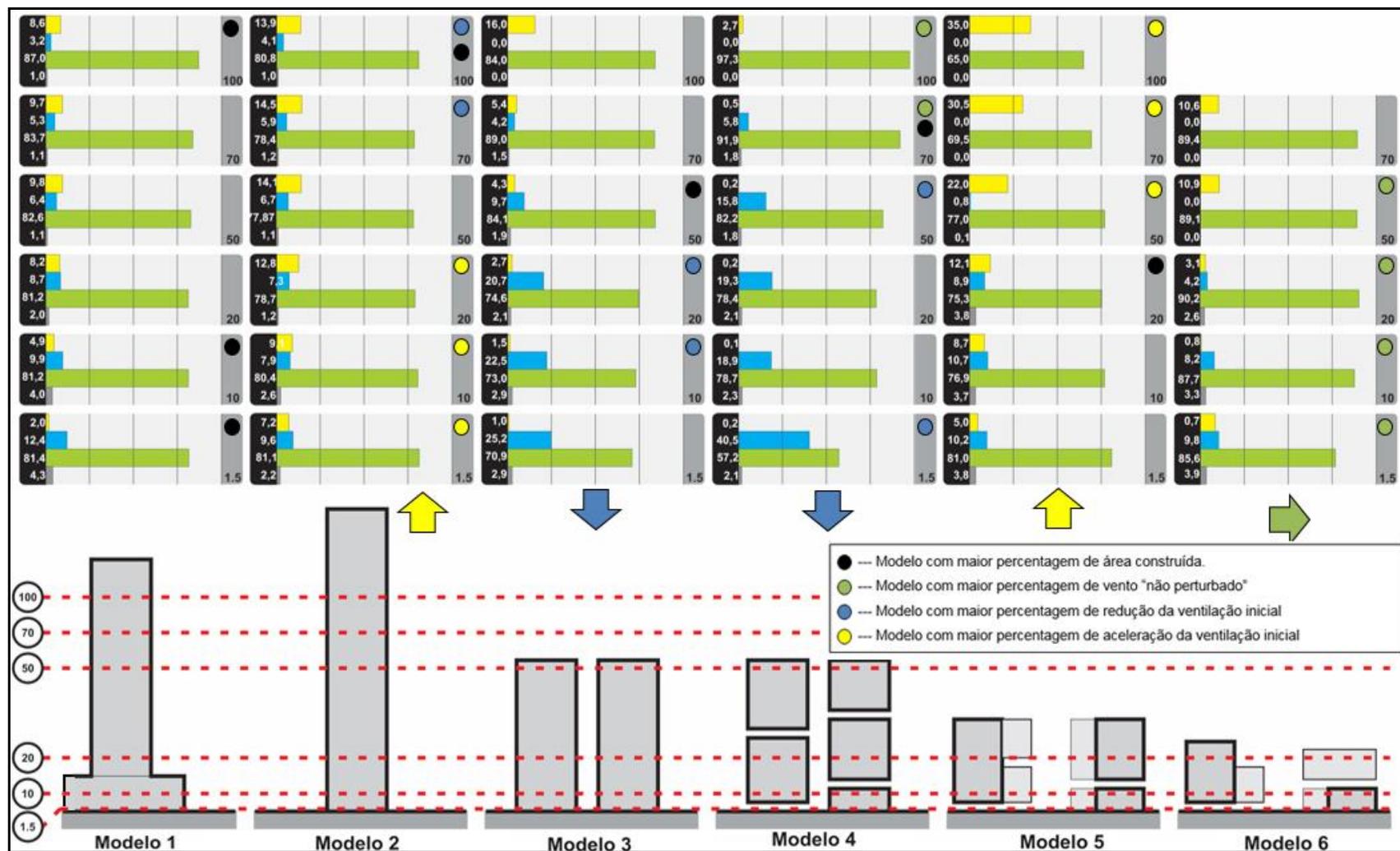


Figura 64: Síntese das alterações ocorridas na velocidade inicial do vento Sudeste nos seis modelos a diferentes distâncias do solo. □ Fonte: Elaboração Própria.

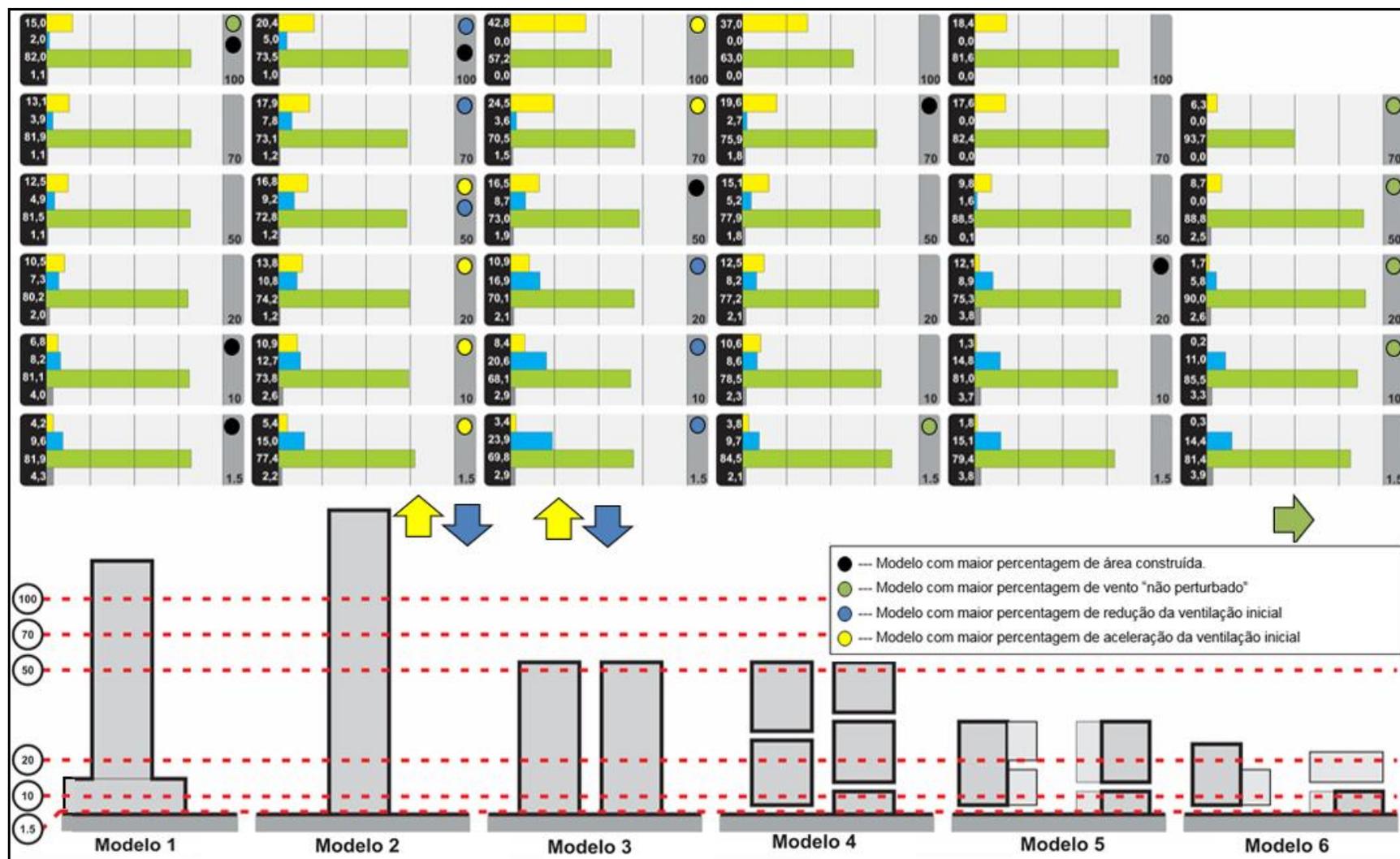


Figura 65: Síntese das alterações ocorridas na velocidade inicial do vento Sul nos seis modelos a diferentes distâncias do solo. Fonte: Elaboração Própria.

O **modelo 1** tem a maior área ocupada de solo, devido à implantação extensiva dos edifícios garagem e à existência de pilotis na base dos outros modelos, que têm elevada taxa de ocupação de solo. Apesar de ser o modelo com maior área de construção no solo, é um dos que tem menor área de formação de esteira a 1,5m do solo, quando o vento é proveniente de Sul. Quando a ventilação é predominante de sudeste, o **modelo 1** passa a ser o terceiro com maior área de esteira, ficando atrás dos **modelos 3 e 4**. Também, é possível denotar que este é um dos modelos com maiores áreas de aceleração no solo. Analisando o deslocamento do ar ao longo do gradiente vertical, o modelo vai apresentando uma redução gradativa das áreas de esteira e um leve aumento das áreas de aceleração.

O **modelo 2** tem um desempenho semelhante ao **modelo 1**, contudo, tanto as áreas de aceleração quanto as de redução são maiores. Aliás, até os 20 metros de altura, este é o cenário que apresenta maiores áreas de aceleração. Isto ocorre porque, até essa altura, é o modelo que contém menos obstáculos para a ventilação. Os afastamentos entre os edifícios, associados à elevada verticalização dos mesmos, provocam uma grande pressão a barlavento, influenciando na ocorrência de vários efeitos de cantos e com grande intensidade. Acima dos 50 metros, este é o modelo que provoca mais diminuições na velocidade inicial do ar, porque é o cenário com mais massa construída em altura e, por isso, com a zona de esteira mais prolongada na vertical.

O **modelo 3**, por sua vez, é o que apresenta maiores percentagens de redução da velocidade do vento, até os 20 metros. Isso ocorre porque os afastamentos laterais entre os edifícios não foram suficientes para dissipar a formação da zona de esteira. A grande ocupação de solo faz com que o perfil de vento se eleve e ocorra uma fraca taxa de circulação no espaço urbano intermédio, reforçando o estudo que já havia sido feito por Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) de que, para a porosidade do tecido urbano, é mais importante reduzir a taxa de ocupação do solo do que limitar a altura dos edifícios. Além disso, pode-se acrescentar que, quando a ventilação é proveniente de sudeste, ocorrem muito poucas áreas de aceleração, enquanto na ventilação Sul, o modelo

contém as maiores áreas de aceleração, sobretudo, acima dos 50 metros. Isso significa que este modelo seria mais ventilado durante os meses de inverno.

O **modelo 4** é o que apresenta maior percentagem de diminuição da velocidade inicial do ar ao nível do solo quando a ventilação é Sudeste, por outro lado, quando o vento é originário de Sul, este modelo é o que oferece menos interferências à velocidade inicial. Isto significa, que este modelo com pilotis apresenta uma maior redução da velocidade inicial ao nível do solo do que o **modelo 3** sem pilotis. No entanto, ao analisar a velocidade de deslocamento do ar nos dois modelos, constata-se que o modelo 3 tem velocidades mais reduzidas e mais prejudiciais para o conforto do pedestre. No restante do gradiente vertical o modelo 4 efetua menos interferências que o modelo 3 e também apresenta velocidades mais elevadas nos meses de Inverno.

O **modelo 5** é o que tem mais aceleração acima dos 50 metros, quando o vento é proveniente de Sudeste, porque a grande massa construída, nos níveis mais baixos, com poucos afastamentos laterais, produz um deslocamento ascendente de maior intensidade.

Por fim, o **modelo 6**, é o que provoca menos alterações na velocidade inicial do ar. A baixa densidade, aliada à variação da altura dos edifícios e à introdução de pavimentos vazados, fez com que este modelo gera-se menos modificações no deslocamento do ar. No entanto, é possível constatar que, quando o vento é proveniente de Sul o modelo origina algumas áreas de redução da velocidade inicial e quando o vento é oriundo de Sudeste denota-se mais zonas de aceleração da velocidade, sendo assim, este modelo é mais ventilado quando o vento é de Sudeste.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi explicitado, esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a influência da forma urbana no padrão de circulação do vento, a fim de compreender as implicações da urbanização no conforto dos pedestres, na salubridade dos espaços e no fluxo de ar acessível aos espaços internos de outros edifícios da malha urbana. Considera-se que esse objetivo foi alcançado, pois a partir do trabalho acredita-se que houve um avanço em relação ao conhecimento sobre os efeitos da ventilação na escala microclimática.

Através das experiências realizadas nos seis modelos concluiu-se que:

- O modelo de ocupação proposto para o projeto Novo Recife, com uma grande taxa de ocupação de solo pela implantação contínua dos edifícios garagem, gera grandes áreas de desconforto para o pedestre tanto pelas velocidades demasiado elevadas nas ruas transversais quanto pela fraca circulação do ar a sotavento dos edifícios (**modelo 1**);
- O aumento da altura dos edifícios com a fraca redução da taxa de ocupação do solo, também pode provocar efeitos indesejáveis para o pedestre com velocidades demasiado elevadas (**modelo 2**);
- A duplicação do padrão de ocupação por aumento da taxa de ocupação do solo é a pior solução para a ventilação urbana, e é esse modelo combinado com grandes plataformas de estacionamento que encontramos em algumas zonas do bairro de Boa Viagem. Dificultando assim a ventilação urbana em diversos níveis e canalizando o ar nas ruas (**modelo 3**);
- A introdução de pilotis e pavimentos vazados pode gerar vantagens para o conforto do pedestre e para a ventilação da cidade, sobretudo se combinada com afastamentos laterais (**modelo 4**);
- Os efeitos nocivos gerados pela redução dos afastamentos laterais podem ser atenuados com a variação da altura dos edifícios e com a introdução de pavimentos vazados e pilotis nos edifícios (**modelo 6**).

Dada a importância da ventilação natural para a qualidade ambiental dos espaços internos e externos, considera-se necessário **rever a lei de uso e ocupação do solo** adequando-o aos conhecimentos bioclimáticos.

- Aumentar os recuos exigidos nos pavimentos garagem, prevendo afastamentos laterais, de modo a não construir uma massa edificada continua na altura do pedestre;
- Determinar a substituição das áreas muradas por elementos construídos ou naturais vazados (grades, cobogós, cercas vivas, etc.);
- Estimular o uso de pilotis e/ou pavimentos vazados, retirando esse elemento da contabilização da densidade construtiva;
- Exigir que os projetos de grande impacto demonstrassem estudos técnicos que comprovem as modificações que iram ocorrer no entorno.

O ideal seria analisar todos os projetos dentro do contexto da cidade, visto que cada elemento novo pode alterar a qualidade do ar do entorno. Contudo, quanto mais informações se incluem na simulação, mais tempo de processamento é necessário para que o programa efetue todos os cálculos de convergência de erro. O que implica também, ter acesso a computadores com qualidade gráfica e memória RAM (Memória de acesso aleatório) acima da média. Como não foi o caso desta pesquisa, optou-se por excluir da simulação virtual a malha urbana envolvente o que permitiu compreender com mais clareza as modificações que ocorrem na circulação do ar ao encontrar os edifícios propostos em cada modelo, mas impossibilitou conhecer a influência dos edifícios do entorno na ventilação natural. Caso tivesse sido considerado o entorno, algumas das zonas de circulação do ar poderiam ser diferentes.

Além do mais, Costa (2001) refere que o **estudo em ambientes virtuais** não pode ser considerado 100% confiável. Em parte, porque o escoamento do ar envolve fenômenos complexos de turbulência que ainda não são totalmente conhecidos e documentados, em parte porque os modelos virtuais não contemplam todos os elementos encontrados no ambiente urbano como arvores, carros, atividades humanas, etc., que modificam a

ventilação ao nível do pedestre. Para além disso, é necessário que o pesquisador, tenha algum conhecimento básico de ventilação e de manuseamento da ferramenta, de modo a reconhecer os problemas de cálculo, que possam surgir durante a simulação (ver figura 66).

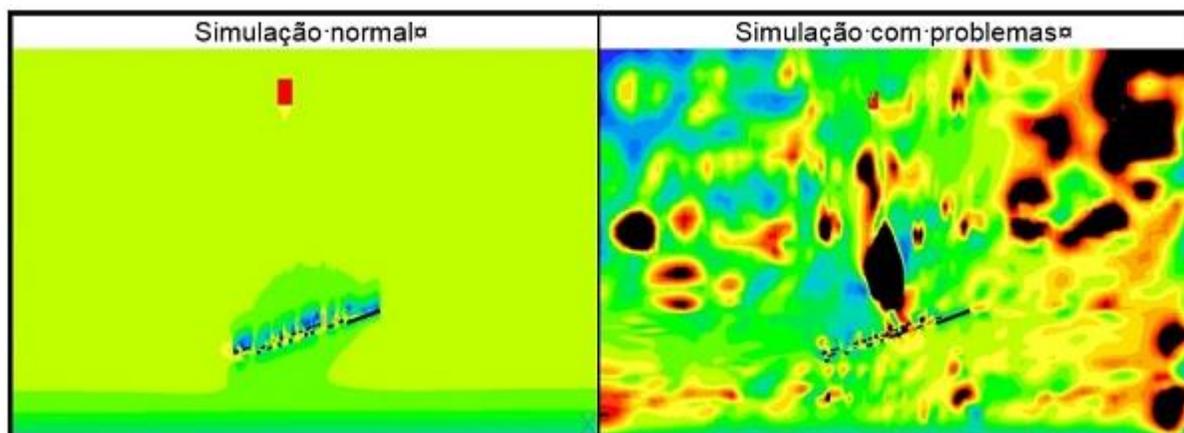


Figura 66: Problemas durante a simulação. **Fonte:** Elaboração própria

As restrições deste estudo, ocasionam a **formulação de pesquisas futuras** que:

- Englobem os parâmetros de geometria e orientação do edifício que foram excluídos desta investigação;
- Aprofundem o conhecimento sobre o benefício da variação de alturas;
- Incluam as análises de ventilação interna;
- Estendam a pesquisa para outras variáveis climáticas.

Posto isto, seria importante que a universidade Federal de Pernambuco investisse, em equipamentos, e *softwares* que possibilitassem mais investigações no microclima urbano de Recife, levando a contribuição do conhecimento acadêmico para as discussões da sociedade e dos órgãos da prefeitura. Este ferramental também poderia ser disponibilizado aos alunos de graduação facilitando que estes compreendam as formas urbanas e arquitetónicas que melhor se adequam ao clima da cidade, incentivando que as futuras gerações de profissionais tenham mais responsabilidade ao proporem novas soluções de projeto, respeitando as necessidades de conforto dos usuários.

Como ficou claro no capítulo 3 a sociedade civil vem reivindicando mais responsabilidade por parte dos profissionais da área para apresentarem propostas mais adequadas as variáveis ambientais e sociais. O grupo de direitos urbanos que se posicionou contra o projeto Novo Recife demonstra uma clara preocupação com o modelo de desenvolvimento da cidade, aspirando que arquitetos, urbanistas, gestores e empresários desenvolvam um modelo mais sustentável e que os estudos de impacto ambiental e social sejam apresentados e discutidos com a população de modo a promover uma discussão democrática da cidade para atingir a melhoria da qualidade de vida de todos os cidadãos. Estes movimentos sociais são de extrema relevância pois efetuam pressão sobre o poder público para que a cidade seja planejada conforme as premissas traçadas pela agenda 21 e os conhecimentos adquiridos ao longo das últimas décadas sobre urbanismo sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMO, Pedro. A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de estudos urbanos e regionais**, v. 9, n. 2, pg. 25-54, Novembro de 2007.

ACIOLY, Cláudio; DAVIDSON, Forbes. **Densidade Urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana**. 2 ed. Rio de Janeiro: MAUAD editora, 2011.

ACSELRAD, Henri. Desregulamentação, contradições espaciais e sustentabilidade urbana. **Revista paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, IPARDES, n.107, p.25-38, jul./dez. 2004.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO CONDEPE/FIDEM. **Pernambuco em Mapas**. Recife, 2011.

ALCÂNTARA, Edinêa. Empatando tua vista: Humor e irreverência para criticar a verticalização excessiva nas cidades. **Direitos urbanos Recife**. Disponível em: <<http://direitosurbanos.wordpress.com/2014/02/27/empatando-tua-vista-humor-e-irreverencia-para-criticar-a-verticalizacao-excessiva-nas-cidades/>> Acesso em: Fevereiro de 2014.

ALLARD, Francis. **Natural Ventilation in Buildings: a Design Handbook**. London: Ed. James e James, 1998.

ALVES, Lucas. Não há vida no "Novo Recife". **Caderno Recifense**. Março, 2013. Disponível em: <<http://cadnorecifense.blogspot.com.au/2013/03/nao-ha-vida-no-novo-recife.html>> Acesso em: Novembro de 2013

ALVES, Henrique; ANDRADE, Lívia; SILVA, Natália; SILVA, Raquel; CALDERARI, Elaine. **Complexo turístico cultural Recife-Olinda: Ideologia do planejamento**. In UFU – 30 anos. 4ª semana do servidor, 5º semana acadêmica. Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

ANDRADE, Carlos. Jardim América: a arquitetura do primeiro bairro-jardim de São Paulo. **Revista Vitruvius**. Resenhas online. Junho, 2002. Disponível em:

<<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/01.006/3240>> Acesso em: Abril de 2013

ASCE. American Society of Civil Engineers. **Urban Aerodynamics: Wind Engineering for Urban Planners and Designers**. Task Committee on urban aerodynamics. Virginia: ASCE, 2011.

ASSIS, Eleonora; FERREIRA, Daniele. A relação entre ocupação urbana e a circulação dos ventos: Uma contribuição para o planejamento. **Forum Patrimônio**. Disponível em: < http://www.forumpatrimonio.com.br/view_full.php?articleID=134&modo=1 > Acesso em: Outubro de 2013.

ASSIS, Eleonora. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v.7, n.1 2006.

AYOADE, Johnson. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1998.

BALTAR, Antônio. **Diretrizes de um plano Regional para o Recife**. 2 ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2000.

BARBIRATO, Gianna; SOUZA, Lea; TORRES, Simone. **Clima e Cidade - a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007.

BARBIRATO, Gianna; MELO, Juliana. Informações para o planejamento a partir da caracterização climática urbana: estudo em Maceió - AL. **IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Ouro Preto, Anais, 2007.

BARROS, Hugo; LOMBARDO, Magda. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **Revista GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, nº33, pág. 187-197, 2013.

BERNARDES, Denis; NASCIMENTO, Ângela. As pessoas fazem política cultural? O caso do Cais José Estelita. **III Seminário Internacional de Políticas Culturais**, Rio de Janeiro, Anais, 2012.

BITOUN, Jan; MIRANDA, Livia; SOUZA, Maria; LYRA, Maria. Região Metropolitana do Recife no Contexto de Pernambuco no Censo 2010. **Observatório das Metrôpoles**. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/Texto_BOLETIM_RECIFE_FINAL.pdf> Acesso em: Janeiro de 2013

BITTENCOURT, Leonardo; *Ventilation as a cooling resource for warm humid climates: An investigation on performed block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings*. Tese (Doutorado em Environment and Energy Studies), Architectural Association Graduate School, Londres, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo; LÔBO, Denise; CRUZ, Jorge. A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. **IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Salvador, Anais, 1997

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA., 2010.

BOGO, Almilcar; PIETROBON, Cláudio; BARBOSA, Miriam; GOULART, Solange; PITTA, Telma; LAMBERTS, Roberto. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Núcleo de pesquisa em construção. Departamento de engenharia civil, UFSC. Relatório Interno, Fevereiro de 1994. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf> Acesso em Janeiro/Dezembro de 2013.

BRANDÃO, Rafael. **As interações Espaciais Urbanas e o Clima**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BUILDING RESERCH ESTABLISHMENT. *Principles of Natural Ventilation*, Garson: BRE, BRE Digest nº210, 1978.

CÂNDIDO, Cristina. **Ventilação natural e código de obras: uma análise de tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CASAGRANDE, Alessandro; SILVA-JUNIOR, Pedro; MENDONÇA, Francisco. Mudanças climáticas e aquecimento global: Controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.8, pg. 30-44, Janeiro/Junho de 2011

CHAKRABARTII, *Vishaan*. *Building Hyperdensity and Civic Delight*. **Design Observer**. Junho, 2013. Disponível em: <<http://places.designobserver.com/feature/a-country-of-cities-building-hyperdensity/37899/>> Acesso em: Janeiro de 2014.

CHAM. **PHOENICS-VR Reference Guide**, 2010. Disponível em: <<http://www.cham.co.uk/documentation/tr326.pdf>> Acesso em: Agosto de 2013.

CONSORCIO NOVO RECIFE. **Relatório de empreendimento de impacto: Memorial justificativo do empreendimento Novo Recife**. Recife, Setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1575846>> Acesso em: Março de 2013

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1991.

COMPAS, Rose. **Empreendedorismo urbano: Entre o discurso e a prática**. 1 ed., São Paulo: Editora UNESP, 2005.

CORREIA, Belize. Esclarecimentos sobre o projeto Novo Recife por Belize Câmara **Direitos urbanos Recife**. Cris Gouveia, Dezembro de 2012. Disponível em: <<http://direitosurbanos.wordpress.com/2012/12/29/esclarecimentos-sobre-o-projeto-novo-recife-por-belize-camara/>>. Acesso em: Maio de 2013

COSTA, Fernando. **Ventilação e prescrições urbanísticas: Uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/ RN**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Recife vai ficar ainda mais quente**. Seção Vida Urbana, Recife, 27 de Fevereiro, 2013.

FERREIRA, Daniele. **Uso do solo e os padrões de vento: O caso da cidade de Belo Horizonte, MG**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FILHO, Ivan. A serviço do progresso: semióforo, ideologia e sobre como o Jornal do Commercio tornou-se porta-voz do Consórcio Novo Recife. **Direitos Urbanos Recife**. Leonardo Cisneiros, 7 de Outubro de 2013. Disponível em: <<http://direitosurbanos.wordpress.com/2013/10/07/a-servico-do-progresso-semioforo-ideologia-e-sobre-como-o-jornal-do-commercio-tornou-se-porta-voz-do-consorcio-novo-recife/>>. Acesso em: Dezembro de 2013

FLORIDA, Richard. *The Paradox of Diverse Communities. The Atlantic Cities*, Novembro, 2013. Disponível em: <<http://www.theatlanticcities.com/neighborhoods/2013/11/paradox-diverse-communities/7614/>>. Acesso em: Janeiro de 2014.

FREITAS, Ruskin. **Entre mitos e limites - as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no meio urbano**. Recife: EDUFPE, 2008.

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Nobel, 2001.

GANDEMER, J. *Discomfort due to wind near buildings aerodynamic concepts*. Washington: U.S. Govt. Print. Of, 1978.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2010.

GEHL, Jan. **Cidade para as pessoas**^{1ª}ed, São Paulo: Ed. Perspetiva, 2013.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in building and urban design**. Canada: Copyright by John Wiley & Sons, 1998.

GLASER, Edward. How Skyscrapers Can Save the City. **The Atlantic**. Fevereiro, 2011. Disponível em: <<http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2011/03/how-skyscrapers-can-save-the-city/308387/>>. Acesso em: Janeiro de 2014.

GOUVÊA, Cris. Parecer Jurídico sobre as irregularidades do processo sobre o Novo Recife na Prefeitura. **Direitos urbanos Recife**. Janeiro de 2013. Disponível em: <<http://direitosurbanos.wordpress.com/2013/01/28/parecer-juridico-sobre-a-irregularidade-do-novo-recif/>> Acesso em: Março de 2013.

GRUPO DIREITOS URBANOS RECIFE. Carta Aberta do #OcupeEstelita para a Reunião Preparatória da Rio/Clima (Rio+20). **Direitos Urbanos Recife**. Leonardo Cisneiros, 13 de Abril de 2012. Disponível em: <<http://direitosurbanos.wordpress.com/2012/04/13/carta-aberta-do-ocupeestelita-para-a-reuniao-preparatoria-da-rio20/>>. Acesso em: Julho de 2012

HADESTY, Lary. Why innovation thrives in cities. **Massachusetts Institute of Technology News**. Massachusetts, Junho 2013. Disponível em: <<http://newsoffice.mit.edu/2013/why-innovation-thrives-in-cities-0604>>. Acesso em: Janeiro de 2014.

HALL, Peter. **Cidade do amanhã**. 1ª ed. 2ª reimpressão, São Paulo: Editora Prespectiva. 2005.

HERZOG, Cecilia P. **Cidade Para Todos: (Re) aprendendo a conviver com a Natureza**. 1ªed. Rio de Janeiro: MAUAD editora, 2013.

HIGUERAS, Ester. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2006.

HOWARD, Ebenezer; OTTI, Dacio. **Cidades-jardins de amanhã**. São Paulo: HUCITEC, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo de 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: Abril de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acesso em: Janeiro de 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>> Acesso em: Janeiro de 2013.

JACOBS, Jane. **Morte e a vida de grandes cidades**. 1ª ed. 2ª tiragem, São Paulo: Martins Fontes, 2001.

KOENIGSBERGER, O; INGERSOLL, T; MAYHEW, A; SZOKOLAY, S. **Manual of tropical housing and building. Part I: Climatic design.** Londres: Longman, 1977.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Desempenho térmico de edificações. **Apostila ECV 5161**, UFSC, Florianópolis, Maio de 2011 Disponível em:
<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Apostila-v2011_1.pdf>. Acesso em: Março de 2013.

LACERDA, Norma. Intervenções no bairro do Recife e no seu entorno: indagações sobre a sua legitimidade. **Revista Sociedade e Estado**, Brasília, v.22, nº3, pág. 621-646, Setembro/Dezembro, 2007.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª ed. São Paulo: Prolivros, 2004.

LAMBERTS, Roberto. Desempenho térmico de edificações. **Aula 2: Conforto Térmico** UFSC,, Florianópolis
<<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%200-%20Conforto%20termico.pdf>> Acesso em: Março 2013

LANDSBERG, Helmut. **The urban climate.** New York: International Geophysics Series, 1981.

LAPA, Tomás. **Grandes cidades constroem-se com edifícios grandes?** Recife: Editora universitária UFPE, 2011.

LEITE, Renan. **Fortaleza Terra do vento: A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MADUREIRA, Helena. Paisagem urbana e desenvolvimento sustentável. Apontamentos sobre uma estreita relação entre geografia, desenvolvimento sustentável e forma urbana. **X Colóquio Ibérico de Geografia**, Évora: Anais, 2005.

MARQUES, Ricardo. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a orla da praia do meio em Natal/RN.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MARUYAMA, Shigenori. **Aquecimento global?** São Paulo: Oficina de textos, 1ª edição, São Paulo, 2009.

MASCARÓ, Lúcia. **Energia na edificação: Estratégias para minimizar seu consumo.** 2ª ed. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda., 1991.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). **Density Atlas** Disponível em: <<http://densityatlas.org/measuring/index.shtml>>. Acesso em: Janeiro de 2014.

MCMAHON, Edward. Character Is Key to an Economically Vibrant City. **The Atlantic Cities.** New Jersey, Abril, 2012. Disponível em: <<http://www.theatlanticcities.com/jobs-and-economy/2012/04/why-character-key-economically-vibrant-city/1729/>>. Acesso em: Janeiro 2014.

MEDINA, Luciano. **A legislação de uso e ocupação do solo do Recife como instrumento de desenho urbano.** Dissertação (Mestrado em desenvolvimento urbano), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** 1ª ed. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2007.

MENDONÇA, Francisco. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia.** ISSSN: 1980-055X, vol. 2, pág. 71-86, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da agenda 21 brasileira.** Brasília, 2000.

MOLION, Luíz. Desmistificando o Aquecimento Global. **Revista Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2007.

MOREIRA, Raphaela. A questão do gabarito na orla marítima de João Pessoa (bairros de Manaíra, Tambaú e Cabo Branco). **Vitruvius arquitextos**, Janeiro de 2007.

NOBREGA, Maria; CÂMARA, Clarissa; CÂMARA, Andréa; SILVA, Paula; ROLIM, Ana. **Por um espaço público cidadão: o encontro do edifício com a rua**. Recife: Publicações SENGE, 2014.

NÚCLEO DE GESTÃO DO PORTO DIGITAL. **Projeto Recife – Olinda. Relatório de atividades**. Disponível em: <http://www2.portodigital.org/portodigital/ARQUIVOS_ANEXO/recife%20olinda;1007;20070228.pdf> Acesso em: Novembro de 2013.

NUNES, Aliomar. **O impacto da “Lei dos doze bairros” sobre a construção civil na cidade do Recife**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de engenharia civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA E CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA (EASEP – FGV). **Diretrizes para a formulação de políticas públicas em mudanças climáticas no Brasil**. Brasília, 2010.

OBSERVATÓRIO DO RECIFE. Audiência Pública: Projeto Novo Recife. **Observatório do Recife**. 13 de Abril de 2012. Disponível em: <<http://www.observatoriodorecife.org.br/audiencia-publica-projeto-novo-recife/>>. Acesso em: Setembro de 2012.

OCUPE ESTELITA. Linha do tempo. **#OcupeEstelita**. Disponível em: <<http://www.ocupeestelita.com.br/linha-do-tempo/>>. Acesso em: Setembro de 2013

OKE, Tim. **Boundary Layer climates**. 2ª ed. Londres: Routledge, 1987.

_____ Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization, Instruments and observing Methods**, Canadá, report nº81, WMO/TD-Nº1250, 2006.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima: Manual de diseño para arquitectos y urbanistas**. 2ª ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.

OLIVEIRA, Paulo. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1988.

PARQUE EXPO. **Projetos Internacionais. Brasil, Recife-Olinda.** Disponível em: <http://www.parqueexpo.pt/conteudo.aspx?caso=projeto&lang=pt&id_object=621&name=BRASIL,-Recife-Olinda> Acesso em: Setembro de 2013.

PEREGRINO, Paulo. **Inter-relações existentes entre os escoamentos de ventos e os padrões de ocupação do solo nos bairros do Cabo Branco e Tambaú/ João Pessoa – PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PONTUAL, Virginia; PREIRA, Juliana. As práticas do urbanismo e da conservação urbana na cidade do Recife: Dilemas, confrontos e o plano de gabaritos de 1965. **Oculum ensaios:** Tema: Conservação Urbana na cidade do Recife. Campinas: n.13, p.98-111, Janeiro/Junho de 2011.

PRATA, Alessandra. **Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano.** Tese (Doutoramento em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PREFEITURA DO RECIFE. **Aspectos Gerais.** Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/aspectos-gerais/>> Acesso em: Janeiro de 2013a.

_____. **Perfil dos Bairros.** Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/perfil-dos-bairros/>>. Acesso em: Abril de 2013b.

_____. **História de uma Cidade.** Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/seccultura/fccr/historia/>> Acesso em: Maio de 2013c.

_____. **Lei de Uso e ocupação do solo. Lei nº 7.427/1961.** Disponível em: <<http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/07427/?keyword=lei%20n%C2%BA%207.427>> Acesso em: Janeiro de 2013.

_____. **Lei de Uso e ocupação do solo. Lei nº 16.176/1996.** Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/leis/luos/>> e em <<https://www.leismunicipais.com.br/a/pe/r/recife/lei-ordinaria/1996/1617/16176/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-recife.html>> Acesso em: Janeiro de 2013.

_____. **Museu da cidade do Recife.** Acesso em: Setembro de 2013c.

_____. **Empreendimentos de Impacto**. Ações Mitigadoras do Projeto Novo Recife – Cais José Estelita. Recife, Dezembro de 2012. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/downloads/projetos-impacto/Projeto_Novo_Recife_0732987308.pdf> Acesso em: Janeiro de 2013.

RAMIRES, Júlio. O processo de verticalização das cidades Brasileiras. **Boletim de Geografia**, Maringá: UEM-PGE. V.16, nº1, p.97-105, 1998.

REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES (RUROS), **Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach**. Disponível em: <http://alpha.cres.gr/ruros/dg_en.pdf> Acesso em: Junho de 2013.

ROGERS, Richard. **Cidades para um pequeno planeta**. 1 ed. 5 impressão, Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

ROMERO, Marta. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

SABOYA, Renato. Zoneamento e planos diretores. **Urbanidades**. Urbanismo, Planejamento Urbano e Planos Diretores: Novembro, 2007. Disponível em: <urbanidades.arq.br/2007/11/zoneamento-e-planos-diretores/>. Acesso em: Janeiro de 2013.

SACHS, Ignacy. **Ecodesenvolvimento crescer sem destruir**. Terra dos Homens. 1ª ed. São Paulo: Editora Vértice, 1986

SACRAMENTO, Alexandre. **A influência da dimensão da abertura de saída da cozinha/serviço no potencial de ventilação dos ambientes de edificações multifamiliares em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SALIM, Flora; MOYA Rafael. Parallel Analysis of Urban Aerodynamic Phenomena Using High and Low-Tech Tools. **Conference of Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe**, Topic: Simulation, Prediction, and Evaluation, Prague: v.1, n.30, p.621- 630, 2012.

SANTA FÉ INSTITUTE. Why New York city is about average. **Santa Fé Institute news**. New Mexico, Novembro, 2010. Disponível em: <<http://www.santafe.edu/news/item/city-ranking-bettencourt/>>. Acesso em: Janeiro de 2014.

SANTOS, Ana. Renovação urbana ou restauro urbano? O Pátio ferroviário das cinco pontas em Recife. **VI Colóquio Latinoamericano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio industrial. IV Encontro Internacional sobre Patrimônio Ferroviário, Anais**, São Paulo, 2012.

SILVA, Francisco. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído uma aplicação ao nordeste do Brasil**. Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA, Geovany; ROMERO, Marta. O urbanismo sustentável no Brasil a revisão de conceitos urbanos para o século XXI. **Revista Vitruvius architextos**, Fevereiro, 2011.

SOUTO, Igor. Projeto Novo Recife é aprovado. Jornal do Commercio. **JC online**. Cidades, 28 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2012/12/28/projeto-novo-recife-e-aprovado-68250.php>> Acesso em: Março de 2013

SOUZA, Werônica; AZEVEDO, Pedro. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: Mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal: v. 6, n. 3, p. 462-472, Setembro/Dezembro de 2009.

STEINKE, Ercília. **Climatologia fácil**. São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2012.

TOWS, Ricardo. **O processo de verticalização de Londrina e de Maringá (PR) Brasil: o Estado e o capital imobiliário na produção do espaço**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

VASCONCELLOS, Maria. E. **Pensamento Sistêmico: O Novo Paradigma da Ciência**. Campinas: Editora: Papyrus, 2003.