



## Ventilação natural e Códigos de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/AL

Mestranda: Christina Maria Cândido  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Bittencourt

Maceió, Fevereiro de  
2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**VENTILAÇÃO NATURAL E CÓDIGOS DE  
OBRAS: UMA ANÁLISE DAS TIPOLOGIAS DE  
ABERTURAS NOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO  
EM MACEIÓ/AL**

**Christhina Maria Cândido**

**MACEIÓ  
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO**

**DISSERTAÇÃO**

**VENTILAÇÃO NATURAL E CÓDIGOS DE  
OBRAS: UMA ANÁLISE DAS TIPOLOGIAS DE  
ABERTURAS NOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO  
EM MACEIÓ/AL**

APRESENTADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO

**Christhina Maria Cândido**

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

Examinadores: Prof. Dr. Roberto Lamberts

Prof. Dr. Flávio Miranda de Souza

Profa. Dra. Gianna Melo Barbirato

**MACEIÓ  
2006**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

C217v Cândia, Christhina Maria.  
Ventilação natural e códigos de obras : uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió-AL / Christhina Maria Cândia. – Maceió, 2006.  
193f. : il.

Orientador: Leonardo Bittencourt.  
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2006.

Bibliografia: f. 175-178.  
Apêndice: f. 183-193.

1. Arquitetura e clima. 2. Conforto térmico. 3. Ventilação natural. 4. Construção civil – Maceió (AL) – Código de obras. I. Título.

CDU: 72:697(813.5)

Para Tônho e Nêga, meus amores, amigos,  
companheiros, cúmplices e irmãos de todas as  
horas.

## **AGRADECIMENTOS**

---

À minha família querida pelo apoio, paciência e carinho em compreender uma mestranda estressada.

Ao meu querido orientador Léo Bittencourt pela amizade e generosidade em dividir o conhecimento.

Aos meus amigos e amigas do GECA pela amizade e incentivo em todos os dias de trabalho.

A todos os professores que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento deste trabalho.

A amiga Simone, Juliana Loureiro e Lucycleide pelos papos e cafezinhos animados no Geca e Aldeha.

A minha amiga Juliana Oliveira que, mesmo distante, esteve presente em todos os momentos deste trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa, indispensável para a realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

---

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
RESUMO .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
1. INTRODUÇÃO .....	20
1.1. Objetivos .....	22
1.1.1. Objetivo geral .....	22
1.1.2. Objetivos específicos .....	22
1.2. Estrutura da dissertação .....	22
2. REVISÃO DOCUMENTAL .....	24
2.1. Consumo de energia no Brasil .....	24
2.1.1. Consumo de energia e arquitetura .....	25
2.1.2. Consumo de energia em edificações de escritórios .....	26
2.2. A influência da normalização no consumo de energia das edificações .....	28
2.2.1. Normalização das edificações de escritório em Maceió/AL: o Código de Obras .....	29
2.3. O contexto de Maceió/AL .....	32
2.3.1. Características climáticas de Maceió/AL .....	32
2.3.2. Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações em Maceió/AL .....	35
2.3.3. A importância da ventilação natural para o conforto térmico das edificações no clima quente e úmido .....	38
2.3.3.1. A importância das aberturas no conforto ambiental dos usuários e a relação com o Código de Obras .....	40
2.3.3.2. O tamanho e a localização das aberturas .....	40
2.3.3.3. O tipo e a configuração da abertura utilizada .....	42
2.3.3.4. A presença de componentes arquitetônicos na proximidade das aberturas .....	42
2.4. Edificações de escritório em Maceió/AL .....	43
2.4.1. Tipologias de esquadrias adotadas .....	46
2.4.2. Sistemas de iluminação e resfriamento adotados .....	47
3. METODOLOGIA .....	50
3.1. Metodologia e tipologias de edificações de escritório analisadas .....	50
3.1.1. Tipologias arquitetônicas investigadas .....	50
3.1.2. Áreas e tipologias das aberturas investigadas .....	54
3.2. A ferramenta de investigação .....	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
4.1. Tipo 1 – Edificações de escritório com corredor lateral .....	62
4.1.1. Área de abertura de 1/12 da área do piso – incidência do vento: 45° .....	62
4.1.1.1. Esquadria de correr .....	62
4.1.1.2. Esquadria maxim-ar .....	66
4.1.1.3. Esquadria de pivô vertical .....	70
4.1.2. Área de abertura de 1/12 da área do piso – incidência do vento: 90° .....	74
4.1.2.1. Esquadria de correr .....	74
4.1.2.2. Esquadria maxim-ar .....	78
4.1.2.3. Esquadria de pivô vertical .....	82
4.1.3. Área de abertura de 1/6 da área do piso – incidência do vento: 45° .....	86
4.1.3.1. Esquadria de correr .....	86

4.1.3.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	89
4.1.3.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	93
4.1.4.	Área de abertura de 1/6 da área do piso – <i>incidência do vento: 90°</i> .....	97
4.1.4.1.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	97
4.1.4.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	100
4.1.4.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	104
4.2.	Tipo 2 – Edificações de escritório com corredor central .....	108
4.2.1.	Área de abertura de 1/12 da área do piso – <i>incidência do vento: 45°</i> .....	108
4.2.1.1.	<i>Esquadria de correr</i> .....	108
4.2.1.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	113
4.2.1.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	118
4.2.2.	Área de abertura de 1/12 da área do piso – <i>incidência do vento de 90°</i> .....	124
4.2.2.1.	<i>Esquadria de correr</i> .....	124
4.2.2.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	129
4.2.2.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	134
4.2.3.	Área de abertura de 1/6 da área do piso – <i>incidência do vento: 45°</i> .....	139
4.2.3.1.	<i>Esquadria de correr</i> .....	139
4.2.3.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	144
4.2.3.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	149
4.2.4.	Área de abertura de 1/6 da área do piso – <i>incidência do vento: 90°</i> .....	154
4.2.4.1.	<i>Esquadria de correr</i> .....	154
4.2.4.2.	<i>Esquadria maxim-ar</i> .....	160
4.2.4.3.	<i>Esquadria de pivô vertical</i> .....	165
4.2.5.	Síntese dos resultados .....	170
4.2.5.1.	Tipologia de esquadria .....	170
4.2.5.2.	Área de abertura .....	172
4.2.5.3.	Tipologia de planta .....	174
5.	CONCLUSÕES .....	175
	REFERENCIAL DOCUMENTAL .....	178
	APÊNDICE A .....	183

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

Foto 1 - A uniformização da linguagem arquitetônica afasta a incorporação das características climáticas e culturais do lugar onde estão inseridos: (a) edifício de escritórios no Rio de Janeiro/RJ (a), Maceió/AL (b) e São Paulo/SP (c). ....	20
Gráfico 1 - Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil em 2003 (a) e no Mundo em 2001 (b). ....	25
Gráfico 2 - Consumo de energia ao longo da vida útil de edifícios de escritórios. ...	27
Mapa 1 - Zoneamento Climático Brasileiro. ....	32
Gráfico 3 – Temperatura média, máxima e mínima e temperatura neutra para Maceió/AL. ....	33
Gráfico 4 – Distribuição da precipitação média em Maceió/AL. ....	34
Gráfico 5 – Umidade relativa média mensal para a cidade de Maceió/AL. ....	34
Gráfico 6 - Associação entre velocidade e direção do vento. ....	35
Gráfico 7 - Rosa dos ventos para a cidade de Maceió/AL mostrado em relação à frequência e direção. ....	35
Gráfico 8 - Carta bioclimática para a cidade de Maceió/AL. ....	36
Quadro 1 - Estratégias bioclimáticas para a cidade de Maceió/AL. ....	37
Quadro 2 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Climática 8. ....	37
Gráfico 9 - Distribuição dos edifícios por bairros na cidade de Maceió/AL. ....	44
Gráfico 10 - Gabarito das edificações de escritório associada à quantidade de salas do edifício. ....	44
Foto 2 - Ed. Emp. Ruy Palmeira (a) e Ed. Work Center (b) utilizam dispositivos de proteção solar das fachadas. Ed. Avenue Center no Jaraguá (a) e Ed. Ocean Tower na Pajuçara (b): adotam a “pele de vidro” na suas fachadas. ....	45
Gráfico 11 - Tipologia de fachada dos edifícios de escritório em Maceió/AL. ....	45
Foto 3 - Esquadrias de correr não favorecem o controle do fluxo de ar e luz no interior dos ambientes: a e b: Ed. Brêda c: Ed. Delmiro Golveia. ....	46
Foto 4 - Detalhe das esquadrias maxim-ar e película adotada como forma de proteção da radiação solar: a e b: Ed. Avenue Center; c: Ed. Work Center. ....	46
Foto 5 - Detalhe das esquadrias maxim-ar e película adotadas no Ed. Ocean Tower (a) e Ed. Business Tower (b). ....	47
Foto 6 – Janela maxim-ar dotada de venezianas podem auxiliar na ventilação e iluminação natural dos ambientes. ....	47
Foto 7 - A ausência de proteção solar associada ao dimensionamento, localização e tipologia de esquadrias não favorece o aproveitamento da iluminação natural. (a) Ed. Walmap; (b) Ed. Brêda; (c) Ed. Avenue Center. ....	48
Quadro 3 - Tipo de refrigeração e características das esquadrias das edificações de escritório em Maceió/AL. ....	48
Quadro 4 - Coeficientes de correção e fórmula para o cálculo do gradiente de vento. ....	52
Quadro 5 - Valores da velocidade do vento obtidos para o gradiente. ....	53
Quadro 6 - Condições arquitetônicas de Edificações Comerciais. ....	55
Quadro 7 - Tipologias de esquadria de esquadrias investigadas. ....	56
Quadro 8 - Resumo das variáveis investigadas para o modelo do tipo 1 – corredor lateral. ....	57

Quadro 9 - Resumo das variáveis investigadas para o modelo do tipo 2 – corredor central.....	58
Esquema 1 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	62
Esquema 2 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	63
Esquema 3 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	64
Esquema 4 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	66
Esquema 5 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	67
Esquema 6 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria de correr (a) e maxim-ar (b), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	68
Esquema 7 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	68
Esquema 8 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	70
Esquema 9 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	71
Esquema 10 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	72
Esquema 11 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	74
Esquema 12 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	75
Esquema 13 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	76
Esquema 14 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria de correr, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	76
Esquema 15 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	78
Esquema 16 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	79

Esquema 17 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).	80
Esquema 18 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).	80
Esquema 19 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).	82
Esquema 20 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).	83
Esquema 21 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).	83
Esquema 22 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	86
Esquema 23 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	87
Esquema 24 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	87
Esquema 25 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	89
Esquema 26 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	90
Esquema 27 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	90
Esquema 28 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	91
Esquema 29 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical vertical - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	93
Esquema 30 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical vertical - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	94
Esquema 31 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical vertical - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	95
Esquema 32 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).	97

Esquema 33 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	97
Esquema 34 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	98
Esquema 35 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	100
Esquema 36 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	101
Esquema 37 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 22,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	102
Esquema 38 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	104
Esquema 39 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	105
Esquema 40 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	106
Esquema 41 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	108
Esquema 42 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	109
Esquema 43 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	110
Esquema 44 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	113
Esquema 45 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	114
Esquema 46 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	115
Esquema 47 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	118
Esquema 48 - Corte na sala 5 e 15 modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	119

Esquema 49 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	120
Esquema 50 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	120
Esquema 51 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	124
Esquema 52 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	125
Esquema 53 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	126
Esquema 54 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	129
Esquema 55 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	130
Esquema 56 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). ....	131
Esquema 57 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	134
Esquema 58 - Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	135
Esquema 59 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12).....	136
Esquema 60 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	139
Esquema 61 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	140
Esquema 62 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	141
Esquema 63 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	144
Esquema 64 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	145

Esquema 65 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	146
Esquema 66 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	149
Esquema 67 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	150
Esquema 68 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	151
Esquema 69 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	154
Esquema 70 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	155
Esquema 71 – Corte na sala 5 e 15, modelo com corredor central e esquadria de correr, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	156
Esquema 72 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de correr, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). ....	157
Esquema 73 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	160
Esquema 74 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	161
Esquema 75 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria maxim-ar, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	162
Esquema 76 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 4,5m (1° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	165
Esquema 77 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 16,5m (5° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	166
Esquema 78 – Planta baixa modelo com corredor central e esquadria de pivô vertical, plano de análise: 22,5m (8° Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6).....	167
Gráfico 12 - Desempenho das esquadrias no modelo com corredor lateral, área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> , incidência do vento de 45° à esquerda e 90° à direita).....	170
Gráfico 13 - Desempenho das esquadrias no modelo com corredor central, área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> , incidência do vento de 45° à esquerda e 90° à direita).....	170
Esquema 79 – Corte esquemático do direcionamento do fluxo do fluxo de ar no modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar.....	171

Gráfico 14 - Desempenho das esquadrias de acordo com a área de abertura no quinto pavimento (corredor lateral, incidência do vento de 45° à esquerda e 90° à direita). .....	172
Gráfico 15 - Desempenho das esquadrias de acordo com a área de abertura no quinto pavimento (corredor central, incidência do vento de 45° à esquerda e 90° à direita). .....	172
Gráfico 16 - Desempenho das esquadrias de acordo com a área de abertura e tipologia de planta no quinto pavimento (incidência do vento de 45° à esquerda e 90° à direita). .....	174
Esquema 80 – Corte esquemático do comportamento da distribuição do fluxo no modelo com área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (acima) e 3,00m <sup>2</sup> (abaixo). .....	173

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 – Velocidade do vento do modelo com corredor lateral e esquadria de correr - Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	65
Tabela 2 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento). Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	69
Tabela 3 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 4,5m (1° Pavimento). Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	73
Tabela 4 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	77
Tabela 5 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	81
Tabela 6 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). .....	85
Tabela 7 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	88
Tabela 8 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	92
Tabela 9 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	96
Tabela 10 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	99
Tabela 11 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	103
Tabela 12 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). .....	107
Tabela 13 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	111
Tabela 14 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	112
Tabela 15 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de maxim-ar. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	116
Tabela 16 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	117
Tabela 17 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	122

Tabela 18 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de verical verical. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	123
Tabela 19 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	127
Tabela 20 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	128
Tabela 21 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	132
Tabela 22 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	133
Tabela 23 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a barlavento</i> .....	137
Tabela 24 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m <sup>2</sup> (1/12). <i>Salas a sotavento</i> .....	138
Tabela 25 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria de correr. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	142
Tabela 26 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria de correr. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	143
Tabela 27 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	147
Tabela 28 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	148
Tabela 29 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	152
Tabela 30 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	153
Tabela 31 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	158
Tabela 32 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	159
Tabela 33 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	163

Tabela 34 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e esquadria maxim-ar. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	164
Tabela 35 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a barlavento</i> .....	168
Tabela 36 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor central e janela de pivô vertical. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 3,00m <sup>2</sup> (1/6). <i>Salas a sotavento</i> .....	169

## RESUMO

---

Em edificações de escritório localizadas em regiões quentes e úmidas, as tipologias arquitetônicas poderiam favorecer o aproveitamento dos ventos regionais, minimizando assim os gastos com energia para climatização dos mesmos. O incremento da ventilação no interior dos ambientes dependerá, entre outros fatores, da tipologia arquitetônica adotada e das especificações relacionadas às aberturas do ambiente. Tais itens estão intrinsecamente relacionados às escolhas realizadas pelo profissional que desenvolve o projeto que, por sua vez, se aplicar os princípios bioclimáticos pode aumentar consideravelmente, a construção de edifícios energeticamente eficientes. Nesse sentido, pesquisas têm sido desenvolvidas para incorporar o conhecimento existente sobre as estratégias de condicionamento ambiental recomendadas para cada tipo de clima, transformando-as em especificações para normas e Códigos de Obras. Entretanto, os aspectos relacionados à ventilação, apresentam requerimentos referentes às áreas das aberturas, independentemente das diversas tipologias de aberturas existentes e da localização das mesmas. Esse trabalho investiga o impacto decorrente da utilização do tipo de 3 tipos diferentes de esquadrias (*correr, maxim-ar e pivô vertical*), na distribuição do fluxo de ar, considerando a área de abertura especificada pelo Código de Obras de Maceió/AL. A metodologia constitui-se em uma análise comparativa dos três tipos de esquadrias, utilizando o *software* PHOENICS 3.6, de uma edificação considerada típica. A esquadria de pivô vertical demonstrou um melhor desempenho quanto à distribuição do fluxo do ar e velocidade do vento no interior dos ambientes. O tipo de correr proporciona um insuflamento de ar concentrado na área das aberturas e ocorre a formação de zonas de vórtices no ambiente. A esquadria maxim-ar, além de não proporcionar um insuflamento de ar uniforme no ambiente, mostrou-se como obstáculo à entrada dos ventos devido ao seu formato. Para a mesma especificação de área de abertura do Código de Obras, a distribuição do fluxo de ar e a velocidade do vento serão influenciadas pela tipologia de esquadria adotada pelo projetista. As especificações poderiam adotar coeficientes de correção para diferentes tipologias de esquadria a rever a área de abertura para a ventilação.

Palavras-chave: ventilação natural, Códigos de Obras, escritórios, esquadrias.

## **ABSTRACT**

---

In office buildings located on hot humid climate areas, the architectural typology could improve the regional winds entrance and minimize the energy consumption. The increase of ventilation inside the rooms depends on the architectural typology adopted and the specifications related on the room's openings. The room's openings allow or make difficult to distribute the air flow inside the places, either being responsible by the rain protection, noises and excessive solar radiation. Thus, the opening's design must be considered, otherwise it will endanger the comfort condition inside an ascertain place. The opening typology influences the ventilation of the rooms offering more or less resistance to the air's flow. The Building Regulation of Maceio of 1985 determines the minimum openings area based on the floor's area, as  $1/6$  for light and  $1/12$  for ventilation. In this paper the position, orientation or main kinds of ventilation are not mentioned. These items have a straight influence on the air flow determination inside the rooms, as well the users' thermal comfort. The aim of this study is to investigate three different kinds of openings in office buildings in Maceio city (sash, top hung and vertical pivot window) with area based on the Building Regulation. Computational simulations where realized with PHOENICS 3.6 software on a typical office building. The opening design is an important aspect in buildings where passive cooling is a bioclimatic strategy. Building Regulation needs to consider this aspect. For the same opening area specified for the Building Regulation the airflow and air velocity inside the office building will be different depends on the opening design. In this case, some coefficients need to be investigating for different opening design. The Building Regulation needs to apply large openings to improve air flow inside the buildings.

Keywords: natural ventilation, office buildings, openings.

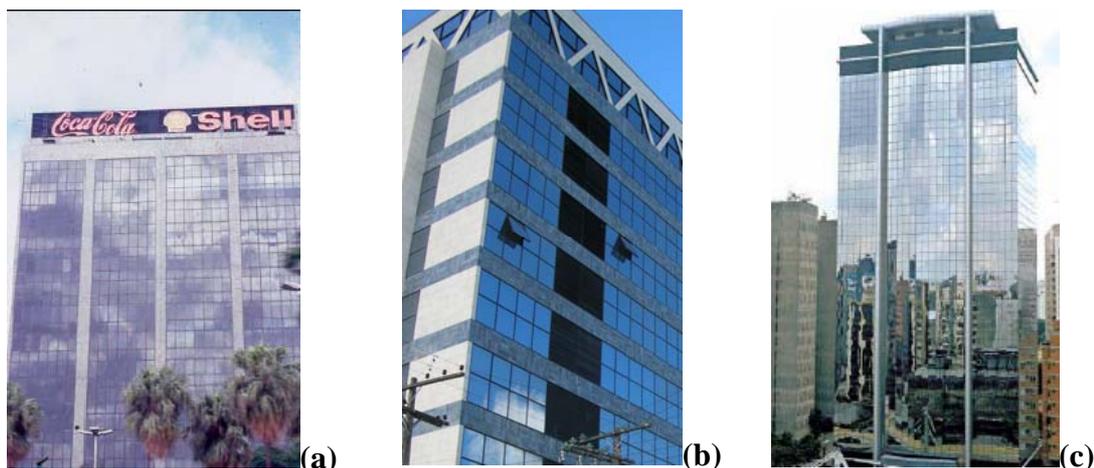
# 1. INTRODUÇÃO

---

Após a crise de energia que aconteceu no Brasil no ano de 2001, o questionamento sobre o consumo final de energia nas edificações foi intensificado. A discussão sobre o desperdício energético nas edificações entrou em pauta nos mais diversos setores da construção civil.

Entretanto, na grande maioria dos casos, a ênfase na arquitetura energeticamente eficiente está estritamente relacionada a sistemas tecnológicos, com menos influência do projeto de arquitetura, por questões culturais e econômicas (GONÇALVES, 2004). No final dos anos 90 os projetos arquitetônicos de uma amostragem de edifícios comerciais eram pouco ou nada influenciados pela preocupação com a conservação de energia (ROMERO, 1997).

Nas cidades tropicais constata-se a substituição da arquitetura vernácula, com um *design* mais aberto e integrado com as técnicas de refrigeração passiva por caixa de vidro fechadas e condicionadas artificialmente (BUSCH, 1992). Os edifícios de vidro são elementos que não identificam a cultura e o lugar de onde se inserem (SILVA, 2005), foto 1.



**Foto 1 - A uniformização da linguagem arquitetônica afasta a incorporação das características climáticas e culturais do lugar onde estão inseridos: (a) edifício de escritórios no Rio de Janeiro/RJ (a), Maceió/AL (b) e São Paulo/SP (c).**

Fonte: (a);(c) [www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br), acessado em 20/03/2005, (b) A autora (2005).

Em sentido contrário, os usuários destes ambientes, especialmente em edifícios de escritório, parecem se adaptar às mudanças da temperatura ao longo do período de trabalho, desde que ocorra um incremento na ventilação (NICOL, 1995; PINTO; JOTA; ASSIS, 2002; GRATIA; DE HERDE, 2003). Os ocupantes dos ambientes condicionados naturalmente aceitam temperaturas mais altas em relação aos edifícios climatizados artificialmente, em torno de 3°C acima das temperaturas apontadas como confortáveis (AYNSLEY, 1999).

O incremento da ventilação no interior dos ambientes dependerá, entre outros fatores, da tipologia arquitetônica adotada e das especificações relacionadas às aberturas do ambiente. Tais itens estão intrinsecamente relacionados às escolhas realizadas pelo profissional que desenvolve o projeto que, por sua vez, se conhecer os princípios bioclimáticos pode diminuir, consideravelmente, a concepção de edifícios energeticamente ineficientes (SILVA, 2005).

Embora existam essas possibilidades, o corpo técnico não dispõe ainda de uma formação voltada para as questões energéticas, de uma cultura conservacionista necessária à elaboração de projetos mais eficientes (SIGNOR, 1999). Associada à prática insipiente de projetos preocupados com a questão energética e, talvez alimentando este processo, encontram-se as Normas e Códigos de edificações.

Nesse sentido, pesquisas têm sido desenvolvidas para incorporar o conhecimento da literatura sobre as estratégias de condicionamento ambiental recomendadas para cada tipo de clima, transformando-as em especificações para normas e códigos de obras. Uma pesquisa desenvolvida em 57 países de todos os continentes demonstra que apenas treze deles, inclusive o Brasil, não possuem legislação sobre eficiência energética (JANDA; BUSCH, 1994). Aqui, portanto, faz-se necessária uma urgente elaboração de legislação específica, bem como uma revisão do conjunto de Normas e Códigos em vigência. Nesse contexto, estudos que contribuam para a melhoria de normas e códigos de obras tornam-se pertinentes e apresentam grande importância para o avanço da eficiência energética das edificações.

Esse trabalho pretende avaliar o Código de Obras de Maceió/AL quanto a recomendações arquitetônicas que afetam o conforto térmico e a eficiência

energética das edificações de escritórios, com ênfase nos parâmetros relativos à ventilação natural.

## **1.1.Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Avaliar o Código de Obras de Maceió/AL quanto a recomendações arquitetônicas que afetam o conforto térmico e a eficiência energética das edificações de escritórios, com ênfase nos parâmetros relativos à ventilação natural.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

1.1.2.1. Investigar o impacto decorrente da utilização do tipo de 3 tipos diferentes de esquadrias (*correr, maxim-ar e pivô vertical*), na distribuição do fluxo de ar, no interior dos ambientes de escritório, considerando duas áreas de aberturas (1/6 e 1/12 da área de piso do ambiente);

1.1.2.2. Contribuir para a formulação de normas e códigos com melhores níveis de conforto térmico e de eficiência energética;

1.1.2.3. Contribuir para a obtenção de edificações de escritório com melhores níveis de conforto térmico e de eficiência energética.

## **1.2.Estrutura da dissertação**

A dissertação encontra-se dividida em cinco seções. A *primeira* corresponde a uma breve introdução ao trabalho, o resumo dos objetivos do trabalho e a explicitação da estrutura da dissertação.

A *segunda seção* corresponde à revisão documental realizada para o desenvolvimento da dissertação, versando sobre a eficiência energética e a relação entre a arquitetura e eficiência energética das edificações e o consumo de energia nas edificações de escritório. Também trata da conexão existente entre normalização e eficiência energética e o Código de Obras da cidade de Maceió/AL. Ainda nesta seção serão apresentadas as características climáticas da cidade de Maceió e as demandas bioclimáticas para a construção das edificações, com ênfase

na ventilação natural e sua importância para o conforto térmico das edificações. Por fim, apresenta a caracterização das edificações de escritório encontradas na cidade de Maceió/AL e a descrição das tipologias de escritório investigadas com suas características arquitetônicas.

A *terceira seção* é destinada à metodologia adotada no trabalho e dos parâmetros relacionados ao Código de Obras incorporados ao mesmo. Explica também a ferramenta de investigação utilizada no trabalho, suas características gerais, pontos positivos e negativos.

A *quarta seção* é destinada à apresentação e discussão dos resultados obtidos nas simulações computacionais desenvolvidas. Os resultados serão apresentados em duas partes: a primeira corresponde aos edifícios de escritório com o corredor lateral (Tipo 1) e o segundo aos edifícios com corredor central (Tipo 2). Nestas duas partes serão analisados os resultados para as duas áreas de abertura investigadas (1/6 e 1/12 da área de piso do ambiente) e as três tipologias de esquadrias (correr, maxim-ar e pivô vertical).

Na *quinta seção* são apresentadas e discutidas as conclusões resultantes da análise desenvolvida no trabalho.

## **2. REVISÃO DOCUMENTAL**

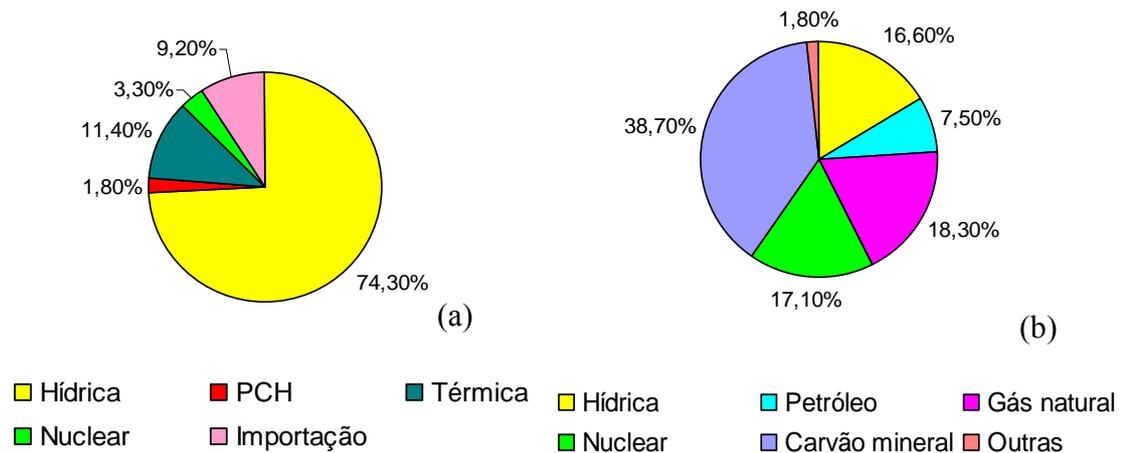
---

Esta seção é dedicada à explicitação do referencial documental dos assuntos relacionados ao trabalho e encontra-se dividida em quatro partes. A primeira parte trata dos aspectos referentes ao consumo de energia das edificações, a relação entre a arquitetura e eficiência energética das edificações e o consumo de energia nas edificações de escritório. Na segunda parte é tratada a conexão existente entre a normalização e a eficiência energética, analisando, especificamente, as normas para edificações de escritório e os Códigos de Obras da cidade de Maceió/AL. Na terceira serão apresentadas as características climáticas da cidade de Maceió e as demandas bioclimáticas para a construção das edificações, com ênfase na ventilação natural e sua importância para o conforto térmico das edificações. A última parte consiste na caracterização das edificações de escritório encontradas na cidade de Maceió/AL.

### **2.1. Consumo de energia no Brasil**

Em 2001 o Brasil enfrentou uma crise de energia sem precedentes em sua história. Por sua condição geográfica, o aproveitamento do potencial hídrico existente para a geração de energia elétrica no país se configurou como a melhor opção por diversos anos. Entretanto, com o aumento da demanda, associada a fatores climáticos e a ausência de investimentos no setor, a produção das hidrelétricas entrou em colapso (GAZETA DE ALAGOAS, 2001 a). A crise energética foi a inevitável consequência. Saindo do âmbito governamental, esta crise atingiu os cidadãos comuns, gerando ampla insatisfação na população em geral (GAZETA DE ALAGOAS, 2001 b). A conservação de energia deixou de estar em pauta apenas nas discussões acadêmicas para se apresentar no enfoque do cotidiano dos consumidores.

Comparativamente à estrutura da matriz energética brasileira, em relação à mundial, nota-se que a hidroeletricidade no Brasil tem peso significativo (BEN – Balanço Energético Nacional, 2004), gráfico 1. Tal estrutura deve-se, em grande parte, pelas fontes naturais disponíveis nos país, além dos aspectos relacionados à maturidade de tecnologia considerando-se os custos dos equipamentos e assistência tecnológica, confiabilidade e aceitação (REIS; SILVEIRA, 2001).



**Gráfico 1 - Estrutura da oferta de eletricidade no Brasil em 2003 (a) e no Mundo em 2001 (b).**

Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), 2004.

No Nordeste brasileiro, a situação é preocupante. Bastante dependente das condições climáticas, principalmente dos regimes de chuvas, os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas chegaram a apenas 6% da sua capacidade na época do apagão (NEGRÃO *et al.*, 2003). A dependência de fatores meteorológicos, em muitos casos, dificulta a capacidade de planejamento econômico e compromete a captação de investimentos privados para a região.

Associada à política de investimentos, a conscientização dos consumidores é um fator de grande importância para a superação do atual quadro brasileiro. Nesse contexto, a conscientização dos profissionais de diversas áreas se configura como base importante. Na área da Arquitetura, o projeto de edificações passou a ser fortemente criticado na época da crise, mas os profissionais não incorporaram esse item à sua agenda de trabalho.

### 2.1.1. Consumo de energia e arquitetura

De acordo com dados do PROCEL<sup>1</sup> (2003), 48% da energia gerada no Brasil é consumida em edifícios residenciais, comerciais e públicos. Sendo grande parte desta energia destinada a proporcionar ambientes termicamente confortáveis. Entretanto, a ênfase da atitude energética está estritamente relacionada a sistemas tecnológicos, com menos influência no projeto de arquitetura, por razões culturais e econômicas (GONÇALVES, 2004). Koenigsberger *et al.* (1974), ao comentarem

<sup>1</sup> PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

sobre a eficiência energética e a relação com a arquitetura, afirmam que somos capazes de criar e manter condições de conforto no interior dos ambientes, mas as escolhas e o refinamento do sistema escolhido dependem do nosso *status* social, dos modelos de sociedade em que vivemos (paradigmas) e das condições financeiras disponíveis. Para os mesmos autores, um julgamento de valor envolve, no processo de decisão, o grau de conforto que queremos alcançar e quanto podemos pagar por ele.

Apesar das potencialidades encontradas no clima tropical brasileiro, a eficiência energética na grande maioria das construções brasileiras deixa muito a desejar (SAYEGH, 2001; GONÇALVES; DUARTE, 2001). Tal fato se deve, em muitos casos, à inadequação das edificações ao clima regional, já que, ao não dispor do potencial de iluminação e ventilação naturais, as edificações requerem o uso de meios mecânicos de refrigeração e iluminação nos ambientes (GIVONI, 1981). As edificações que apresentam esses problemas necessitam de soluções que proporcionem conforto térmico aos usuários, sem aumentar o consumo de energia (ASHLEY, 1984; BAKER, 1987).

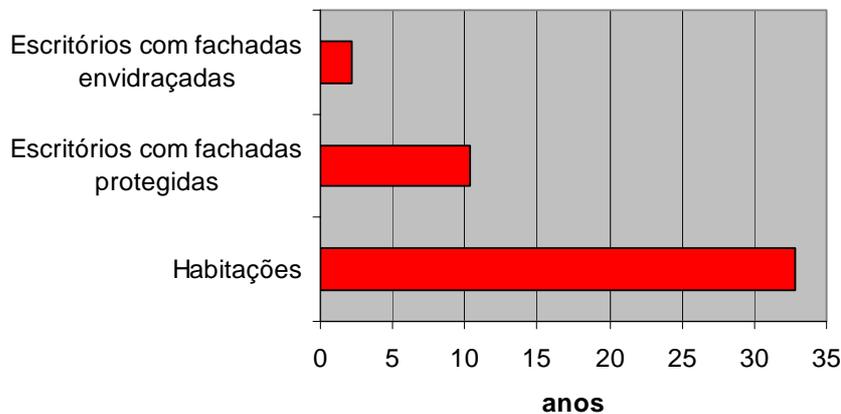
Em edificações de atividades de trabalho, com permanência apenas diurna, como é o caso dos edifícios de escritórios, as tipologias arquitetônicas poderiam favorecer o aproveitamento da iluminação natural e dos ventos regionais, minimizando os gastos com energia.

### **2.1.2. Consumo de energia em edificações de escritórios**

Do consumo energético na produção de diferentes setores, o da construção civil é baixo (REIS; SILVEIRA, 2001). Entretanto, como o edifício possui longa vida útil, o consumo se eleva. Pode-se dizer então que o problema energético relacionado às edificações encontra-se, em grande parte, na utilização dos edifícios durante sua vida útil.

Estudos realizados por Mascaró (1992) indicam que os edifícios habitacionais consomem, ao longo de sua vida útil, 50% a mais do que foi necessário para a sua construção. Nos edifícios de escritórios envidraçados, consome-se cerca de vinte e três vezes o valor necessário de energia para a sua construção, para o mesmo tempo das edificações habitacionais. Dados do mesmo autor relacionam o tempo (em anos) necessário para uma edificação consumir a energia que foi

necessária para a sua produção, gráfico 2. Enquanto que as habitações levam 33 anos para consumir a mesma quantidade de energia equivalente à utilizada na sua produção, nos edifícios “panorâmicos” isso acontece em pouco mais de 2 anos.



**Gráfico 2 - Consumo de energia ao longo da vida útil de edifícios de escritórios.**

Fonte: Adaptado de Mascaró, 1992.

Nas edificações comerciais e públicas, incluindo os edifícios de escritórios, grande parte do consumo é atribuída às variáveis arquitetônicas e construtivas já que, em média, 64% de seu consumo são devido ao condicionamento ambiental (que vem crescendo constantemente) e à iluminação (GELLER, 1994 *apud* SIGNOR, 1999). No Brasil, segundo dados do BEN (*Balanço Energético Nacional*) em 2004, o setor comercial foi responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica do país. Cerca de 70% do consumo de energia em edifícios de escritório é relacionado aos sistemas de ar-condicionado e iluminação (ROMERO, 1997).

Esses dados evidenciam a importância e a responsabilidade atribuídas aos projetistas ao realizar suas escolhas em relação ao projeto, visto o consumo final de energia resultante do processo. Estima-se que os edifícios com projetos adequados possam consumir em torno de 30% menos energia que os outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares (SIGNOR, 1999).

Segundo Gratia e De Herde (2004), em edifícios de escritórios, a grande permanência dos ocupantes estimula a preocupação com a qualidade do ambiente. Os ocupantes vêm exigindo um ambiente mais saudável e estimulante que é geralmente provido por meios mecânicos de refrigeração. Entretanto, a ventilação natural, se

bem explorada, pode suprir tais expectativas com eficiência em boa parte do tempo de ocupação. Em tais ambientes, as pessoas preferem ter controle da iluminação e da ventilação, o que pode exigir um projeto de condicionamento diferenciado ou o condicionamento natural.

Estudos realizados por Busch (1992), em edifícios de escritório na Tailândia revelam que adoção de meios mecânicos de refrigeração é baseada em níveis de conforto para climas temperados, desconsiderando as necessidades dos usuários do clima tropical. Tal situação implica na necessidade de significativos investimentos públicos na geração de energia.

A flexibilidade preferida pelos usuários, muitas vezes, é incompatível com os dispositivos de refrigeração adotados, pois estes desconsideram a adaptação do indivíduo ao ambiente. Tais sistemas determinam as condições de temperatura e iluminação baseado em dados numéricos dos sistemas de condicionamento e iluminação, podendo gerar desconforto para os usuários. Estudos de Nicol (2004) sugerem que os indivíduos, em climas quentes e úmidos, podem apontar satisfação em relação ao conforto ambiental com temperaturas acima das consideradas de conforto por muitos autores, devido à sua capacidade adaptativa. Nesse sentido, o projeto arquitetônico assume mais uma vez grande importância ao definir variáveis que podem influenciar diretamente no conforto ambiental dos usuários.

## **2.2.A influência da normalização no consumo de energia das edificações**

Em muitos países, a crise de energia e o alto consumo no setor de edificações levaram à implementação de normas de eficiência em edificações. Atualmente o Brasil participa, juntamente com Bangladesh, Botsuana, Índia e Nicarágua, entre outros, da lista de nações que ainda não possuem normas de eficiência energética em edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Somado à inexistência de normalização específica encontram-se os códigos e normas brasileiras que caminham no mesmo sentido. Tal normalização é de grande importância ao especificar padrões mínimos das variáveis arquitetônicas de impacto no conforto ambiental, tais como área dos ambientes, área de janelas, tipologias de janelas, etc.

Em relação à ventilação natural, estratégia importante para climas quentes e úmidos, o tamanho, a forma e a localização das aberturas são os principais fatores determinantes da configuração do fluxo de ar no interior das construções (KUKREJA, 1978; OLGAY, 1998), itens influenciados diretamente pelos códigos de obras. Dessa forma, nota-se que normas e códigos necessitam se adequar, por meio de revisões, sob o prisma da eficiência energética (PEDRINI; LAMBERTS, 2003).

Uma das dificuldades encontradas na transformação da ventilação em índices mínimos para as normas é a necessidade de associação entre as taxas de renovação de ar adequadas ao clima quente e úmido e a distribuição do fluxo do ar no interior dos ambientes. A associação de tais itens é, portanto, de grande importância para o projeto das aberturas das edificações, embora ainda não tenha sido contemplada pelos avanços tecnológicos da área (LI; DELSANTE; SYMONS, 2000; HIRANO *et al*, 2005).

As taxas de renovação do ar têm grande aplicabilidade nos programas relacionados ao desempenho térmico, sendo um dos dados de entrada dos mesmos, e servem como base para as exigências de conforto em normas. Entretanto, tais taxas não contemplam o comportamento da ventilação natural no interior dos ambientes. A visão integrada dos aspectos relacionados às taxas de renovação de ar e a sua distribuição no interior dos ambientes é um aspecto ainda pouco explorado, podendo ser obtida pelos métodos multizonal e CFD (*Dinâmica dos Fluidos Computadorizada*) (SANTAMOURIS; ASSIMAKOPOULOS, 1997). Tais itens são fortemente influenciados pelo tamanho, forma e localização das aberturas (KUKREJA, 1978; KOENIGSBERGER *et al*, 1974) que, por sua vez, são de grande importância para os padrões mínimos adotados em normas e códigos de obras e serão discutidos mais adiante.

### **2.2.1. Normalização das edificações de escritório em Maceió/AL: o Código de Obras**

Os atuais códigos municipais de edificações brasileiras ainda guardam resquícios dos antigos Códigos Sanitários, de Posturas Municipais e dos Planos Diretores de Zoneamento (CAVALCANTI, 2002). De uma maneira geral, as especificações arquitetônicas presentes no Código de Obras de Maceió, que

influenciam na ventilação e iluminação naturais, baseiam-se em outros documentos. Os formatos e índices técnicos neles utilizados são comuns a várias cidades brasileiras (TOLEDO, 2002). Tais documentos, por sua vez, foram escritos para realidades climáticas diferentes da encontrada na região de Maceió/AL.

Nos documentos recentes do município de Maceió, datados de 1957, 1979, 1985 e 2004, encontram-se duas questões chaves. A primeira relaciona-se à transcrição simples de especificações e normas de uma realidade climática para outra, sem haver qualquer tipo de adequação. A segunda é a aplicação direta dos parâmetros sem haver uma avaliação das conseqüências de sua aplicabilidade no desempenho térmico e luminoso dos ambientes.

No Código de Obras de 1957, existe menção à necessidade de ventilação permanente no interior dos ambientes. Para tal é especificada uma área mínima destinada para a ventilação e iluminação, baseado na área do piso do ambiente. Estas mesmas especificações podem ser encontradas no Código de 1979, modificando-se apenas de *ventilação permanente* para *ventilação* apenas.

No Código de 1985 as áreas mínimas de aberturas são novamente determinadas pela área do piso, devendo corresponder a 1/6 para iluminação e 1/12 para a ventilação. Nesse documento não são mencionados os aspectos relacionados à posição, localização ou qual tipo de ventilação de ser priorizada. Tais itens têm influência direta na determinação do fluxo de ar no interior dos ambientes, assim como no conforto térmico dos usuários. Os aspectos relacionados ao comportamento da ventilação natural, no que tange ao padrão de distribuição e velocidade do vento, resultante da área de abertura efetiva destinada à ventilação precisam ser avaliados. Tal avaliação pode auxiliar em futuras modificações nas especificações dos códigos de obras e esse trabalho pretende contribuir nesse sentido.

Na atual versão do Código de Obras de Maceió, de 2004, as especificações relacionadas às aberturas foram substituídas por uma referência às normas da ABNT, o que pode agravar a construção de edifícios de escritórios energeticamente ineficientes. As normas da ABNT (NBR 15.220-3: 2005, 2005), posteriores ao código relacionadas ao desempenho térmico das edificações, incluindo referências às taxas de renovação de ar do ambiente e das áreas necessárias para a ventilação dos

mesmos, foram recentemente aprovadas, mas tratam do desempenho térmico de edificações unifamiliares, não se aplicando, portanto, a edificações de escritório.

Em todos os códigos, os aspectos relacionados ao clima local não recebem menção, assim como os enfoques do conforto ambiental e conservação de energia. Embora essa tenha sido a tendência apontada em documentos recentes, como o modelo IBAM/PROCEL de 1997 e no Caderno de Encargos da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro de 2002, o Código de Obras de 2004 não incorpora tal preocupação no seu texto.

Outro ponto de relevância é que, se o conjunto de normas de 1985 nem sempre era seguido (TOLEDO, 2002), com o documento atual a tendência pode ser preocupante. Embora os profissionais tenham papel chave em qualquer condição, por decidirem o projeto arquitetônico, nota-se que, entre estes a preocupação relacionada ao conforto ambiental e a eficiência energética é mais um discurso do que uma prática (PEDRINI, 2004). Nesse sentido, o papel restritivo da norma, associada à fiscalização, pode contribuir para uma mudança na postura de projeto.

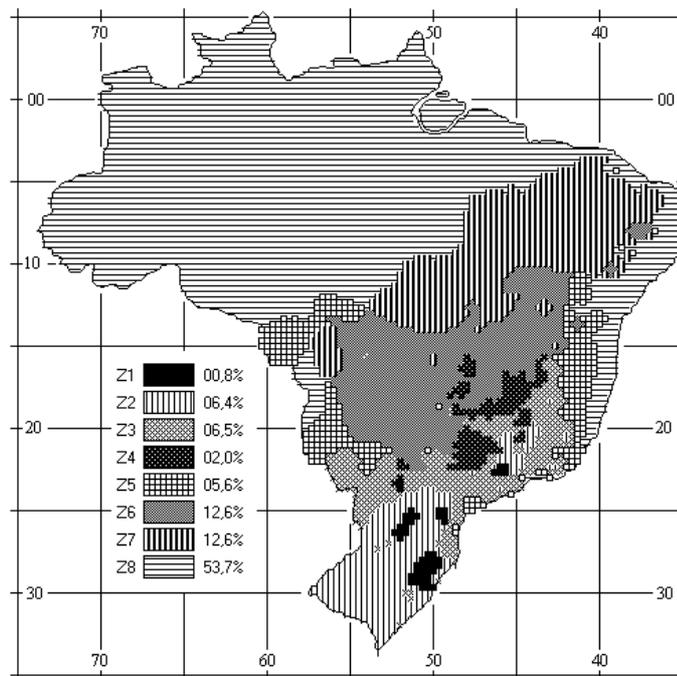
A análise do Código de Obras de 1985 pode auxiliar no estabelecimento um diagnóstico do comportamento da ventilação natural resultante das especificações de tal documento. Essa análise pode servir como referência para possíveis modificações nos próximos Códigos de Obras, visto que o documento atual encontra-se carente de tais especificações.

Diante desse contexto, o Código de Obras de Maceió/AL deve ter suas especificações revisadas, tendo em vista o conforto ambiental dos usuários e a eficiência energética das edificações de escritórios. Esse trabalho pretende contribuir com uma avaliação do Código de Obras de Maceió/AL datado de 1985 quanto às suas recomendações arquitetônicas que afetam o conforto térmico e a eficiência energética das edificações de escritórios, com ênfase nos parâmetros relativos à ventilação natural.

## 2.3.O contexto de Maceió/AL

### 2.3.1. Características climáticas de Maceió/AL

De uma maneira geral, o clima na costa Nordeste do país é considerado quente e úmido com pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura. A dinâmica do regime de precipitação define a região Nordeste do Brasil como uma área de grande variação anual na distribuição de chuvas. O Zoneamento Climático Brasileiro de 2005 classifica a cidade de Maceió/AL, como integrante da Zona 8 no nordeste brasileiro, mapa 1.

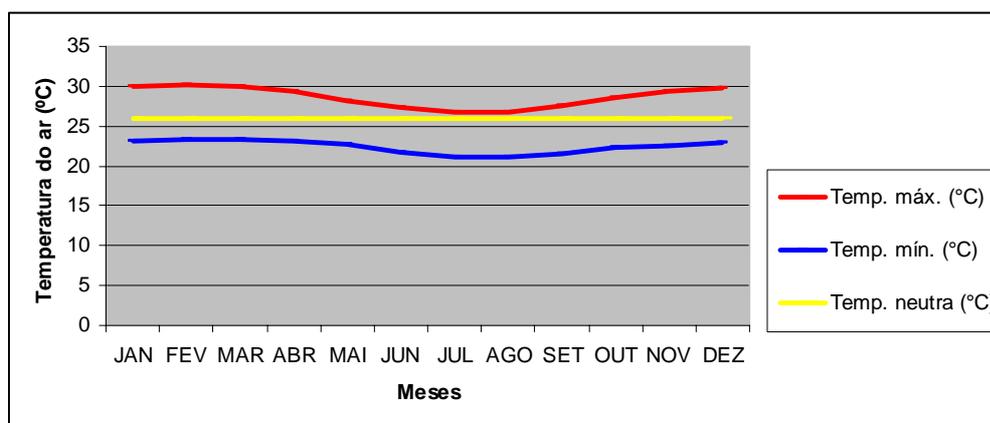


**Mapa 1 - Zoneamento Climático Brasileiro.**

Fonte: ABNT (NBR 15.220-3: 2005, 2005).

Praticamente as estações se dividem em duas: o inverno e o verão. O verão é caracterizado por altas temperaturas e pouca pluviosidade sob a forma de chuvas passageiras. O inverno é caracterizado por alta pluviosidade e temperaturas mais amenas. Nesse contexto, a baixa latitude ( $9^{\circ} 45'$  de latitude sul), a radiação solar intensa e, especialmente, a proximidade de grandes massas líquidas - oceano e lagoas - provocando alta umidade do ar, caracterizam o clima de Maceió como quente e úmido (BARBIRATO, 2004).

Maceió constitui um bom exemplo de constância de nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste brasileiro, com temperatura média anual em torno de 26°C e uma amplitude térmica anual de 3,4°C entre os valores médios mensais das temperaturas médias (26,7°C em fevereiro e 23,7°C em julho, maior e menor média, respectivamente), gráfico 3. São considerados dias “tipicamente quentes” os meses de novembro a fevereiro e “tipicamente frios” de junho a agosto (BARBIRATO, 2004).



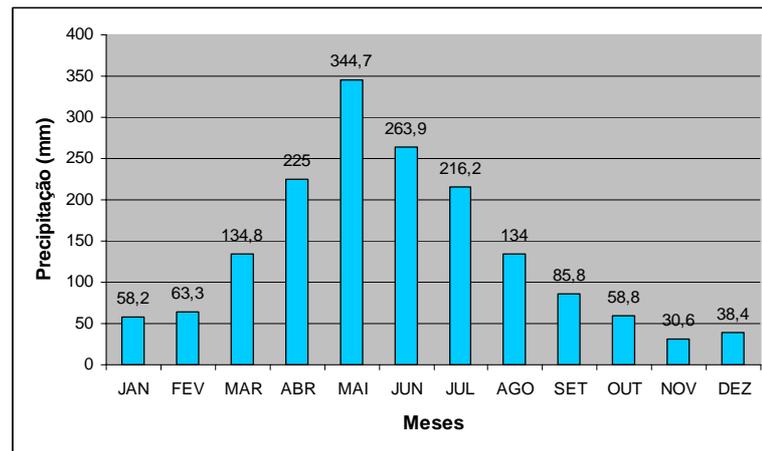
**Gráfico 3 – Temperatura média, máxima e mínima e temperatura neutra\* para**

**Maceió/AL.** \*temperatura neutra de projeto obtida utilizando a fórmula adaptada de Humpreys por Auliciens considerando-se a temperatura média do mês de fevereiro.

Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

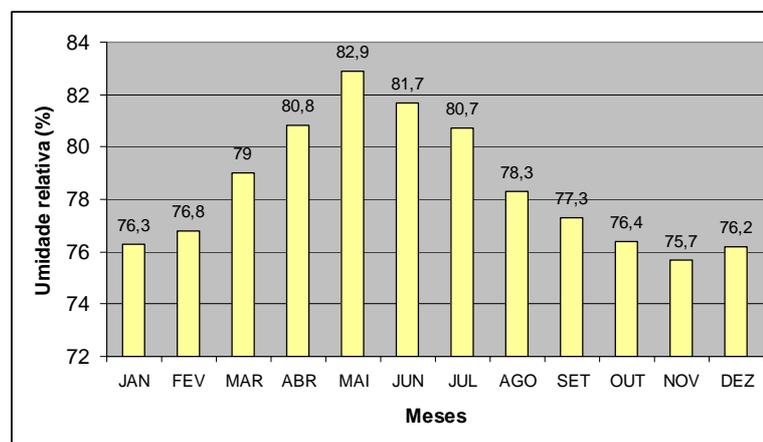
A condição típica do céu da cidade é parcialmente nublado. Ocorrências de céu claro são raras (4,5% em média), enquanto de céu nublado são acima de 15% (BITTENCOURT, 1993). A baixa latitude propicia grande intensidade de radiação solar, no verão a média do período de insolação é de 7,9 horas/dia, caindo no inverno para 5,8 horas/dia.

A cidade apresenta alta umidade relativa média (78%), caindo no verão. No inverno chega a 84% e, algumas vezes, atinge o ponto de saturação (100%) nos meses considerados mais frios, gráfico 4. A pluviosidade média anual de Maceió é de 1654 mm, com meses mais chuvosos de abril a julho, gráfico 5.



**Gráfico 4 – Distribuição da precipitação média em Maceió/AL.**

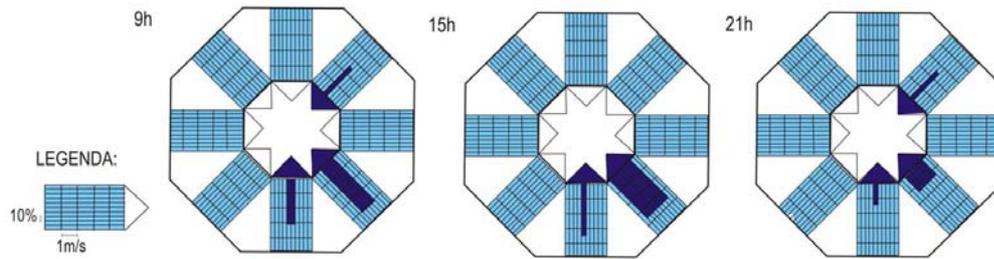
Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.



**Gráfico 5 – Umidade relativa média mensal para a cidade de Maceió/AL.**

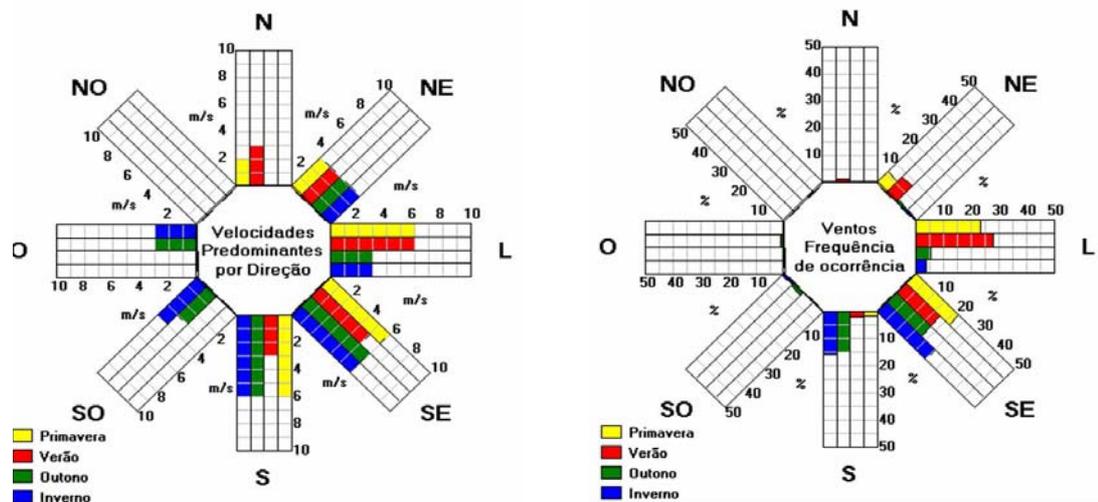
Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período: 1961-1990.

Maceió está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste (de velocidade fraca a moderada) e os ventos de retorno do Nordeste, mais freqüentes, com predomínio dos ventos Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março), e Sudeste, mais freqüente, nos restante dos meses. No que se refere à velocidade do vento, o valor médio mensal é da ordem de 2,8m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10m/s na direção Nordeste, gráficos 6 e 7.



**Gráfico 6 - Associação entre velocidade e direção do vento.**

Fonte: BITTENCOURT; LIMA, 1983 *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005.



**Gráfico 7 - Rosa dos ventos para a cidade de Maceió/AL mostrado em relação à frequência e direção.**

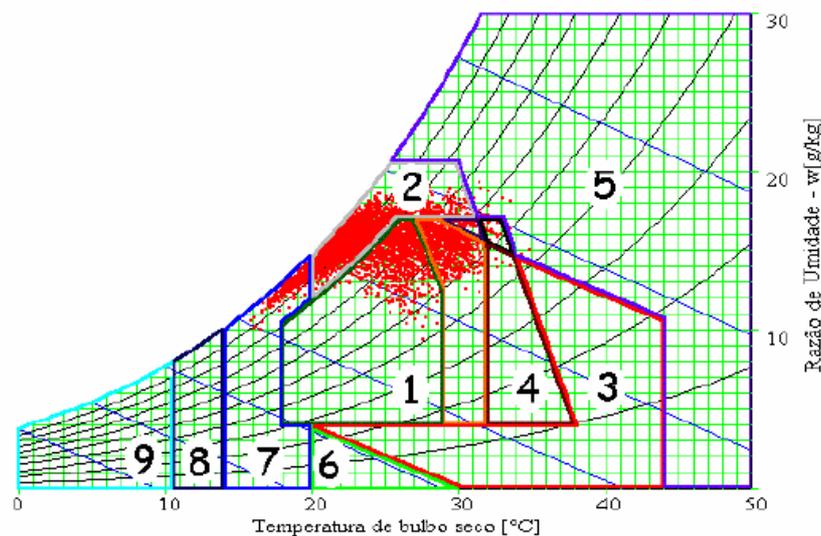
Fonte: Programa Analysis Sol – Air, 2005.

### 2.3.2. Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações em Maceió/AL

Nos climas quentes e úmidos, as edificações devem evitar ganhos de calor externo, enquanto dissipam aqueles produzidos no seu interior (KOENIGSBERGER *et al*, 1974). Como estratégias bioclimáticas mais eficientes temos o sombreamento e a ventilação natural (BAKER, 1987; GIVONI, 1994; GRATIA *et al*, 2004), e a zona de conforto está intrinsecamente relacionada com a velocidade do vento (FANGER, 1974). Observando-se a carta bioclimática proposta por Goulart, Lamberts e Firmino (1998), tais estratégias são mostradas para Maceió, gráfico 8. Foi gerada a carta bioclimática utilizando o programa Analysis para plotar os dados de temperatura e

umidade para as 8760 horas do TRY<sup>2</sup>, obtendo-se as estratégias mais adequadas para cada período do ano (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Nota-se que a zona de conforto está fortemente relacionada com a ventilação natural. O restante da mancha se relaciona, ainda que em pequena intensidade, com o resfriamento evaporativo e massa térmica. Os pontos que estão na zona de aquecimento correspondem aos meses de inverno, onde cobertores de cama mais grossos são suficientes para a obtenção de conforto térmico. Poucos pontos estão na zona de ar-condicionado, demonstrando que a região possui um forte potencial de utilização de meios passivos de refrigeração. Apesar de dispor destas condições, grande parte das edificações é climatizada e utiliza iluminação artificial, a despeito da intensa iluminação proporcionada pelas condições de céu local.



1- Zona de Conforto; 2 - Ventilação; 3 - Resfriamento Evaporativo; 4 - Massa Térmica para Resfriamento; 5 - Ar Condicionado; 6 - Umidificação; 7 - Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8 - Aquecimento Solar Passivo; 9 - Aquecimento Artificial

### Gráfico 8 - Carta bioclimática para a cidade de Maceió/AL.

Fonte: GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998.

No quadro a seguir são apresentados os percentuais das horas do ano em que ocorre conforto ou desconforto térmico e os percentuais em que cada estratégia é

<sup>2</sup> TRY – Test Reference Year (Ano Climático de Referência).

apropriada, quadro 1. O quadro foi organizado de forma a considerar as intersecções da carta bioclimática. Para se saber o total de horas em que é adequada a Ventilação, por exemplo, foram somados todos os valores correspondentes a Ventilação. Da mesma forma, procedeu-se para as estratégias de Resfriamento Evaporativo e Massa Térmica para Resfriamento. Neste caso, a soma total das horas irá superar os 100%, pois alguns pontos foram computados mais de uma vez, considerando ora a Ventilação, ora Resfriamento Evaporativo, ora Massa Térmica para Resfriamento (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

<b>Conforto (%)</b>			17,8	V → Ventilação
<b>Desconforto (%)</b>		V	75,0	RE → Resfriamento Evaporativo
	Calor	RE	14,3	MR → Massa Térmica para Resfriamento
		MR	14,9	AC → Ar Condicionado
		AC	0,4	MA/AS → Massa Térmica para Aquecimento/Aquecimento Solar
	Frio	MA/AS	5,4	AS → Aquecimento Solar
		AS	0	AA → Aquecimento Artificial
	AA	0,5		

**Quadro 1 - Estratégias bioclimáticas para a cidade de Maceió/AL**

Fonte: GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998.

A ventilação também é apontada como estratégia mais bioclimática para o clima de Maceió, pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro, quadro 2. Associada à indicação de necessidades de aberturas com área da ordem de 40% da área do piso está a indicação de ventilação cruzada permanente. Complementar à ventilação encontra-se a necessidade de sombreamento das aberturas para diminuir os ganhos térmicos provenientes da radiação solar excessiva.

<b>Aberturas para a ventilação A (em % da área de piso)</b>	<b>Sombreamento das aberturas</b>
Grandes: A > 40%	Sombrear aberturas
<b>Estratégia de condicionamento passivo: ventilação cruzada permanente.</b>	

**Quadro 2 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Climática 8.**

Fonte: ABNT (NBR 15.220-3: 2005, 2005)

Devido à importância da ventilação para o clima quente e úmido de Maceió/AL, serão descritas a seguir as vantagens desta estratégia e a sua interligação com o projeto das edificações.

### **2.3.3. A importância da ventilação natural para o conforto térmico das edificações no clima quente e úmido**

Para baixas velocidades do ar o conforto térmico é tão sensível à temperatura radiante quanto à temperatura do ar. Porém, para velocidades mais altas a temperatura do ar determina a percepção do conforto (CLARK, 1989 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005). Por isso, ao se analisar o conforto térmico em construções bem ventiladas, pode-se considerar a temperatura do ar como parâmetro determinante do conforto ao invés da temperatura radiante, sem que isso produza erros significativos.

O efeito do movimento do ar no conforto térmico tem sido avaliado em diversas pesquisas (FANGER, 1974; SANTAMOURIS; ASIMAKOPOULOS, 1997; DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997; NICOL, 2004). O movimento do ar reduz a temperatura efetiva<sup>3</sup> devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano (AHSLEY, 1984). Por essa razão, o limite máximo da zona de conforto, estabelecido para condições sem vento, pode ser ampliado em função da velocidade do ar.

Utilizando a fórmula inicialmente proposta por Humphreys e posteriormente desenvolvida por Auliciens (AULICIENS, 1882 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005), pode-se encontrar a temperatura neutra para a cidade de Maceió de 25,9 °C. Visto que o conforto no nordeste brasileiro é crítico nos meses de verão, utilizou-se como base a temperatura média de 26,7 °C para o mês de fevereiro (ver gráfico 3):

---

<sup>3</sup> A temperatura efetiva expressa o efeito combinado da temperatura do ar, umidade relativa, radiação e movimento do ar que proporcionam mesma sensação térmica (KOENIGSBERGER *et al*, 1974). Quando há ventilação a sensação térmica é de uma temperatura ambiental diferente da real (temperatura efetiva). Por exemplo, quando se tem uma temperatura de bulbo seco de 28°C, uma temperatura de bulbo úmido de 25°C, e se a velocidade do ar for de 0,5 m/s a temperatura efetiva será de 25,5°C, isto é, o indivíduo terá a sensação de uma temperatura do ar de 25,5°C (BARBIRATO, 2004).

$$T_n = (0,31 \times T_e) + 17,6 \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

$T_n$  = temperatura neutra no interior dos espaços arquitetônicos (°C).

$T_e$  = temperatura média exterior para o mês considerado (°C).

Substituindo-se na fórmula:

$$T_n = (0,31 \times 26,7) + 17,6 = 26,2^\circ\text{C}$$

Ao inserir a temperatura neutra no gráfico da temperatura média, máxima e mínima, constata-se a proximidade de tais valores ao longo do ano, gráfico 8. A maior diferença pode chegar até 4 °C nos meses de fevereiro e março. Segundo estudos de Nicol (2004), a utilização da ventilação pode proporcionar uma sensação térmica de até menos 4 °C em relação à temperatura real registrada no ambiente. Para o mesmo autor, a utilização de ventiladores pode proporcionar até 2 °C a menos que a temperatura real (sensação térmica) indicando a velocidade de 0,25m/s para temperatura de até 25 °C.

A velocidade máxima do ar considerada como aceitável pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s de acordo com diferentes autores (COOK, 1989; AYNSLEY, 1999). O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como vôo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto. Em climas quentes e úmidos, é provável que o poder refrescante provocado por uma maior velocidade do ar possa compensar essas desvantagens. Aynsley (1999) sugere que valores de velocidade entre 2 e 4m/s dos ventiladores de teto são bem aceitos pelos usuários, comumente utilizados para incrementar o movimento do ar nos ambientes.

O incômodo causado pela turbulência de um fluxo de ar constante pode ser verdadeiro em climas frios e temperados, onde os indivíduos não estão acostumados com um movimento de ar contínuo (FANGER *et al*, 1974), mas não reflete a realidade de regiões quentes e úmidas. Ao contrário, em tais regiões, a ventilação é um fator fundamental na determinação do conforto humano (DUTT, 1992) e velocidades do ar acima de 2,5 m/s podem ser muito bem aceitas (GIVONI, 1976).

Pode-se concluir, portanto, que alguns ajustes se fazem necessários nas zonas de conforto mais freqüentemente utilizadas pelos projetistas para considerar mais adequadamente os efeitos das variações da umidade e velocidade do ar no conforto térmico (DREYFUS, 1960).

### **2.3.3.1. A importância das aberturas no conforto ambiental dos usuários e a relação com o Código de Obras**

As aberturas dos ambientes permitem ou dificultam o insuflamento e distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes, assim como são responsáveis pela proteção contra a chuva, ruídos e radiação solar excessiva. Desta forma, o projeto das aberturas deve ser devidamente considerado, sob a pena de comprometer as condições de conforto de um determinado ambiente.

Em relação à ventilação natural, a configuração do fluxo de ar no interior de uma construção será determinada por três fatores principais: o tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar na parede (1), o tipo e a configuração das aberturas usadas (2) e a localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas (como protetores solares e marquises, por exemplo) (3), (KOENIGSBERGER *et al*, 1974; KUKREJA, 1978; OLGAY, 1998). Tais itens poderiam ser foco das especificações dos Códigos de Obras, visando um melhor aproveitamento da ventilação natural. A importância destas especificações e a relação com os Códigos de Obras serão tratadas a seguir.

### **2.3.3.2. O tamanho e a localização das aberturas**

O tamanho e a localização das aberturas de entrada e de saída do ar influenciam fortemente a velocidade e o padrão de distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes.

A relação entre as aberturas de entrada e saída do ar é de grande importância nos valores de velocidade média nos espaços internos. De uma maneira geral, aberturas de entrada com mesma dimensão das aberturas de saída proporcionam uma melhor distribuição do fluxo de ar e valores da velocidade média mais uniforme nos ambientes, croqui 1.

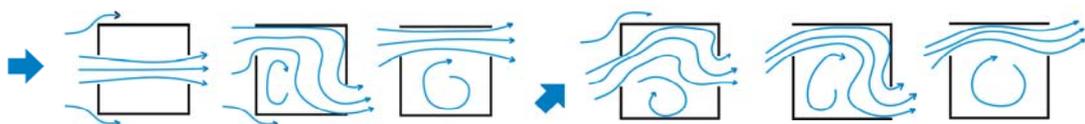


**Croqui 1 - Velocidade interna média em função da relação entre as aberturas de entrada e saída do ar, para incidências do vento de 45 e 90 graus.**

Fonte: GIVONI, 1976.

Quando as aberturas de entrada são maiores que as de saída, a tendência é de um aumento na velocidade do vento devido ao efeito Venturi. Quando o fluido é forçado a passar por uma passagem de saída mais estreita que a de entrada, este acelera para conseguir ultrapassá-lo, sua pressão aumenta à medida que a velocidade cresce. Tal característica pode ser notada em passagens estreitas sob construções altas ou nas proximidades de aberturas pequenas, localizadas em ambientes que possuam amplas aberturas de entrada do vento (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005). Os códigos de obras geralmente desconsideram a relação entre as aberturas de entrada e saída do ar, limitando-se a especificar, exclusivamente, a abertura de entrada, como visto no item 2.1. desta mesma seção.

Dependendo da localização da abertura, a distribuição do fluxo de ar ocorre de forma mais concentrada ou mais distribuída no interior do ambiente, croqui 2. Em geral, uma construção com aberturas distribuídas sobre diferentes fachadas aumentará o potencial para se obter uma adequada ventilação natural, pelo fato de produzir significantes gradientes de pressão em vários pontos da mesma (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005). Dependendo da localização da abertura, a chamada ventilação cruzada, pode ser proporcionada, assim como diminuir a formação de zonas de estagnação do ar.



**Croqui 2 - Padrão de distribuição do fluxo de ar decorrente de diferentes localizações das aberturas de entrada e de saída do ambiente.**

Fonte: GIVONI, 1976.

### **2.3.3.3.O tipo e a configuração da abertura utilizada**

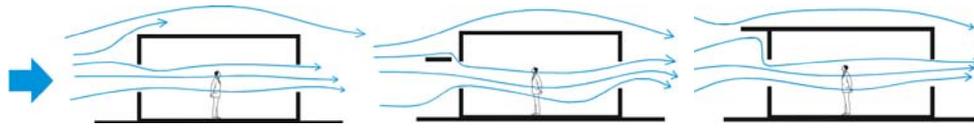
A tipologia da abertura influencia a ventilação dos ambientes por oferecer maior ou menor resistência à passagem do ar. No clima quente e úmido, quanto menor a resistência à passagem do ar e maior for a porosidade da fachada, melhor, visto que, neste tipo de clima, a ventilação é estratégia importante para o conforto ambiental, como visto anteriormente. Nesse sentido, esquadrias que permitam uma maior passagem dos ventos, com menor resistência, são mais eficazes para o clima úmido como o de Maceió.

As esquadrias pivotantes, basculantes e dotadas de venezianas móveis parecem ser constituir em interessante tipologia por permitir a passagem dos ventos, somada ao direcionamento do fluxo do ar, além da possibilidade de integração com o exterior e proteção contra a radiação solar intensa. Por outro lado, esquadrias de pouco controle e direcionamento do fluxo de ar, como as de correr, e com folhas em vidro parecem ser as menos indicadas. Entretanto, esta última tipologia tem sido largamente utilizada nas edificações, especialmente em edificações comerciais e públicas.

Os códigos de obras poderiam contribuir para a adoção de aberturas mais eficientes caso os índices de área de abertura fossem relacionados à porosidade da fachada e não a área de piso do ambiente. Outra possibilidade seria a interligação entre a área da abertura (área efetiva de ventilação, ou seja, aberta) e a taxa de renovações de ar necessárias para o resfriamento do ambiente. Infelizmente, esta segunda opção ainda carece de estudos que indiquem valores adequados para o clima quente e úmido (SANTAMOURIS; ASIMAKOPOULOS, 1997; LI *et al*, 2000; HIRANO *et al*, 2005).

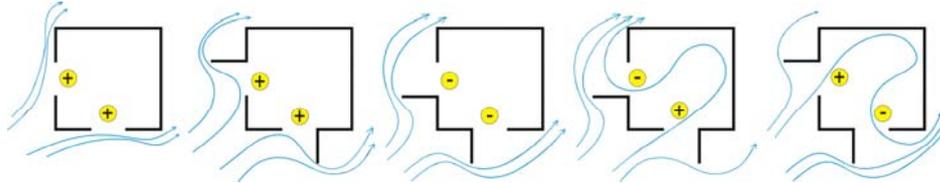
### **2.3.3.4.A presença de componentes arquitetônicos na proximidade das aberturas**

A adoção de componentes horizontais ou verticais na proximidade das aberturas das edificações pode interferir no comportamento da ventilação no interior dos ambientes. A presença de marquises, beirais, protetores solares ou outras projeções semelhantes podem se constituir em elementos redirecionadores do fluxo de ar, croquis 3 e 4.



**Croqui 3 - Efeito das projeções horizontais no fluxo do ar no interior dos ambientes.**

Fonte: OLGAYAY, 1998.



**Croqui 4 - Projeções verticais podem interferir no fluxo de ar no interior dos ambientes, devido à mudança dos campos de pressão nas proximidades das aberturas.**

Fonte: FLEURY, 1990.

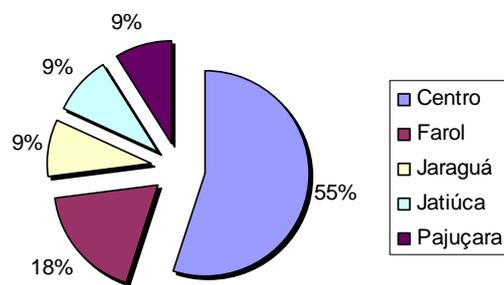
Considerando-se que o sombreamento é uma das estratégias importantes para o clima quente e úmido, a proteção solar decorrente da adoção de elementos horizontais e/ou verticais deve ser cuidadosamente considerada pelos projetistas. Sabe-se que o sombreamento das fachadas das edificações também contribui para aperfeiçoar os sistemas de climatização artificial, especialmente em edificações envidraçadas.

## **2.4. Edificações de escritório em Maceió/AL**

Os edifícios de escritório da cidade de Maceió/AL são caracterizados por construções verticais que abrigam atividades relacionadas aos mais diversos setores da economia, desde profissionais autônomos como advogados e médicos, a empresas da construção civil. Sua localização e data de construção variam ao longo do tempo, de acordo com as centralidades formadas na cidade.

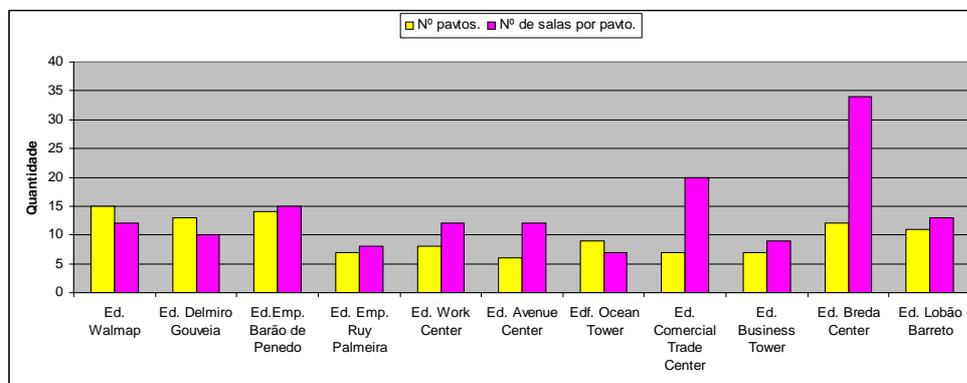
Os edifícios de maior porte (acima de 5 pavimentos) aparecem distribuídos entre os bairros do Centro, Farol e mais recentemente, na Pajuçara e Jatiúca, totalizando 11 unidades na cidade de Maceió. De acordo com os dados do 1º

Relatório do CT-Energ de 2005<sup>4</sup> (ARAÚJO *et al*, 2005), 55% dessa tipologia encontram-se no Centro de Maceió, 18% no Farol e o restante distribuído nos bairros de Jaraguá, Jatiúca e Pajuçara, cada um correspondendo a 9% do total, gráfico 9. O edifício mais antigo é o Ed. Walmap, construído no Centro da cidade em 1965 e o mais recente construído na cidade é o Ed. Business Tower datado de 2003, localizado no bairro da Jatiúca. Em relação ao tamanho das edificações, a quantidade de pavimentos varia entre 7 e 15, sendo a quantidade de salas por andar entre 8 e 34 unidades, gráfico 10



**Gráfico 9 - Distribuição dos edifícios por bairros na cidade de Maceió/AL.**

Fonte: Adaptado do 1º Relatório do CT-Energ, 2005.

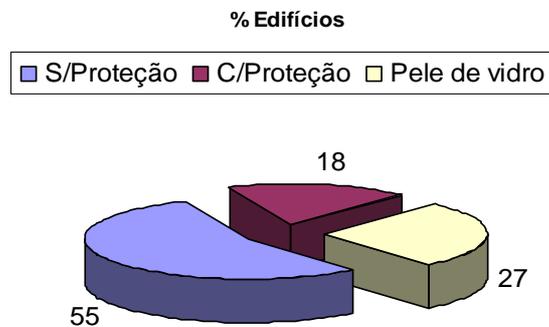


**Gráfico 10 - Gabarito das edificações de escritório associada à quantidade de salas do edifício.**

Fonte: Adaptado do 1º Relatório do CT-Energ 2005.

<sup>4</sup> O texto do 1º Relatório do CT-Energ de 2005 (ARAÚJO *et al*, 2005) será constantemente referenciado nesta seção, pois, trata-se do trabalho mais recente relacionado aos edifícios de escritório da cidade de Maceió/AL. O 1º Relatório trata do levantamento realizado “objetivando avaliar o desempenho térmico das diversas alternativas construtivas de edifícios de escritórios, pretendendo-se propor diretrizes climaticamente adequadas e recomendações para futuras construções desta tipologia, garantindo níveis satisfatórios de conforto e salubridade aos usuários, com a adoção dos princípios bioclimáticos para o projeto arquitetônico”.

Em relação à tipologia construtiva adotada, a preocupação com a adequação ambiental parece não fazer parte do repertório dos projetos (ver apêndice A). Em 55% das edificações não é encontrada nenhum tipo de proteção solar, 27% dos casos a fachada é do tipo pele de vidro e apenas 18% apresentam algum tipo de proteção, gráfico 11 e foto 2. No clima de Maceió, essas edificações funcionam como verdadeiras estufas, aquecendo-se ao longo do dia, sem dissipar o calor acumulado durante a noite e dependem fortemente dos aparelhos de refrigeração artificial para permitir a sua ocupação. Nesses casos, os sistemas de refrigeração podem ser sobrecarregados, consumindo-se mais energia para manter as condições de temperatura internas para os usuários.



**Gráfico 11 - Tipologia de fachada dos edifícios de escritório em Maceió/AL.**

Fonte: Adaptado do 1º Relatório do CT-Energ, 2005.

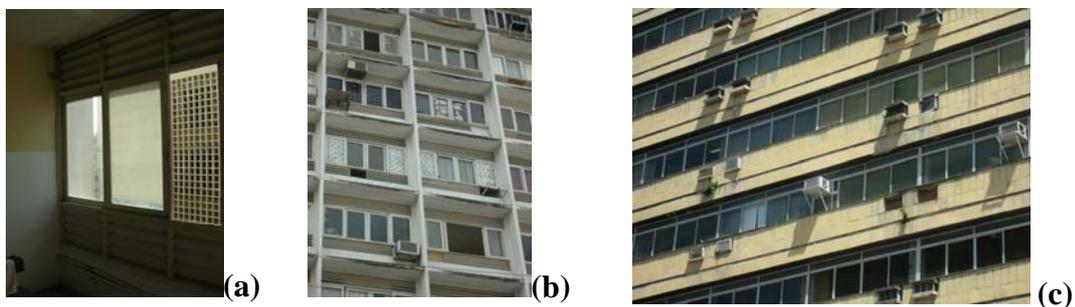


**Foto 2 - Ed. Emp. Ruy Palmeira (a) e Ed. Work Center (b) utilizam dispositivos de proteção solar das fachadas. Ed. Avenue Center no Jaraguá (a) e Ed. Ocean Tower na Pajuçara (b): adotam a “pele de vidro” na suas fachadas.**

Fonte: A autora (2005).

### 2.4.1. Tipologias de esquadrias adotadas

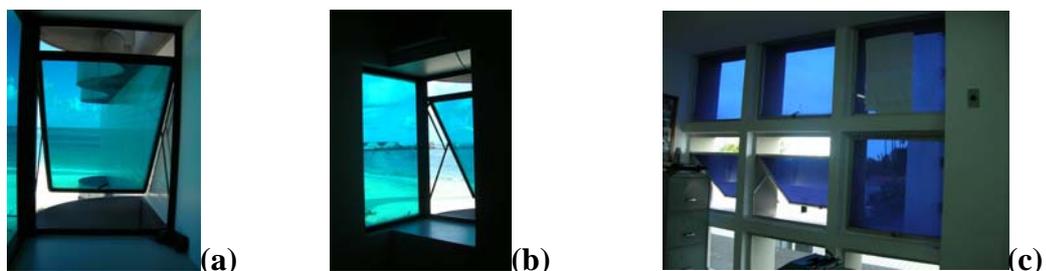
O tipo de esquadria adotada é, em sua maioria, de correr ou maxim-ar, em vidro com caixilhos em alumínio (ver apêndice A). A esquadria de correr não possibilita o adequado direcionamento do fluxo de ar. Outra questão relaciona-se à dificuldade de controle em dias de chuva, quando estas aberturas devem ser completamente fechadas para evitar a entrada de água no interior dos ambientes. O controle da luz é proporcionado por meio de cortinas, persianas e películas, sendo esta a tendência nos edifícios mais recentes, foto 3.



**Foto 3 - Esquadrias de correr não favorecem o controle do fluxo de ar e luz no interior dos ambientes: a e b: Ed. Brêda c: Ed. Delmiro Golveia.**

Fonte: A autora (2005).

A esquadria do tipo maxim-ar possibilita um controle parcial da porosidade da abertura, mas não favorece o direcionamento do fluxo de ar. Por outro lado, o seu tipo de abertura, projetando para o exterior do ambiente, possibilita uma proteção parcial contra a chuva, fotos 4 e 5. Nota-se, entretanto, que tal qualidade poderia ser obtida se as esquadrias fossem dotadas de venezianas móveis, foto 6 e croqui 5.



**Foto 4 - Detalhe das esquadrias maxim-ar e película adotada como forma de proteção da radiação solar: a e b: Ed. Avenue Center; c: Ed. Work Center.**

Fonte: A autora (2005)



(a)



(b)

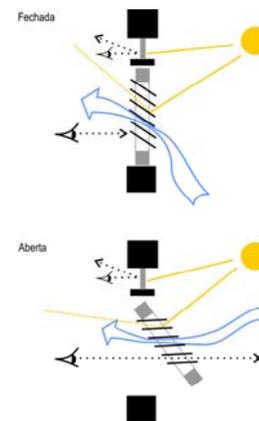
**Foto 5 - Detalhe das esquadrias maxim-ár e película adotadas no Ed. Ocean Tower (a) e Ed. Business Tower (b).**

Fonte: A autora (2005)



**Foto 6 – Janela maxim-ár dotada de venezianas podem auxiliar na ventilação e iluminação natural dos ambientes.**

Fonte: BITTENCOURT, 1993.



**Croqui 5 - Desempenho das janelas maxim-ár dotadas de venezianas.**

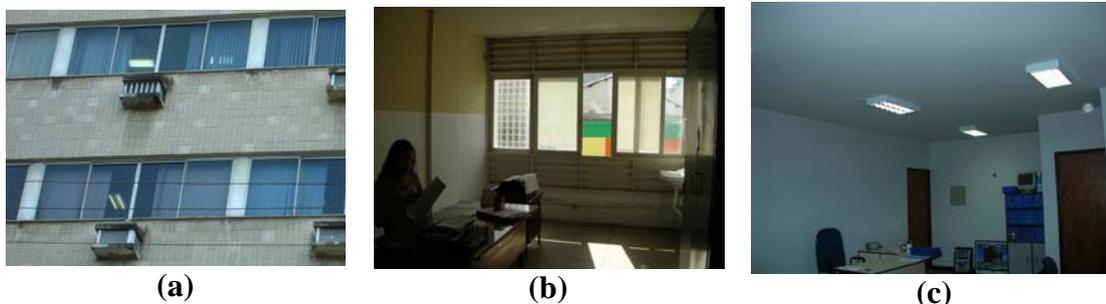
Fonte: BITTENCOURT, 1993.

#### 2.4.2. Sistemas de iluminação e resfriamento adotados

A iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo de energia em edificações de escritório. Estima-se que os sistemas de iluminação e de condicionamento artificial sejam responsáveis por cerca de 70% do consumo de energia destas edificações (ROMERO, 1997). Entretanto, este consumo pode ser diminuído quando as edificações são dotadas de lâmpadas econômicas e sistemas de condicionamento mais eficazes, associada às estratégias de projeto que priorizem o aproveitamento da iluminação e ventilação natural.

Nas edificações de escritório de Maceió, os sistemas de iluminação utilizam lâmpadas econômicas na maioria dos ambientes visitados. Entretanto, a localização, tipo e tamanho das aberturas utilizadas não favorecem o aproveitamento da iluminação natural. A ausência de protetores solares permite a incidência direta de radiação solar no interior dos ambientes, causando desconforto visual por

ofuscamento dos usuários. Tal desconforto é muitas vezes remediado pela adoção de cortinas, persianas e películas nas esquadrias, diminuindo a quantidade de luz disponível no ambiente, fazendo o usuário acionar as lâmpadas, mesmo nos horários onde a iluminação natural poderia ser explorada, foto 7.



**Foto 7 - A ausência de proteção solar associada ao dimensionamento, localização e tipologia de esquadrias não favorece o aproveitamento da iluminação natural. (a) Ed. Walmap; (b) Ed. Brêda; (c) Ed. Avenue Center.**

Fonte: A autora (2005)

Os sistemas de condicionamento artificial são utilizados em todos os ambientes pesquisados. O equipamento adotado na refrigeração dos ambientes é do tipo individual, com uma ou mais unidades por ambiente, o chamado “ar-condicionado de janela”, quadro 3.

Edifício	Tipo de refrigeração	Tipo de esquadria	Proteção solar	Esquadria com película
<i>Edifício Walmap</i>	Ativa	Correr	Não	Não
<i>Edifício Delmiro Golveia</i>	Ativa	Correr	Não	Não
<i>Edifício Emp Ruy Palmeira</i>	Ativa	Maxim-ar	Sim	Não
<i>Edifício Barão de Penedo</i>	Ativa	Correr	Não	Não
<i>Edifício Lobão Barreto</i>	Híbrida*	Correr	Não	Não
<i>Edifício Brêda Center</i>	Híbrida*	Correr	Sim	Parcial
<i>Edifício Work Center</i>	Híbrida*	Maxim-ar	Sim	Sim
<i>Edifício Avenue Center</i>	Híbrida*	Maxim-ar	Não	Sim
<i>Edifício Ocean Tower</i>	Híbrida*	Maxim-ar	Não	Sim
<i>Edifício Trade Center</i>	Ativa	Correr	Não	Sim
<i>Edifício Business Tower</i>	Híbrida*	Maxim-ar	Não	Sim

**Quadro 3 - Tipo de refrigeração e características das esquadrias das edificações de escritório em Maceió/AL.**

\*a refrigeração classificada como híbrida é aquela onde sistemas ativos e passivos são utilizados no ambiente.

O uso de aparelhos de ar condicionado individuais não é o mais adequado para grandes edificações por não utilizar o resfriamento de forma “inteligente”, sendo os sistemas integrados mais adequados para tais casos (PEDRINI, 2003; GRATIA *et al*, 2004). Entretanto, ao passo que permitem um aproveitamento mais eficiente entre a capacidade de resfriamento e o consumo de energia, os sistemas integrados necessitam de cuidados específicos na sua utilização. A limpeza dos dutos, para evitar a proliferação de doenças e a capacidade de controle da temperatura pelo usuário são pontos importantes a serem considerados.

Diante desse contexto, nota-se uma situação preocupante em relação ao modelo de edifícios de escritórios implantados na cidade de Maceió/AL. As questões relacionadas à adequação climática, no que tange à orientação, proteção solar, iluminação e ventilação, precisam ser mais bem equacionadas – ou no mínimo, consideradas – pelos projetistas. As especificações relacionadas aos padrões construtivos, assim como os sistemas de refrigeração e iluminação precisam ser revistos, proporcionando uma relação mais eficiente entre o desempenho desejado o consumo de energia resultante deste.

### **3. METODOLOGIA**

---

Nesta seção será descrita a metodologia adotada no desenvolvimento do trabalho e está dividida em duas partes. Na primeira, são descritas as tipologias de escritório investigadas e as suas características arquitetônicas, assim como a metodologia adotada e os parâmetros relacionados ao Código de Obras incorporados ao trabalho. A segunda parte é dedicada a explicar a ferramenta de investigação utilizada no trabalho, suas características gerais, pontos positivos e negativos.

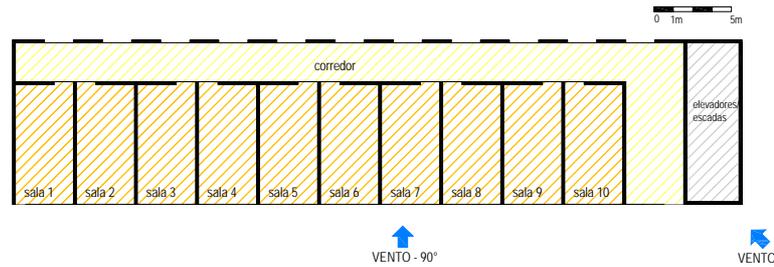
#### **3.1. Metodologia e tipologias de edificações de escritório analisadas**

A metodologia desenvolvida nesse trabalho constitui em uma análise comparativa entre o desempenho das edificações de escritório e as especificações de área de abertura do Código de Obras de Maceió/AL.

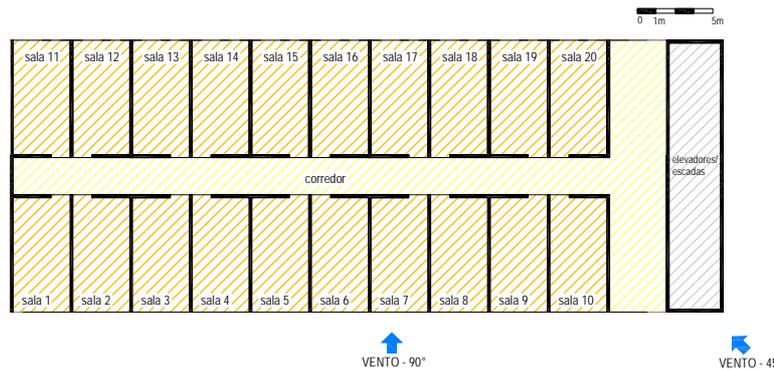
Para este trabalho, serão adotadas as especificações do Código de Obras de 1985, buscando-se retratar a situação recente nas edificações de escritório atuais. As recomendações baseiam-se na área de piso do ambiente, como foi explicado anteriormente, na seção 2. O Código de Obras de 2004, por sua vez, recomenda a adoção das especificações da ABNT relacionadas à ventilação natural. Entretanto, as especificações da NBR 15220-3 de 2005 relacionam-se as recomendações para a manutenção da salubridade dos ambientes de trabalho. Dessa forma, portanto, a área efetiva para a ventilação a ser utilizada após esse Código de Obras é de difícil previsão. As especificações adotadas nesse trabalho serão mais detalhadas a seguir.

##### **3.1.1. Tipologias arquitetônicas investigadas**

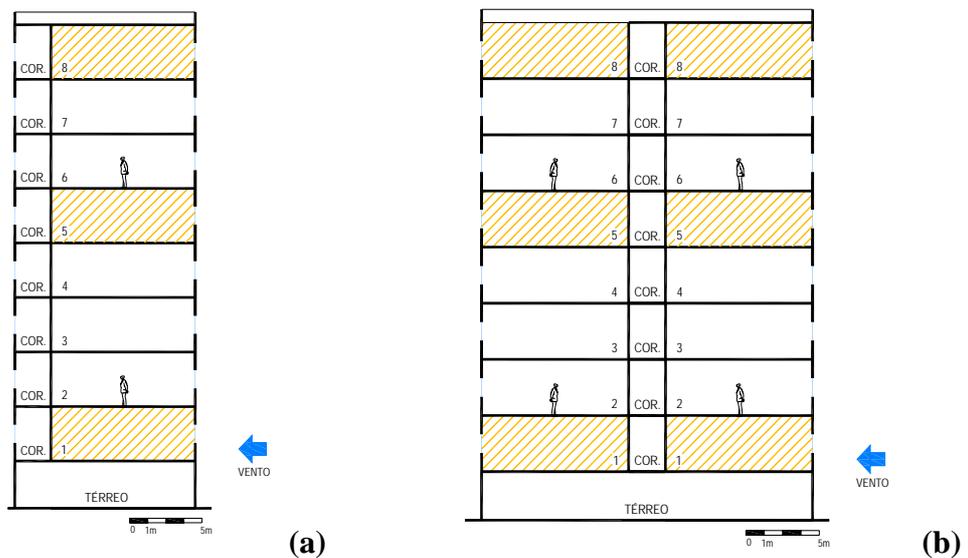
As tipologias de edificações definidas a partir do trabalho de campo foram agrupadas em dois tipos (ver apêndice A). O tipo 1 corresponde aos edifícios com as salas distribuídas e um dos lados do corredor. No tipo 2, as salas encontram-se dispostas em ambos os lados do corredor, croquis 6, 7 e 8.



**Croqui 6 - Planta baixa modelo tipo 1 – Corredor lateral.**



**Croqui 7 - Planta baixa modelo do tipo 2 – Corredor central.**



**Croqui 8 - (a) Corte A-A' modelo do tipo 1 - Corredor lateral; (b) modelo do tipo 2 - Corredor central**

Em ambos os grupos, será considerado um edifício com 8 pavimentos por representar a altura média das edificações construídas na cidade de 1982 até 2003, visto que estas seguem a especificação do Código de 1985. Serão investigadas as salas correspondentes ao 1º, 5º e 8º pavimentos, que correspondem, respectivamente,

ao pavimento mais baixo, a um pavimento localizado na altura média, e ao pavimento mais alto. Busca-se uma avaliação mais ampla do comportamento da ventilação no interior dos ambientes devido à variação na velocidade do vento, decorrente do gradiente de vento, nos diversos pavimentos, croqui 8.

O cálculo do gradiente de vento engloba os coeficientes de rugosidade do terreno, os dados da velocidade do vento (medido na estação meteorológica) e a altura das aberturas. É importante para determinação do valor da velocidade do vento na altura do plano da janela, incluindo com as correções devidas, principalmente do entorno (MOESEKE *et al*, 2004). Para este trabalho, o gradiente de vento foi calculado para edificações localizadas no centro de cidade, conforme mostra o quadro 4.

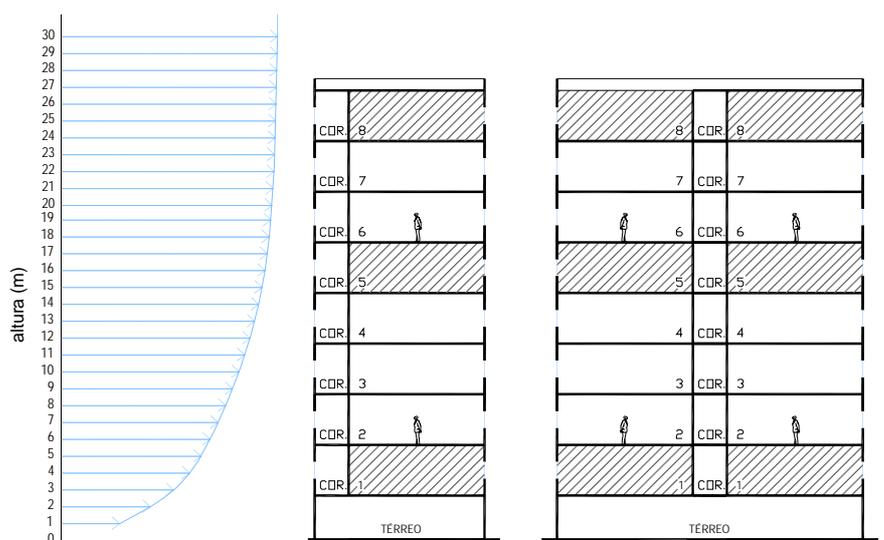
Coeficientes do terreno	k	a	$\frac{V}{V_m} = k \times z^a \quad \text{[Eq. 02]}$ <p><b>Onde:</b>  V = velocidade média do vento na altura da abertura da entrada do ar (m/s)  V<sub>m</sub> = velocidade média do vento na estação meteorológica  z = altura da abertura  k, a = coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno.</p>
Área aberta plana	0,68	0,17	
Campo com obstáculos esparsos	0,52	0,20	
Área suburbana	0,35	0,25	
Centro de cidade	0,21	0,33	

**Quadro 4 - Coeficientes de correção e fórmula para o cálculo do gradiente de vento.**

Fonte: JACKMAN, 1980 *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005.

Considerou-se a variação da velocidade do vento ocorre a cada 1,00m, até atingir 30m, quadro 4. A velocidade média do vento medida na estação meteorológica (V<sub>m</sub>) considerado foi de 3,00m/s conforme dados da estação do aeroporto da cidade de Maceió/AL situado a 10m de altura. Os coeficientes de correção do terreno utilizados foram k = 0,21 e a = 0,33, quadro 5.

Foram adotados dois ângulos de incidência dos ventos, de 45° e 90°, correspondendo à incidência normal à fachada e a oblíqua à mesma. No caso dos ventos incidindo paralelamente à fachada, o potencial de ventilação natural é extremamente reduzido devido à pequena diferença de pressão entre as aberturas de entrada e de saída do ar, sendo, portanto, desconsiderado nesse trabalho.

centro de cidade:  $k = 0,21$   $a = 0,33$ 

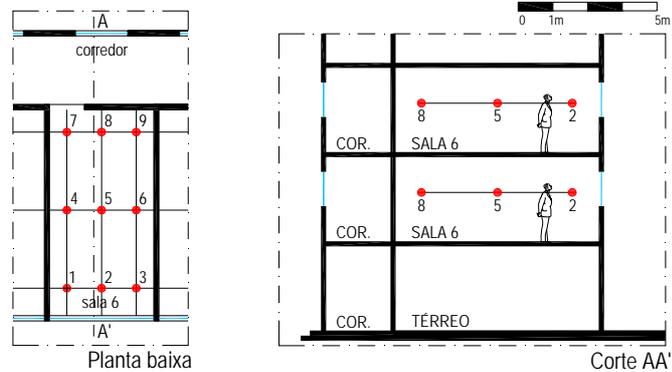
Altura (m)	Vel. (m/s)	Altura (m)	Vel. (m/s)	Altura (m)	Vel. (m/s)	Altura (m)	Vel. (m/s)	Altura (m)	Vel. (m/s)
1	1,00	7	1,88	13	2,26	19	2,54	25	2,77*
2	1,36	8	1,95	14	2,31	20	2,58	26	2,80
3	1,49	9	2,02	15	2,36	21	2,62	27	2,84
4	1,60*	10	2,09	16	2,41*	22	2,66	28	2,87
5	1,70	11	2,15	17	2,45	23	2,70	29	2,90
6	1,80	12	2,20	18	2,49	24	2,73	30	2,93
	*Velocidade externa nos pavimentos de análise - 1°, 5° e 8°.								

**Quadro 5 - Valores da velocidade do vento obtidos para o gradiente.**

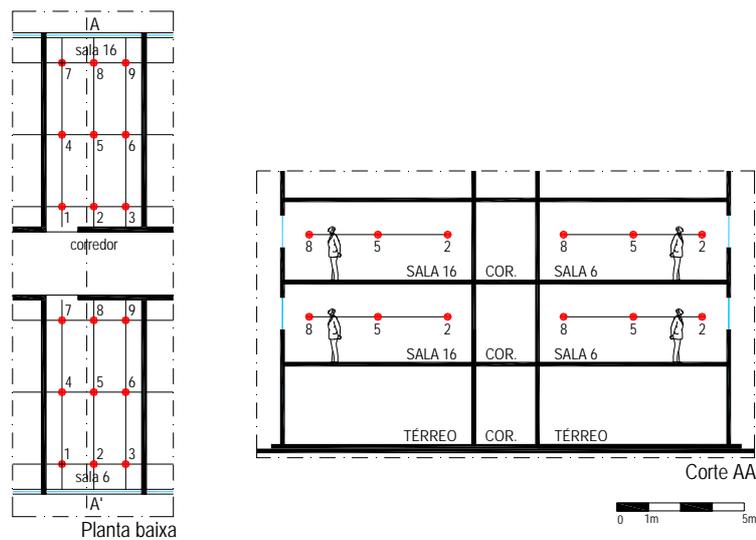
Os resultados serão analisados com o auxílio de uma malha composta por nove pontos distantes 1,50m do piso do ambiente em todas as salas estudadas. A altura do plano de análise foi determinada em 1,50m por corresponder à metade do pé-direito do ambiente. Desta forma a velocidade do vento pode ser analisada tanto para o resfriamento dos usuários quanto da envolvente. Esta malha servirá para a tabulação da velocidade do vento em cada ponto da sala e para cálculo da velocidade média no interior da mesma, croquis 9 e 10.

O valor da velocidade do vento considerada como a “ideal” para os ambientes foi entre 0,60m/s e 1,50m/s, conforme proposto por Aynsley (1999) e

Bittencourt (1993). As tabelas aparecem acompanhadas de uma legenda onde a hachura azul corresponde aos valores acima de 1,50m/s e a laranja para as velocidades abaixo de 0,60m/s.



**Croqui 9 – Malha de análise adotada para o modelo do tipo 1 (corredor lateral).**



**Croqui 10 – Malha de análise adotada para o modelo do tipo 2 (corredor central).**

### 3.1.2. Áreas e tipologias das aberturas investigadas

As especificações seguintes correspondem às recomendações arquitetônicas encontradas nos Código de Obras de Maceió de 1985 para edificações comerciais<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> O Código de Edificações de Maceió de 1985 classifica as edificações de escritório como edificações comerciais como explicitado na Subseção VI, Das edificações destinadas a Centros Comerciais, “as

As recomendações tratam das áreas mínimas que devem ser destinadas à iluminação e à ventilação dos ambientes, sendo relacionadas à área de piso, quadro 6.

Ambiente	Área mín. (m <sup>2</sup> )*	Área mín. para iluminação (m <sup>2</sup> )*	Área mín. para ventilação (m <sup>2</sup> )*	Pé-direito (m)
<i>Salas, consultórios</i>	12,00	1/6	1/12	2,50
<i>Lojas, sobrelojas</i>	12,00	1/8	1/12	2,50
<i>Escritórios</i>	18,00	1/6	1/12	2,60

\*em relação à área de piso do ambiente

#### Quadro 6 - Condições arquitetônicas de Edificações Comerciais.

Fonte: MACEIÓ (1985).

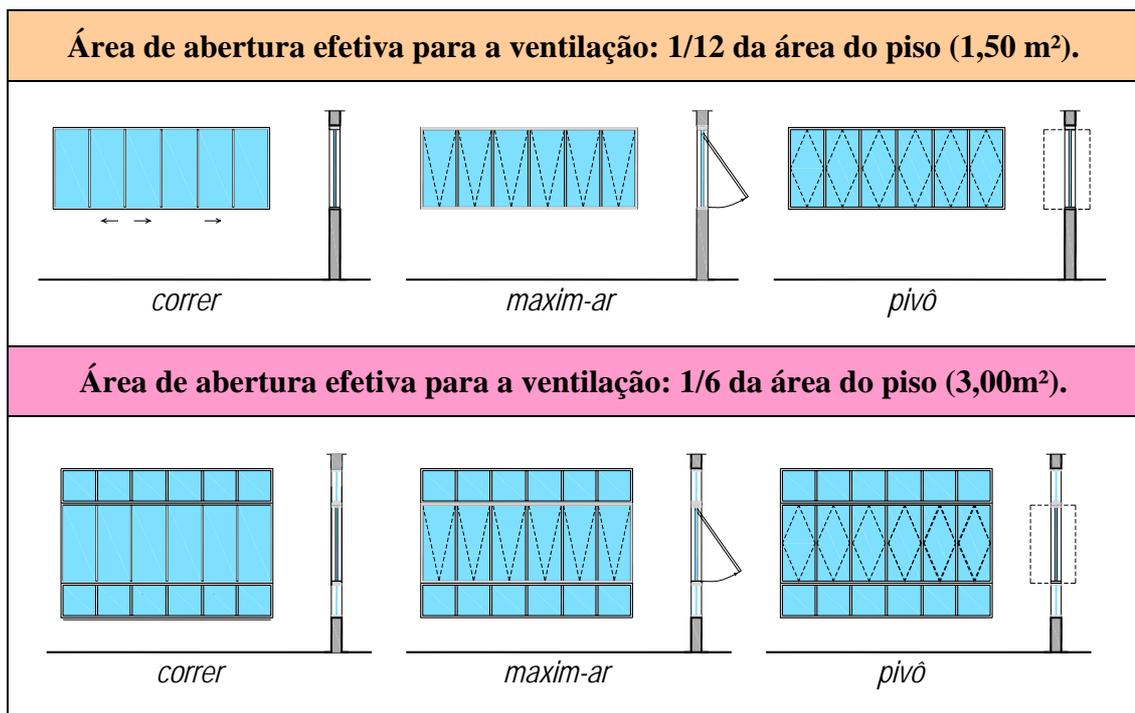
As especificações relativas às áreas de aberturas foram incorporadas nas duas tipologias de edifício investigadas. Em um primeiro momento serão investigadas as especificações do Código de Obras para a **área mínima de ventilação, de 1/12 da área do piso do ambiente**, conforme apresentado no quadro 4. Em um segundo momento será analisado o desempenho do ambiente com área destinada à ventilação de **1/6 da área de piso**, quadro 6. Dessa forma, pretende-se investigar o impacto do aumento da porosidade na distribuição do fluxo de ar, assim como nos valores médios da velocidade do vento ao dobrar a área de abertura efetiva.

Os modelos das salas investigadas têm área de 18m<sup>2</sup> (3,00 x 6,00m), pé-direito de 2,60m e janela centralizada na parede voltada para o exterior, com a dimensão de 1,10 x 3,00m, com peitoril de 1,10m e bandeira de 0,50 x 3,00m. Dessa dimensão será considerada 1/6 da área do piso como área efetiva para ventilação (3,00 m<sup>2</sup>) e depois 1/12 ou 1,50 m<sup>2</sup>, quadros 8 e 9. Como abertura de saída será considerada a porta da sala sempre aberta para as aberturas de entrada e de saída do ar, sendo esta uma das principais condições para o aproveitamento da ventilação nos ambientes internos.

---

edificações destinadas a centros comerciais deverão subordinar-se às seguintes normas, além das estabelecidas para as edificações em geral... situarem-se por pavimentos distintos os compartimentos destinados ao exercício de comércio e escritório em geral..." (MACEIÓ, 1985).

Foram utilizados três tipos de esquadrias: a de *correr*, *maxim-ar* e *pivô vertical*, quadro 7. As duas primeiras correspondem à tipologia mais frequentemente utilizadas nas edificações de escritório visitadas, como explicados no item 3.1 desta mesma seção. O terceiro tipo investigado, a esquadria pivô vertical, embora não seja a tipologia utilizada na maioria das edificações de escritório, oferece uma menor resistência à passagem do ar e a possibilidade de direcionamento do fluxo do ar. Entretanto, tal potencialidade não tem sido devidamente explorada.

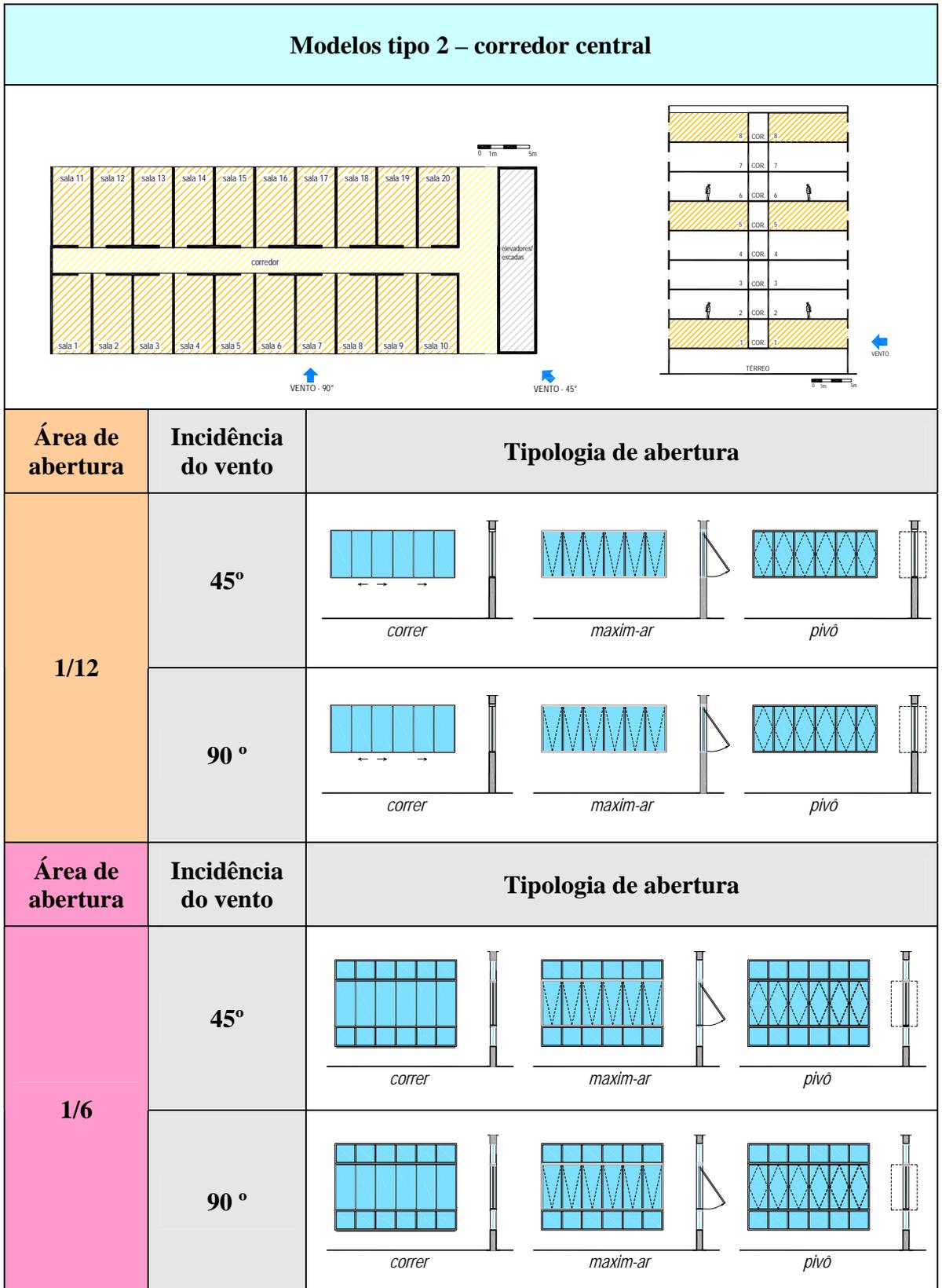


**Quadro 7 - Tipologias de esquadria de esquadrias investigadas.**

Foram comparadas as três esquadrias em relação ao seu desempenho qualitativo e quantitativo, no que concerne à ventilação natural. Tal informação pode ser importante para o melhor entendimento do impacto da modificação do tipo de esquadria na distribuição e na velocidade do ar no interior dos ambientes de escritório, para uma mesma área de abertura utilizada.

Modelos tipo 1 – corredor lateral		
Área de abertura	Incidência do vento	Tipologia de abertura
1/12	45°	
	90°	
Área de abertura	Incidência do vento	Tipologia de abertura
1/6	45°	
	90°	

Quadro 8 - Resumo das variáveis investigadas para o modelo do tipo 1 – corredor lateral.



**Quadro 9 - Resumo das variáveis investigadas para o modelo do tipo 2 – corredor central.**

### 3.2.A ferramenta de investigação

A análise comparativa entre os modelos definidos foi desenvolvida através de simulações computacionais. Tal processo, em que pese a inevitável simplificação do fenômeno real, permite uma comparação mais precisa entre os modelos considerados, uma vez que os demais parâmetros envolvidos na ventilação natural podem ser mantidos exatamente iguais em todos os modelos investigados.

O desempenho dos modelos analisados foi examinado através da ferramenta computacional PHOENICS 3.6. O programa vem sendo desenvolvido e atualizado com novas versões desde 1981, sendo destinado a cientistas, engenheiros, arquitetos, especialistas em meio ambiente, professores e estudantes (PHOENICS *Hard-copy Documentation*, 2005).

O programa baseia-se na dinâmica dos fluidos computadorizada (*CFD*), que surgiu como ferramenta alternativa aos tradicionais túneis de vento nos estudos de ventilação natural nas edificações. A técnica da dinâmica dos fluidos computadorizada vem sendo desenvolvida e utilizada para fins de investigação do comportamento da ventilação há duas décadas e possui bom potencial para as pesquisas relacionadas a este assunto (CHOW, 2003).

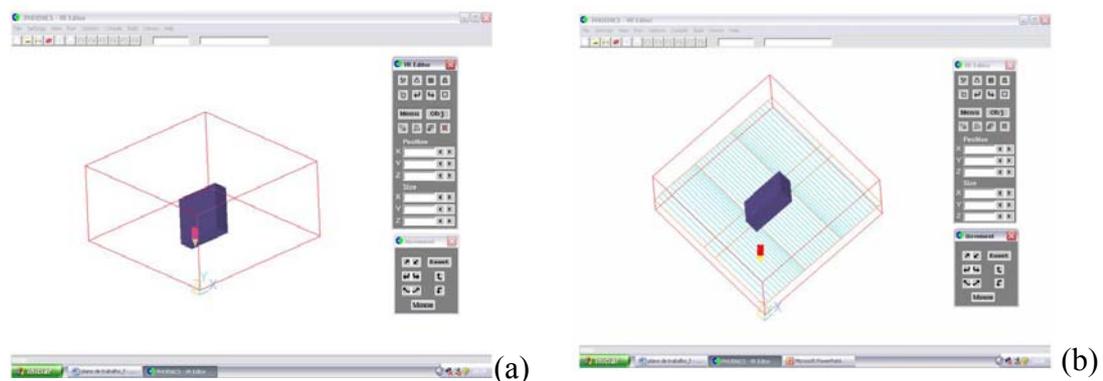
O *software* permite investigações de dinâmicas dos fluidos, transferência de calor, combustão, *design* de elementos, inclusive edificações (PHOENICS *Hard-copy Documentation*, 2005). Para esse trabalho, a ferramenta mostra-se interessante por permitir a comparação do efeito proporcionado por cada uma das tipologias examinadas, fixando variáveis como a direção e velocidade do vento, fatores estes de difícil monitoramento em trabalhos de medição em edifícios reais.

O PHOENICS 3.6 possui os módulos de construção tridimensional dos modelos, VR-Editor e Satellite, o de simulação EARTH e os de visualização de resultados Photon e VR-Viewer. Nesse trabalho optou-se por construir os modelos no VR-Editor, simular no EARTH e visualizar os resultados no VR-Viewer, por estes serem os módulos mais adequados para os objetivos desse trabalho.

O módulo de construção VR-EDITOR simula os modelos em ambiente tridimensional, considerando o edifício estudado no interior de um campo virtual. Neste ambiente são estabelecidas as especificações relacionadas à entrada (*inlet*) e

saída (*outlet*) do fluido, velocidade e direção do fluido, e grelhas de cálculo (*grid*), imagem 1a.

A grelha de cálculo pode ser refinada para menores espaçamentos nas áreas onde é buscada uma maior precisão na análise e cálculo do fenômeno. Nas áreas onde a análise e cálculo não requerem grande precisão, ou não é enfoque da investigação, a grelha pode receber um maior espaçamento, contribuindo para uma maior velocidade de simulação imagem 1b.

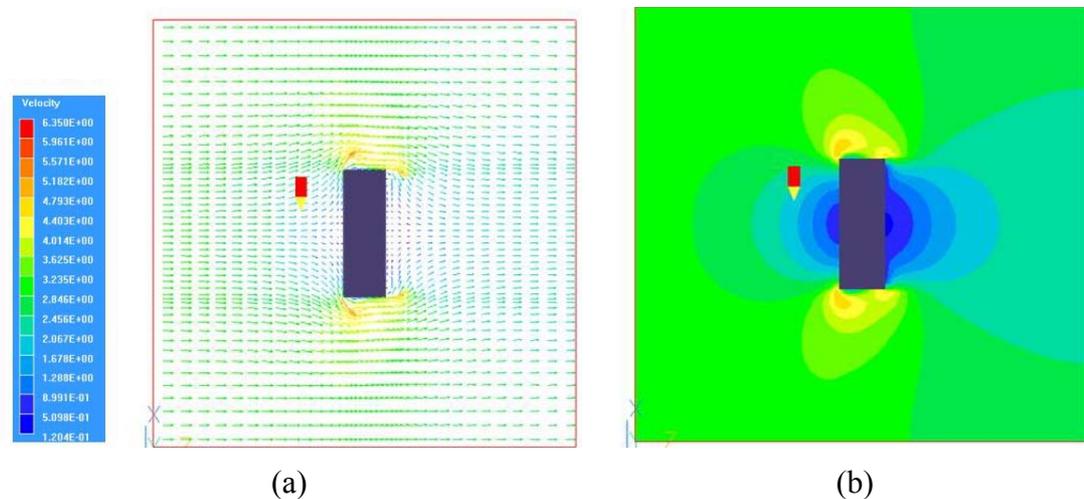


**Imagem 1 - Visualização do modelo no PHOENICS 3.6, módulo de construção VR-Editor. (a) edifício e caixa tridimensional; (b) malha de cálculo.**

Dentro do domínio estabelecido, insere-se a edificação propriamente dita. Após a construção do modelo, são definidos os itens relacionados às características do fluido e a malha de cálculo, principalmente, a fórmula de cálculo mais adequada para a investigação e o parâmetro de relaxamento que influencia na precisão e na velocidade de processamento do modelo.

Após o processamento dos cálculos, os resultados podem ser visualizados sob a forma de vetores, campos de velocidade ou isolinhas, no módulo de visualização VR VIEWER. Os resultados podem ser visualizados em relação à velocidade do vento, no interior e no exterior da edificação, proporcionando uma análise em relação à velocidade e distribuição do fluxo de ar nas edificações. Os valores são mostrados em uma escala que relaciona cada cor à velocidade do vento, imagem 2. Tal escala é determinada automaticamente pelo programa para a melhor visualização dos vetores na tela, estabelecendo para tal o menor e o maior valor da

velocidade do vento. Estes valores podem ser adequados pelo usuário de forma a atender a necessidades do mesmo valor da velocidade máxima, por exemplo.



**Imagem 2 - Visualização dos resultados no módulo VR-Editor: (a) planta baixa com vetores de velocidade; (b) planta baixa com os campos de velocidade.**

O programa utilizado nesta pesquisa encontra-se entre as ferramentas mais avançadas na investigação do comportamento da ventilação natural (CHOW, 2003). Suas maiores dificuldades relacionam-se ao tempo de aprendizado para o domínio da ferramenta, entendimento das variáveis envolvidas no problema investigado e o tempo de simulação dos modelos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

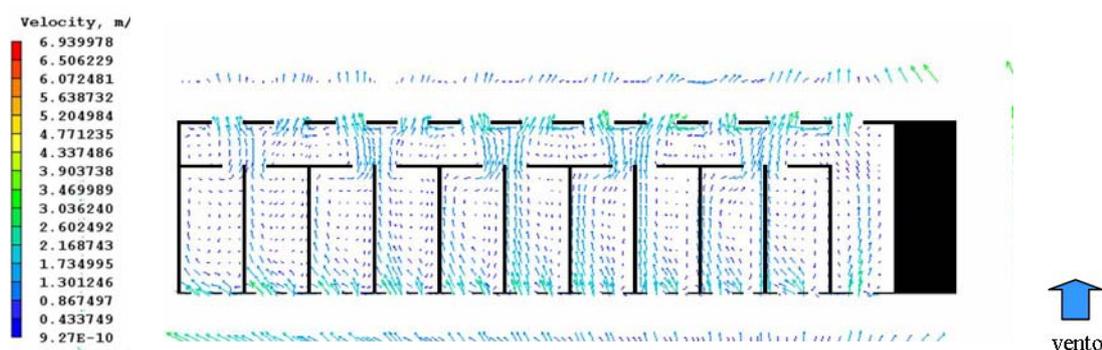
Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nas simulações computacionais desenvolvidas, bem como a discussão dos mesmos. A seção foi dividida em duas partes: a primeira corresponde aos edifícios de escritório com o corredor lateral (Tipo 1) e o segundo aos edifícios com corredor central (Tipo 2).

### 4.1. Tipo 1 – Edificações de escritório com corredor lateral

#### 4.1.1. Área de abertura de 1/12 da área do piso – incidência do vento: 45°

##### 4.1.1.1. Esquadria de correr

De uma maneira geral, a distribuição do fluxo de ar obedeceu a comportamento semelhante nas salas. Devido ao ângulo de incidência do vento, o insuflamento de ar alcança a faixa correspondente aos pontos 1, 4 e 7 de forma mais concentrada. Na faixa central do ambiente, constata-se a formação de uma zona de recirculação do ar, com a presença de vórtices, esquema 1. Estes vórtices capturam a energia cinética das faixas adjacentes para permanecerem em constante circulação, diminuindo a velocidade do vento no ambiente.

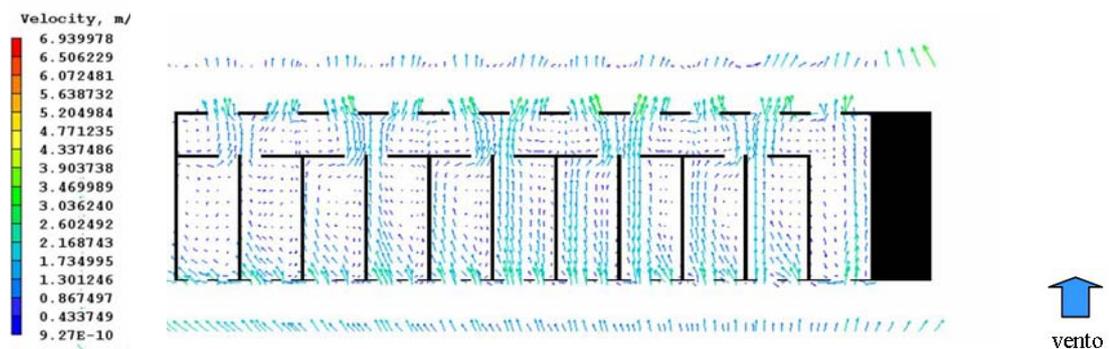


**Esquema 1 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

No quinto pavimento, nas salas 1, 2, 3 e 4, a distribuição do fluxo de ar apresentou-se concentrada na proximidade nas janelas (pontos 1, 2 e 3) e na lateral da sala (ponto 4), esquema 2. Nos demais pontos o insuflamento de ar apresenta-se

em menor intensidade e com a formação de vórtices. A partir da sala 5, a distribuição do fluxo de ar apresenta uma melhoria. Devido ao ângulo de incidência do vento, o insuflamento é concentrado na faixa que compreende os pontos 4 e 7.

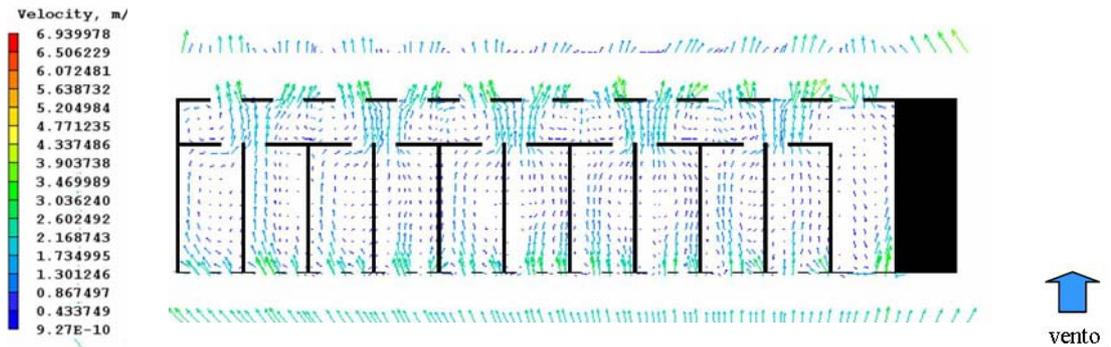
Em relação aos valores da velocidade média por ponto, todas as salas apresentaram 1,30m/s no ponto 1, 0,86m/s nos pontos 2, 3 e 4. Nos pontos 5 e 6 a velocidade foi de 0,43m/s em todas as salas. O ponto 7 apresentou a velocidade de 0,43m/s nas salas 1 a 4, 9 e 10. Nas salas 5 a 8, a velocidade elevou-se para 0,86m/s. Nos pontos 8 e 9 a velocidade foi de 0,43m/s, tabela 1.



**Esquema 2 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

No oitavo pavimento, a velocidade média nas salas 1 a 4 foi de 0,67m/s, elevando-se para 0,72 m/s nas salas 5, 7 e 8 e 0,77 na sala 6. Nas salas 9 e 10, a média foi de 0,67m/s, tabela 1. A média nas salas 1 a 4, correspondem a 28% do valor da velocidade do vento externa 22% nas salas 5, 7 e 8. Na sala 6, este percentual é de 32% e 28% nas salas 9 e 10.

Em relação à distribuição do fluxo de ar, nota-se uma maior formação de zonas de vórtices, em relação ao primeiro e quinto pavimentos, esquemas 15, 16 e 17. O insuflamento de ar ocorre em menor intensidade e concentra-se na faixa correspondente aos pontos 1, 2 e 3, próximo às janelas. A área de abertura proporcionada pela esquadria de correr favorece a concentração do insuflamento de ar, intensificando a zona de formação de vórtices onde a folha da esquadria permanece fixa, esquema 3.



**Esquema 3 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

**Tabela 1 – Velocidade do vento do modelo com corredor lateral e esquadria de correr - Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

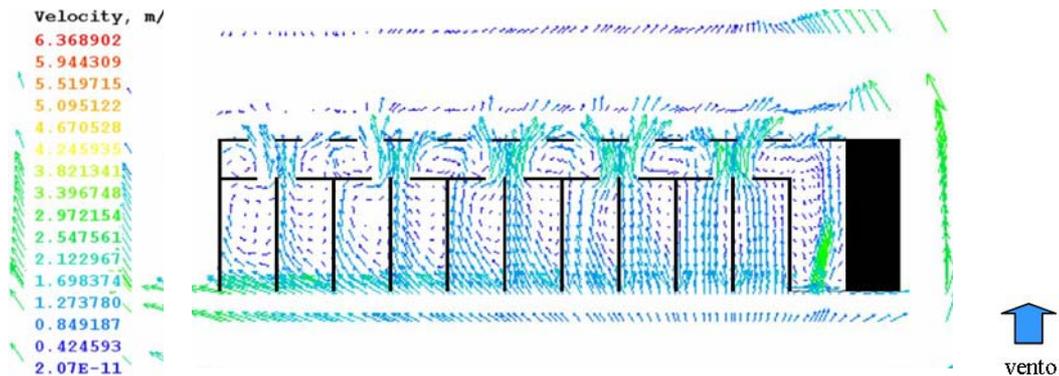
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 4,5m (1º Pavimento)									Vel. média (m/s).	% Vel. externa (1,60m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,30	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,62	39
2	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	42
3	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	42
4	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	42
5	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	42
6	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	45
7	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	45
8	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	45
9	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	39
10	1,30	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,57	36
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 16,5m (5º Pavimento).									Vel. média (m/s).	% Vel. externa (2,41m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
2	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
3	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
4	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
5	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	30
6	1,30	0,86	0,86	0,86	0,86	0,43	0,86	0,43	0,43	0,77	30
7	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	30
8	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	30
9	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
10	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	28
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 22,5m (8º Pavimento).									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,77m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	24
2	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	26
3	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,72	26
4	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,86	0,43	0,43	0,43	0,72	26
5	1,30	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,77	28
6	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	24
7	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	24
8	1,30	0,86	0,43	0,86	0,43	0,43	0,86	0,43	0,43	0,67	24
9	1,30	0,86	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,67	24
10	1,30	0,86	0,86	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,62	22

	acima de 1,50m/s
	abaixo de 0,60m/s

#### 4.1.1.2. Esquadria maxim-ar

As salas 1, 2 e 3, do primeiro pavimento, o insuflamento de ar ocorreu de forma concentrada na faixa das aberturas de entrada, correspondente aos pontos 1, 2 e 3 e nos pontos 4 e 7, semelhante ao modelo com esquadrias de correr, esquemas 1 e 4.



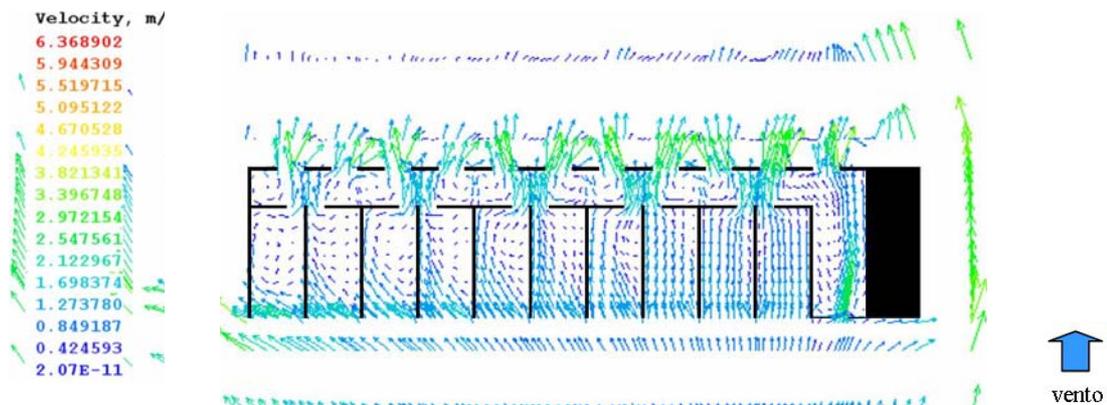
**Esquema 4 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

Nas salas 5 a 10, a distribuição do fluxo de ar ocorreu de forma mais uniforme em relação ao modelo onde foram utilizadas esquadrias de correr. Considerando-se que as esquadrias de correr possuem folhas fixas e móveis, ocorre uma concentração do insuflamento de ar onde estas se encontravam abertas, esquema 1. Entretanto, nos modelos dotados de esquadrias maxim-ar, para se obter a mesma área efetiva de abertura (1,50m<sup>2</sup>), todas as folhas foram consideradas abertas (ver metodologia), resultando em uma distribuição mais uniforme do insuflamento de ar no interior das salas, esquema 4.

O valor da velocidade do vento no ponto 1 foi 1,69 m/s nas salas 1 e 2 e 1,27m/s nas demais. Nos pontos 2 e 3, em todas as salas, a velocidade foi de 1,27m/s. No ponto 4 da sala 1, a velocidade foi de 0,84m/s e elevou-se para 1,27 m/s no mesmo ponto dos demais ambientes. No ponto 5 nas salas 1 a 6 a velocidade foi de 0,42m/s, elevando-se para 1,27m/s nas salas 8 a 10. No ponto 6, nas salas 1 a 8, o valor foi de 0,42m/s e 1,27m/s nas salas 9 e 10. O ponto 7 apresentou velocidade de 0,42m/s na sala 1 e 1,27m/s nas demais. Nas salas 1 a 6, o valor da velocidade no

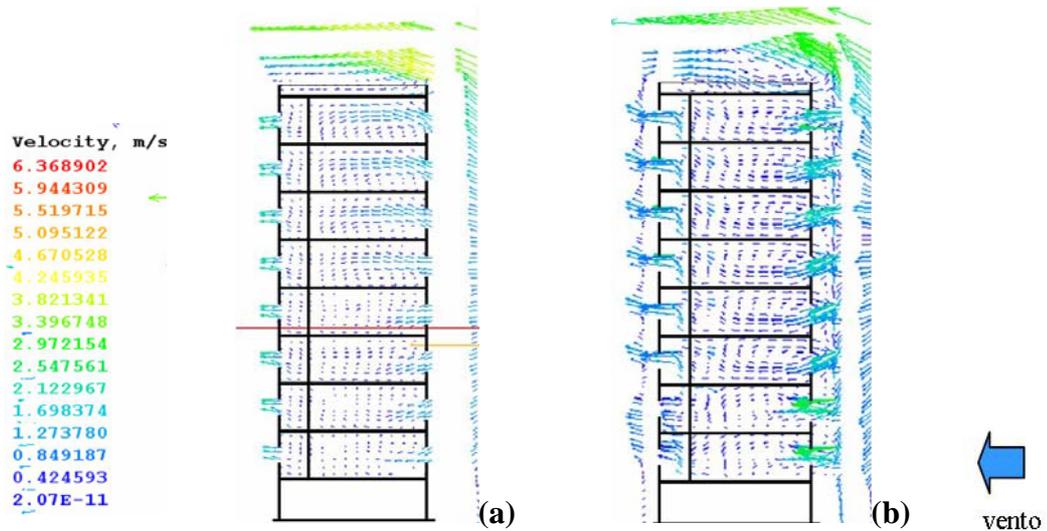
ponto 8 foi 0,42m/s e 1,27m/s nas salas 7 a 10. Nas salas 1 a 8 e 9 o valor no ponto 9 foi de 0,42m/s e 1,27m/s na sala 9, tabela 2.

No quinto pavimento, a distribuição do fluxo de ar ocorreu de forma semelhante ao primeiro pavimento, esquemas 4 e 5. Entretanto, ao analisarmos os valores da velocidade do vento em cada ponto do ambiente e o percentual de aproveitamento da velocidade do vento externa, constata-se uma diminuição significativa em relação ao primeiro pavimento, tabelas 8 e 9.



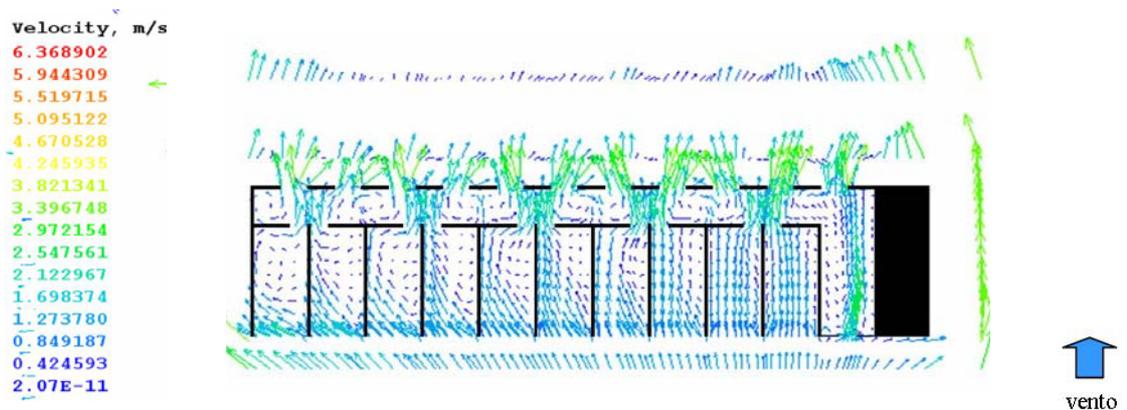
**Esquema 5 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

A velocidade média nas salas 1 a 4 foi de 0,64m/s e 0,65m/s nas salas 5 e 6, correspondendo a 25% e 27% do vento externo neste pavimento, que é de 2,41m/s, tabela 2. A média na sala 7 foi de 0,70m/s, 0,75m/s na sala 8 e 0,84m/s nas salas 9 e 10. Nestes ambientes o percentual de aproveitamento da velocidade do vento externa foi de 44% na sala 7, 47% na sala 8 e 53% nas salas 9 e 10. Entretanto, ao compararmos os valores do percentual de aproveitamento da velocidade do vento externa com aqueles obtidos nas mesmas salas no primeiro pavimento, contata-se o impacto decorrente da utilização de esquadrias do tipo maxim-ar, tabelas 6 e 9.



**Esquema 6 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria de correr (a) e maxim-ar (b), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

No oitavo pavimento, o obstáculo gerado pela abertura da esquadria maxim-ar é compensado pela componente ascendente, resultante do comportamento do fluido ao ultrapassar a edificação, esquema 4b. A distribuição do fluxo de ar ocorre de forma um pouco mais uniforme em relação ao primeiro e quinto pavimento, esquemas 3, 5 e 7. A média de velocidade do vento no interior das salas 1 e 3 foi de 0,61m/s, decrescendo para 0,56m/s na sala 2. Nas salas 5 a 8 a velocidade foi de 0,70m/s e 0,84m/s nas salas 9 e 10, tabela 2.



**Esquema 7 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

**Tabela 2 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento). Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

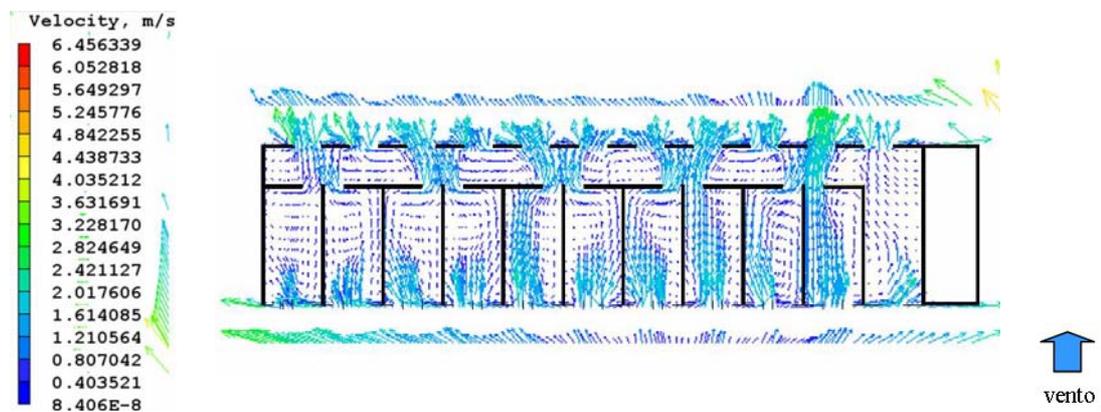
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 4,5m (1º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (1,60m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,69	1,27	1,27	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,80	50
2	1,69	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	0,42	0,42	0,90	56
3	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	0,42	0,42	0,89	56
4	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	0,42	0,42	0,89	56
5	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	0,42	0,42	0,89	56
6	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	0,42	0,42	0,89	56
7	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	0,42	1,27	1,27	0,42	0,99	62
8	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	1,27	1,27	0,42	1,08	69
9	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	79
10	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	0,42	1,18	74
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 16,5m (5º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,41m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,27	0,84	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	25
2	1,27	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	25
3	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	25
4	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	25
5	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,84	0,42	0,42	0,65	27
6	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,84	0,42	0,42	0,65	27
7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,70	29
8	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,75	31
9	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	35
10	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	35
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 22,5m (8º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,77m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,27	0,84	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	22
2	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,56	20
3	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,61	22
4	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,42	0,84	0,42	0,42	0,65	24
5	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,70	25
6	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,70	25
7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,70	25
8	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,42	0,84	0,42	0,42	0,70	25
9	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	30
10	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	30

	acima de 1,50m/s
	abaixo de 0,60m/s

#### 4.1.1.3. Esquadria de pivô vertical

No primeiro pavimento a distribuição do fluxo de ar foi favorecida na faixa central do ambiente, correspondendo aos pontos 2, 5 e 8. Nas salas 1 a 4 constata-se a formação de vórtices nos pontos 4 a 9, mas em menor intensidade ao ser comparado aos modelos com esquadrias de correr e maxim-ar, esquemas 15, 18 e 22.

Nas salas 5 a 10, o insuflamento de ar proporcionado pela abertura de entrada alcança aproximadamente 2/3 do ambiente, apresentando zonas de vórtices na faixa lateral do ambiente. O posicionamento da zona de vórtice depende da localização da abertura de saída (porta), esquema 8.



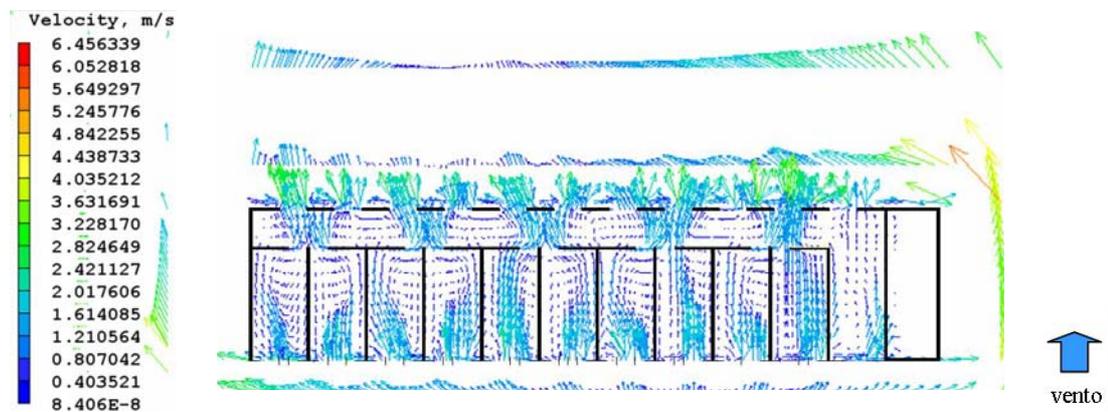
**Esquema 8 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

O comportamento da distribuição do fluxo do ar, como menor formação de vórtices, favoreceu o registro de maiores valores da velocidade do vento no interior do ambiente. A média na sala 1 foi de 0,85m/s, 0,90 na sala 2 e 0,94m/s nas salas 3 e 4. Estes valores correspondem a 53% da velocidade do vento externa na sala 1, 56% na sala 2 e 59% nas salas 3 e 4. Na sala 5, o percentual de aproveitamento do vento externo foi de 67%, decrescendo para 62% nas salas 6 e 8. Nas salas 7 e 10, o valor foi de 78% e na sala 9 foi de 70%, tabela 3.

Em relação ao modelo dotado de esquadrias de correr, aos valores do percentual de aproveitamento da velocidade do vento externo do modelo com esquadrias pivotantes foi superior, tabelas 5 e 11. Ao comparar o modelo com esquadrias pivotantes e maxim-ar, constata-se que a segunda obtém maiores valores

percentuais. Entretanto ao analisar o valor por ponto, o modelo de esquadrias pivotantes, apresenta, como menor valor, 0,81m/s e o modelo com esquadrias maxim-ar este valor é de 0,41m/s, tabelas 8 e 11.

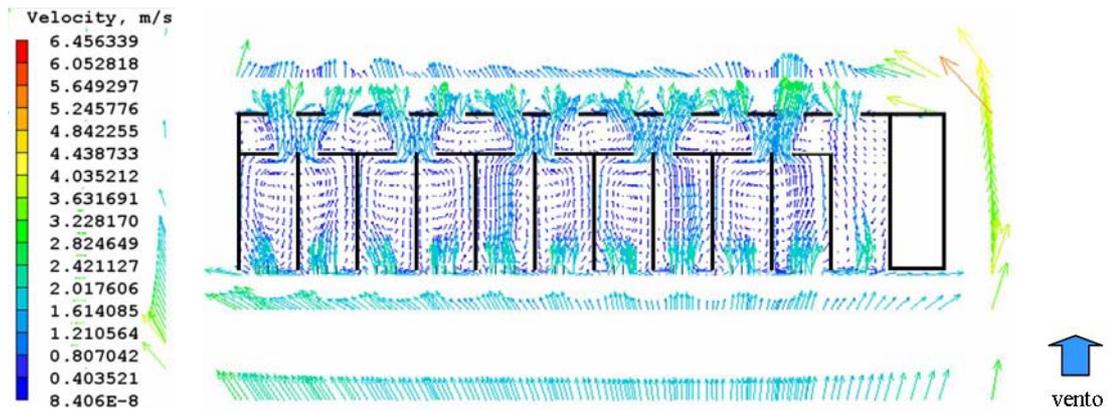
No quinto pavimento, o insuflamento de ar proporcionado pelas esquadrias pivotantes, alcança, com maior intensidade, a faixa próxima às janelas (pontos 1, 2 e 3) e no centro do ambiente (pontos 4, 5 e 6). Este insuflamento favoreceu a diminuição das zonas de vórtices e uma distribuição uniforme do fluxo de ar no interior do ambiente, esquema 9.



**Esquema 9 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

A média da velocidade do vento nas salas 1 e 2 foi de 0,90m/s e 0,99m/s na sala 3. Na sala 4 a média foi de 0,90m/s e 0,99m/s na sala 5. Na sala 6 o valor foi de 0,94m/s, elevando-se para 1,03m/s na sala 7 e diminuindo para 0,99m/s na sala 8. Na sala 9 a média foi de 0,94m/s e 1,08m/s na sala 10, tabela 3.

No oitavo pavimento ocorre a concentração do insuflamento de ar na faixa das janelas devido à ascendência do fluxo de ar constatada nos andares mais altos da edificação. A formação de zonas de vórtices ocorre na faixa central do ambiente e nas laterais do mesmo, esquema 10.



**Esquema 10 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

A média da velocidade vento em todas as salas foi de 0,90m/s, correspondendo a 56% do vento externo, tabela 3. Este valor é superior ao obtido para o mesmo pavimento do com esquadria de correr e maxim-ar. Neste pavimento o fluxo de ar é direcionado para cima, como explicado anteriormente, dependendo, em grande parte da tipologia de esquadria adotada no ambiente. Quanto maior a porosidade proporcionada pela esquadria, melhor será o aproveitamento e direcionamento do fluxo de ar para o interior do ambiente. No caso da esquadria pivotante, a área efetiva para a ventilação é melhor aproveitada pela pouca resistência à passagem do ar proporcionada pela mesma.

**Tabela 3 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de pivô vertical - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento). Incidência do vento de 45° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 4,5m (1º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (1,60m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,85	53
2	1,21	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	56
3	1,21	1,21	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,94	59
4	1,21	1,21	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,94	59
5	1,61	1,21	0,81	1,21	1,21	0,81	1,21	0,81	0,81	1,08	67
6	1,61	1,21	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,99	62
7	1,61	1,61	1,21	1,61	1,61	0,81	1,21	0,81	0,81	1,25	78
8	0,81	1,21	0,81	1,21	1,21	0,81	1,21	0,81	0,81	0,99	62
9	1,61	1,61	0,81	1,61	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	1,12	70
10	1,61	1,61	0,81	1,61	1,61	0,81	1,61	0,81	0,81	1,25	78
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 16,5m (5º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,41m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0,81	1,21	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	37
2	0,81	1,21	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	37
3	1,21	1,21	1,21	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,99	41
4	0,81	1,21	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	37
5	0,81	1,61	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	1,21	0,81	0,99	41
6	0,81	1,61	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,94	39
7	0,81	1,61	1,21	1,21	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	1,03	43
8	0,81	1,61	1,21	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,99	41
9	0,81	1,61	0,81	0,81	1,21	0,81	0,81	0,81	0,81	0,94	39
10	0,81	1,61	0,81	0,81	1,61	1,21	1,21	0,81	0,81	1,08	45
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 22,5m (8º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,77m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
2	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
3	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
4	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
5	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
6	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
7	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
8	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
9	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32
10	0,81	1,61	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	32

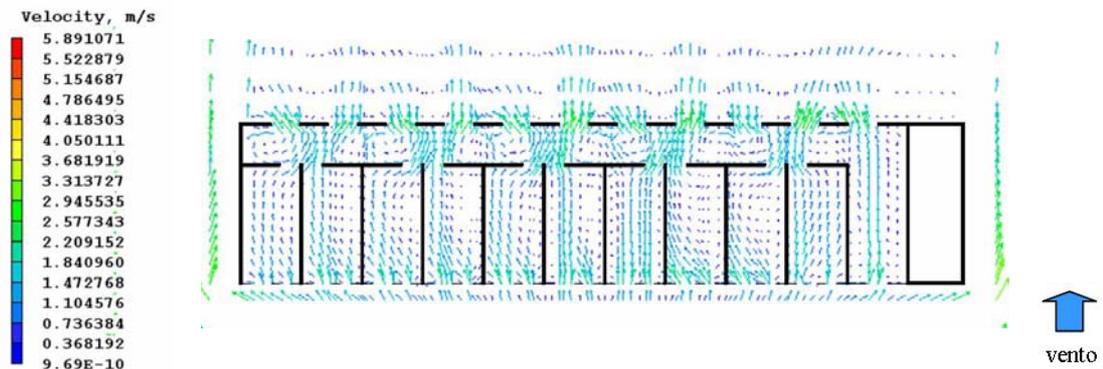
  

	acima de 1,50m/s
	abaixo de 0,60m/s

#### 4.1.2. Área de abertura de 1/12 da área do piso – incidência do vento: 90°

##### 4.1.2.1. Esquadria de correr

No primeiro pavimento, na sala 1, a média da velocidade do vento foi de 0,65 m/s, elevando-se para 0,81m/s na sala 2, 0,85 m/s na sala 3 e 0,89 m/s na sala 4. Nas salas 5, 6 e 7 a velocidade foi de 0,94 m/s. Nas salas 8 e 9, a velocidade foi de 0,85m/s e na sala 10, 0,86 m/s, esquema 11 e tabela 4.



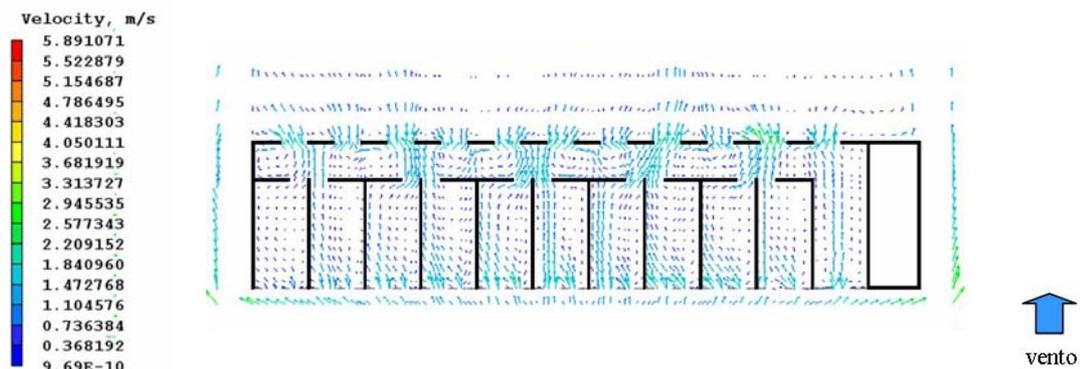
**Esquema 11 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

De uma maneira geral, todas as salas apresentam maiores valores da velocidade do vento na porção onde o vento é canalizado para a abertura da esquadria de correr e da porta. Constata-se a formação de uma zona correspondente a 60% do ambiente, onde a velocidade do vento não ultrapassou o valor de 0,36m/s. Esta zona corresponde onde a folha da esquadria de correr encontra-se fechada, esquema 11. Constata-se a influência da tipologia de esquadria na distribuição do fluxo de ar no interior do ambiente, favorecendo a concentração do insuflamento nas porções abertas.

Considerando-se que o valor da velocidade do vento externo no centro das esquadrias é de, aproximadamente, 1,50 m/s, os valores da velocidade média interna correspondeu entre 43% e 62% da velocidade externa disponível. Entretanto, ao se analisar a distribuição do fluxo de ar, constata-se uma condição não uniforme no interior dos ambientes.

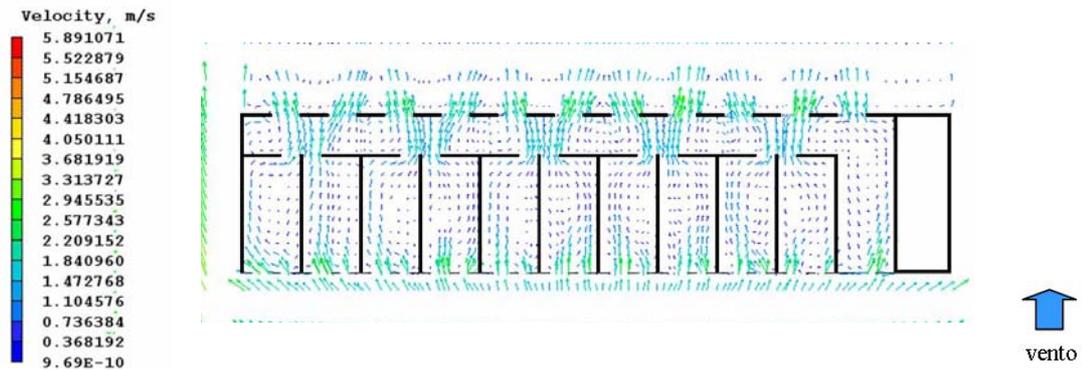
No quinto pavimento, em relação à distribuição do fluxo de ar, observa-se a não uniformidade do insuflamento de ar no ambiente. A formação de zonas de vórtices na maioria das salas, indicando que a área efetiva da abertura destinada para a ventilação pode ser insuficiente para proporcionar um insuflamento de ar uniforme. A canalização nas áreas abertas da esquadria ocorre, sem auxiliar na distribuição do ar no ambiente, podendo prejudicar o conforto térmico dos usuários que permaneçam nos espaços que não são beneficiados pelo movimento de ar, esquema 12.

Os valores da velocidade do vento média foram maiores que no primeiro pavimento. Nas salas 1 e 2 a velocidade média foi de 0,85 m/s, decrescendo para 0,78 m/s na sala 3. Na sala 4 a velocidade elevou-se para 1,06 m/s, para 1,10 m/s nas salas 5 e 6 e para 1,13 m/s na sala 7. Na sala 8 a média foi de 0,89 m/s e diminuiu para 0,73 m/s nas salas 9 e 10, tabela 4.



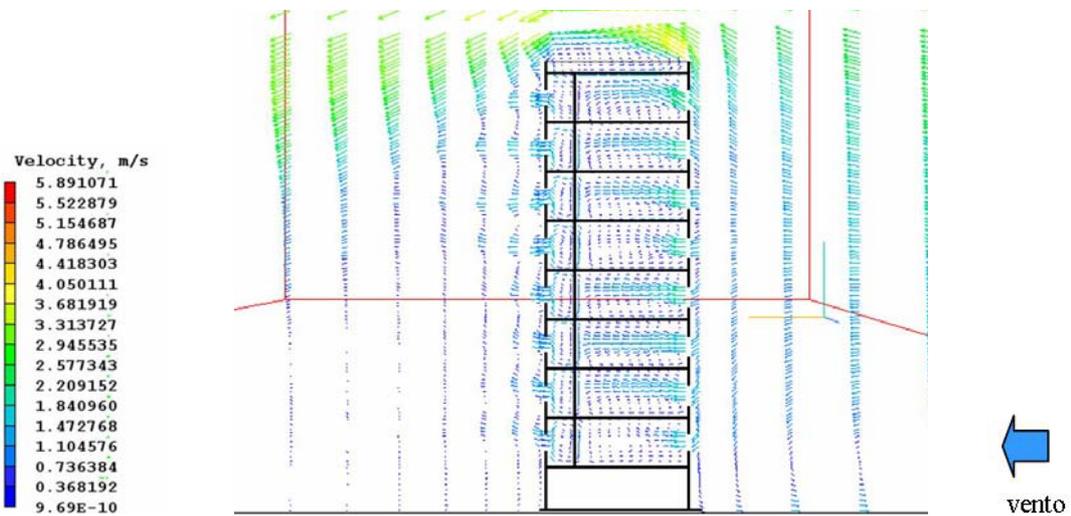
**Esquema 12 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 16,5m (5º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

Na sala 1 a média da velocidade foi de 0,77 m/s, elevando-se para 0,81 m/s nas salas 2 e 3 e 0,85 m/s nas salas 4 e 5. Na sala 6 eleva-se para 1,06 m/s, diminuindo para 0,94 m/s na sala 7. Nas salas 8 e 9 os valores foram 1,06 e 1,02 m/s, respectivamente e na sala 10 foi de 0,81 m/s, tabela 4. A elevação destes valores foi influenciada pela velocidade registrada na faixa próxima às janelas, visto que neste pavimento a velocidade do ar externa é de aproximadamente 2,77 m/s. Entretanto, esta aceleração não produziu uma distribuição uniforme do fluxo de ar no ambiente, esquema 13. No quinto pavimento, a área com velocidade do vento entre 0,36 e 0,73 m/s é comparativamente maior que nos outros pavimentos.



**Esquema 13 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria de correr - plano de análise: 22,5m (8º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

No oitavo pavimento, a distribuição do fluxo do ar é irregular, com a presença de zonas de vórtice com reduzida velocidade do ar, esquema 13. Nesse pavimento, o fluxo do ar é direcionado para a parte de cima do ambiente, forçado pelo movimento do ar externo que faz o movimento ascendente para ultrapassar o obstáculo criado pelo próprio edifício, esquema 14. Como esquadria adotada é a de correr, esta não possibilita o direcionamento do fluxo do ar pelo usuário.



**Esquema 14 - Corte modelo com corredor lateral e esquadria de correr, visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

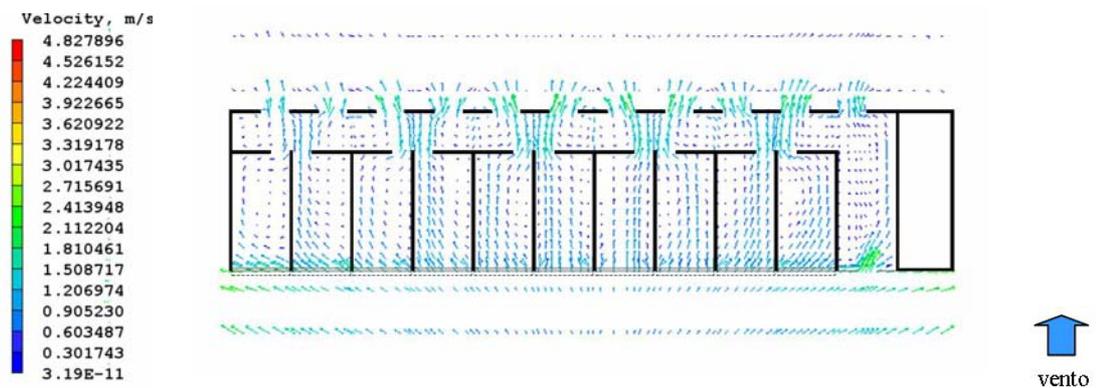
**Tabela 4 – Velocidade do vento por ponto do modelo com corredor lateral e esquadria de correr. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 4,5m (1º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (1,60m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,73	0,73	0,36	0,65	43
2	1,10	1,10	0,73	1,10	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,81	54
3	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,73	0,36	0,85	57
4	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,89	59
5	1,47	1,10	1,10	1,47	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,94	62
6	1,47	1,10	1,10	1,47	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,94	62
7	1,47	1,10	1,10	1,47	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,94	62
8	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,73	0,36	0,85	57
9	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,73	0,36	0,85	57
10	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,73	0,73	0,36	0,86	57
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 16,5m (5º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,41s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,10	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,73	0,73	0,85	36
2	1,47	1,10	0,73	1,10	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,85	36
3	1,47	1,10	1,10	1,10	0,47	0,36	0,47	0,47	0,47	0,78	32
4	1,47	1,47	1,10	1,47	1,10	0,73	1,10	0,73	0,36	1,06	44
5	1,47	1,47	1,1	1,47	1,10	0,73	1,10	0,73	0,73	1,10	46
6	1,47	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,73	1,10	46
7	1,47	1,10	1,10	1,47	1,10	1,10	1,00	1,10	0,73	1,13	47
8	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	1,10	0,73	0,36	0,89	37
9	1,10	1,10	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,36	0,73	30
10	1,10	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,73	30
Sala	Velocidade por ponto (m/s) - 22,5m (8º Pavimento)									Vel. média (m/s)	% Vel. externa (2,77m/s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,36	0,36	0,36	0,77	29
2	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,36	0,36	0,81	31
3	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,36	0,36	0,81	31
4	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,73	0,73	0,36	0,36	0,85	32
5	1,47	1,10	1,10	1,10	0,73	0,36	0,73	0,36	0,73	0,85	32
6	1,84	1,47	1,47	0,36	0,73	1,10	1,10	0,73	0,73	1,06	40
7	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,36	1,84	1,47	1,47	0,94	35
8	1,84	1,47	1,47	1,47	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	1,06	40
9	1,84	1,47	1,47	1,10	0,73	0,36	0,73	0,73	0,73	1,02	38
10	1,47	0,73	1,10	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,36	0,81	31

	acima de 1,50m/s
	abaixo de 0,60m/s

#### 4.1.2.2. Esquadria maxim-ar

No primeiro pavimento, em relação à distribuição do fluxo do ar no interior do ambiente, este se deu de forma mais uniforme que no ambiente dotado de esquadrias de correr. As esquadrias maxim-ar permitem um insuflamento do ar ao longo de toda a extensão da parede, não havendo, portanto, jatos concentrados, como no modelo de correr, esquema 15.



**Esquema 15 - Planta baixa modelo com corredor lateral e esquadria maxim-ar - plano de análise: 4,5m (1º Pavimento), visualização em vetores de velocidade. Incidência do vento de 90° e área de abertura de 1,50m<sup>2</sup> (1/12).**

Na sala 1, a velocidade do vento foi de 0,60 m/s, de 0,70 m/s na sala 2 e de 0,67 m/s na sala 3. Na sala 4 a média foi de 0,83 m/s, na sala 5 foi de 0,77 m/s e de 0,80 m/s na sala 6. Nas salas 7, 8, 9 e 10 as velocidades foram de 0,83 m/s, 0,87 m/s, 0,90 m/s e 0,80 m/s, respectivamente, tabela 5. Neste pavimento, a velocidade do vento externa na altura da abertura foi de aproximadamente 1,60 m/s. Comparando-se com os valores da velocidade do vento média interna pode-se obter o percentual de aproveitamento do vento externo no interior do ambiente. Os valores da velocidade média interna corresponderam entre 40 e 60% do vento externo, tabela 5.

Em relação ao modelo dotado de esquadrias de correr, a velocidade do vento média no interior dos ambientes com esquadria maxim-ar foram menores. Entretanto, a distribuição dos valores na sala foi mais uniforme quando as esquadrias são maxim-ar, especialmente nas salas 4, 5, 6, 7 e 8. Ainda assim, em pelo menos 30% da área do ambiente a velocidade do vento foi de 0,30 m/s, valor este considerado baixo para a percepção do fluxo de ar pelo usuário do ambiente como comentado no item 2.3. da seção 2.