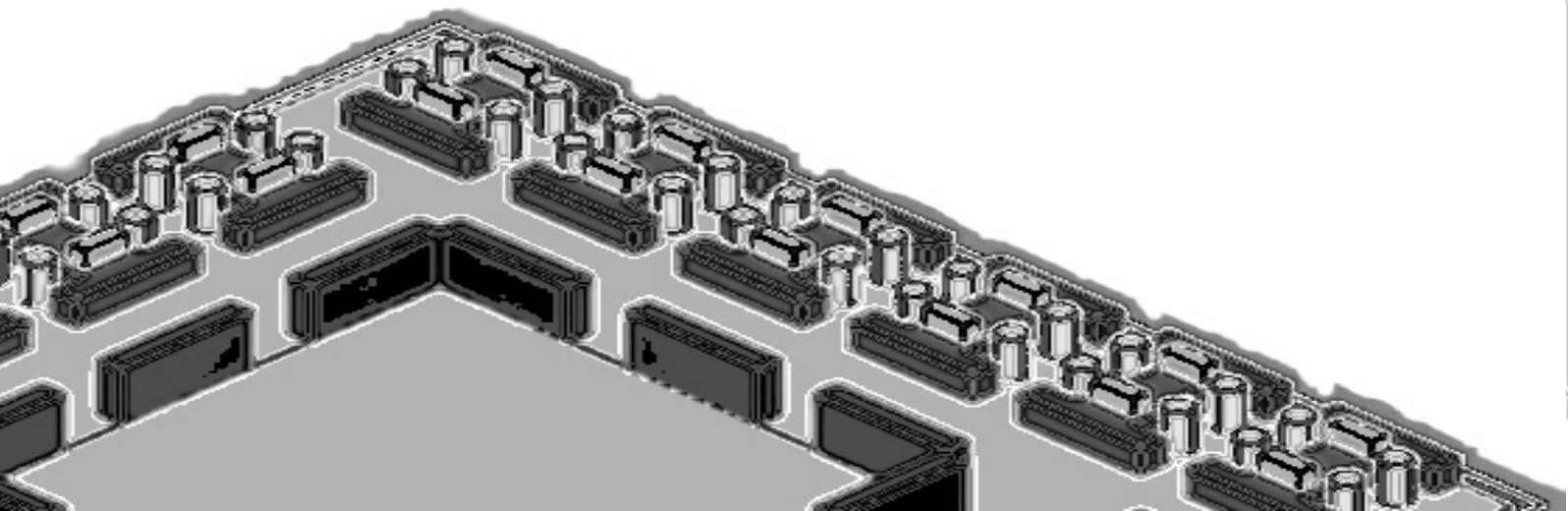


Cíntia Mara de Figueiredo

Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura
e Urbanismo da Universidade de São Paulo
Área de concentração: Tecnologia da Construção
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Anésia Barros Frota

**São Paulo
2007**



Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Cíntia Mara de Figueiredo

**Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios
na Cidade de São Paulo
Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura
e Urbanismo da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre

Área de concentração:
Tecnologia da Arquitetura

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Anésia Barros Frota

**São Paulo
2007**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura:

e-mail: cmfigueiredo@hotmail.com

Figueiredo, Cíntia Mara de

F475v Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico / Cíntia Mara de Figueiredo. --São Paulo, 2007.

221p. :il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) - FAUUSP.

Orientadora: Anésia Barros frota

1.Ventilação natural – edifícios de escritórios. 2.Conforto térmico

I.Título

CDU 697.921.2:725.23

Aos meus queridos pais

Agradecimentos

Agradeço a **Deus**, pela vida e a oportunidade de realizar mais este sonho.

Aos meus pais, **Antonio da Silva Figueiredo** e **Cleonice de Figueiredo** e meus irmãos **Gisela Maria de Figueiredo** e **Eduardo Antônio de Figueiredo**, pelo amor incondicional, por estarem sempre do meu lado e me incentivarem a crescer sempre.

À minha orientadora, **Anésia Barros Frota**, pela confiança que depositou em mim e no meu trabalho, por seu apoio, carinho e dedicação.

Aos professores **Márcia Alucci Peinaldo** e **Marcelo de Andrade Roméro**, que tanto me ensinaram e me abriram as portas para a pesquisa em conforto ambiental.

Aos professores **Joana Carla Gonçalves** e **Alberto Hernandez Neto**, pela generosidade em transmitir seus conhecimentos e contribuições oferecidas no momento da qualificação.

A todos os colegas do Labaut – FAUUSP, principalmente aos amigos pesquisadores **Alessandra Prata**, **Daniel Cóstola** e **Rafael Brandão**, pela paciência, aconselhamento e apoio fundamental em diversas fases desta pesquisa.

Às amigas **Valeska Leite Siqueira** e **Anna Christina Miana**, pelo incentivo desde o início desta jornada e por termos compartilhado tantos momentos importantes neste período.

Ao amigo **Carlos Alberto de Oliveira**, pelo apoio e diversas colaborações.

Ao presidente da Hydro Alumínio Acro S.A., **Ivar Venas**, ao diretor comercial, **Erivam Boff**, e principalmente ao gerente de desenvolvimento de produtos, **Adilson Molero**, por permitirem e incentivarem a minha participação neste programa de pós-graduação.

Aos amigos, colegas e ex-colegas de trabalho na Hydro Alumínio Acro, **Rodrigo Santos, Janaína Melo, Ricardo Orlandelli, Karina Scarfone, Rogério Santos, Admir Lago, Lindberg Macedo e Luiz Carlos Santos**, por entenderem a importância deste trabalho para mim, pelo incentivo e pelas diversas colaborações.

Ao colega da Hydro Buildings Systems GmbH – Buildtec, **Philipp Mueller**, pelas diversas colaborações desde o início desta pesquisa e por me ajudar a entender a dimensão deste tipo de pesquisa e suas aplicações no mundo atual.

Resumo

Esta pesquisa avalia o potencial de utilização da ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo do ponto de vista do conforto térmico.

Como parte do trabalho, foi elaborado um modelo de um edifício de escritórios com características arquitetônicas e de ocupação semelhantes às existentes nestes edifícios atualmente em São Paulo. A pesquisa foi feita com simulações computacionais deste modelo.

Primeiramente foram avaliadas as temperaturas internas. Uma área do modelo foi simulada no software EnergyPlus para as oito orientações solares principais, com objetivo de se estimar as temperaturas operativas médias horárias para todos os meses do ano. Os resultados foram analisados sob o enfoque da teoria adaptativa de conforto térmico, de acordo com o índice para ambientes ventilados naturalmente proposto pela norma Ashrae 55, 2004. Esta análise gerou o mapeamento dos períodos do ano onde o ambiente estaria confortável se forem considerados 90% ou 80% de usuários satisfeitos e quanto não estaria confortável, tanto por calor quanto por frio.

Também foi feita uma avaliação do modelo, de caráter exploratório, com simulações em um software de dinâmica dos fluidos, o CFX. Estas simulações objetivaram estimar se a estratificação da temperatura ou as velocidades internas do ar poderiam gerar áreas localizadas de desconforto no ambiente.

Abstract

This research evaluates the potential for the use of natural ventilation in São Paulo city office buildings from a thermal comfort viewpoint.

As part of the work, a model was developed with architectural and occupational characteristics similar to the those of office buildings in São Paulo city. The research was carried out using computational simulations of this model.

First internal temperatures were evaluated. An area of the model was simulated in EnergyPlus software for the eight main solar orientations, with the object of estimating the average operative temperature for all months of the year. The results were analyzed under the focus of the adaptive thermal comfort theory, according the index proposed in Ashrae Standard 55, 2004 for naturally ventilated environments. This analysis generated a mapping of the annual periods where this space would be comfortable for 90% or 80% satisfied users and when it would not be comfortable, either for warmth or for cold.

An exploratory study of that model was done, using computational fluid dynamics with CFX software. The objective was to estimate if the temperature stratification and the internal air velocities could cause local areas of discomfort within this environment.

Siglas e Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
AIVC	Air Infiltration and Ventilation Center
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, USA
BEN	Balanco Energético Nacional
BRE	Building Research Establishment, Reino Unido
CE	Comunidade Européia
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLT	Consolidação das leis do trabalho
EERE	Energy Efficiency and Renewable Energy
EPA	Environmental Protection Agency, USA
FAU-USP	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
HVAC	Heat, Ventilating and Air-Conditioning
IBPE	International Building Performance Evaluation Project
IEA	International Energy Agency
IWEC	International Weather for Energy Calculations, Ashrae, USA
LABAUT FAU-USP	Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
NUTAU FAU-USP	Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

Resumo	vii
Abstract	ix
Abreviaturas e Siglas	xi
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
Capítulo 1 – Introdução	1
Capítulo 2 – A Ventilação Natural nos Edifícios	5
2.1 Ventilação Natural para Conforto Térmico	7
2.2 A Questão Energética	8
2.3 A Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios	10
2.4 Ventilação Natural em Áreas Urbanas	11
2.5 Barreiras para o Uso da Ventilação Natural	15
Capítulo 3 - O Conforto Térmico e a Ventilação Natural	19
3.1 Conforto Térmico	21
3.1.1 Variáveis de Conforto Térmico	22
3.1.2 Índices de Conforto para Ambientes Internos	24
3.1.3 Efeitos do Movimento do Ar no Conforto Térmico	29
3.2 Normas Técnicas	31
3.2.1 Normas Brasileiras	32
3.2.2 Normas Internacionais	35
3.3 A Ventilação Natural e o Projeto Arquitetônico	37
3.3.1 Ventilação por Ação dos Ventos	39
3.3.2 Ventilação por Efeito Chaminé	42
3.3.3 Ventilação por simultaneidade de “Ação dos Ventos e “Efeito Chaminé”	45
3.3.4 Tipologias das Aberturas	46
3.4 O Estado da Arte no Uso da Ventilação Natural para Conforto Térmico	51

Capítulo 4 – Os Edifícios de Escritório	63
4.1 Características Arquitetônicas	66
4.2 Características de Ocupação	67
4.3 O Conforto Térmico e as Cargas Térmicas	69
4.4 O Exemplo dos Novos Edifícios de Escritórios Europeus	71
Capítulo 5 - O Método	75
5.1 O Modelo	77
5.2 O Índice de Conforto	83
5.3 Os softwares de Simulação	85
5.3.1 O Energy Plus	85
5.3.2 O CFX	88
Capítulo 6 – Simulações e Discussão	93
6.1 Simulações com o EnergyPlus	95
6.1.1 Parâmetros Usados nas simulações com o EnergyPlus	95
6.1.2 Tratamento dos Dados de Saída do EnergyPlus	98
6.1.3 Resultados	99
6.1.4 Discussão	125
6.2 Simulações com o CFX	131
6.2.1 Parâmetros Usados nas simulações com o CFX	131
6.2.2 Tratamento dos Dados de Saída do CFX	137
6.2.3 Resultados	140
6.2.4 Discussão	155
Capítulo 7 - Conclusão	159
7.1 Considerações Finais	161
7.2 Novos Temas para Desenvolvimento Futuro	163

Referências Bibliográficas	165
Glossário	177
Anexos	183
Anexo A – Banco Climático IWEC para São Paulo	185
Anexo B – Arquivo de saída “audit” do EnergyPlus - Simulação para Orientação Norte	191
Anexo C – Arquivo de saída “res” do CFX	207
Anexo D – CD com as simulações feitas no EnergyPlus e no CFX	

Lista de Figuras

Figura 1 - Velocidade dos ventos dentro e fora de um "canyon".....	12
Figura 2 - Níveis de ruído para diferentes larguras de rua.....	13
Figura 3 - Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas).....	25
Figura 4 - Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV – Fanger.....	28
Figura 5 - Ventilação por ação dos ventos. Distribuição das pressões.....	40
Figura 6 - Ventilação por ação dos ventos.....	40
Figura 7 - Gráfico para determinação do incremento de vazão causada pelo excesso de área de uma abertura sobre a outra.....	44
Figura 8 - Ação do vento em oposição ao efeito chaminé.....	45
Figura 9 - Gráfico para determinação da ação combinada de forças do vento e efeito chaminé.....	46
Figura 10 - Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper.....	54
Figura 11 - Vista do edifício sede do Commerzbank em Frankfurt.....	72
Figura 12 - Vista do edifício sede da Swiss Re em Londres.....	74
Figura 13 - Vista do edifício Nord LB em Frankfurt.....	74
Figura 14 - Planta do modelo de edifício de escritórios.....	82
Figura 15 - Corte AA do modelo de edifício de escritórios.....	82
Figura 16 - Índice de conforto proposto pela Ashrae 55 2004: Variação de temperatura operativa aceitável em ambientes ventilados naturalmente.....	84
Figura 17 - Tela do IDF Editor do EnergyPlus.....	86
Figura 18 - Arquivos do software CFX.....	91
Figura 19 - Área típica do modelo.....	95
Figura 20 - Diversas orientações simuladas.....	96
Figura 21 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação norte na cidade de São Paulo.....	102
Figura 22 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Norte.....	103

Figura 23 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Norte.....	103
Figura 24 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação nordeste na cidade de São Paulo	105
Figura 25 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Nordeste.....	106
Figura 26 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Nordeste.....	106
Figura 27 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação leste na cidade de São Paulo.....	108
Figura 28 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Leste.....	109
Figura 29 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Leste.....	109
Figura 30 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sudeste na cidade de São Paulo...	111
Figura 31 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sudeste.....	112
Figura 32 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sudeste.....	112
Figura 33 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sul na cidade de São Paulo.....	114
Figura 34 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sul.....	115
Figura 35 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sul.....	115
Figura 36 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sudoeste na cidade de São Paulo	117
Figura 37 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sudoeste.....	118
Figura 38 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sudoeste.....	120
Figura 39 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação oeste na cidade de São Paulo.....	121

Figura 40 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Oeste.....	121
Figura 41 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Oeste.....	123
Figura 42 - Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação noroeste na cidade de São Paulo	124
Figura 43 - Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Noroeste.....	124
Figura 44 - Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Noroeste.....	125
Figura 45 - Mapeamento da condição de conforto para as oito orientações	132
Figura 46 - Implantações do Modelo para simulação no CFX de acordo com a direção de incidência do vento.....	132
Figura 47 - Modelagem do edifício com 20 andares e detalhamento do pavimento-tipo localizado no 10º andar.....	133
Figura 48 - Modelagem do layout do pavimento-tipo.....	133
Figura 49 - Dimensões do domínio.....	134
Figura 50 - Condições de contorno adotadas.....	134
Figura 51 - Detalhes da malha aplicada.....	135
Figura 52 - Numeração das mesas, sentido de incidência do vento e marcação dos cortes verticais.....	139
Figura 53 - Idéia geral do fluxo de ar para implantação do edifício paralela ao domínio.....	141
Figura 54 - Vetores de velocidade no plano P1 - 20cm do piso.....	142
Figura 55 - Perfil de temperaturas no plano P1 - 20cm do piso.....	142
Figura 56 - Perfil de velocidades no plano P1 - 20cm do piso.....	143
Figura 57 - Vetores de velocidade no plano P2 - 90cm do piso.....	144
Figura 58 - Perfil de temperaturas no plano P2 - 90cm do piso.....	144
Figura 59 - Perfil de velocidades no plano P2 - 90cm do piso.....	145
Figura 60 - Vetores de velocidade no plano P3 - 120cm do piso.....	146
Figura 61 - Perfil de temperaturas no plano P3 - 120cm do piso.....	146
Figura 62 - Perfil de velocidades no plano P3 - 120cm do piso.....	147

Figura 63 - Vetores de velocidade no plano P4 (160cm do piso).....	148
Figura 64 - Perfil de temperaturas no plano P4 (160cm do piso).....	148
Figura 65 - Perfil de velocidades no plano P4 (160cm do piso).....	149
Figura 66 - Vetores de velocidade no plano P5 (200cm do piso).....	150
Figura 67 - Perfil de temperaturas no plano P4 (200cm do piso).....	150
Figura 68 - Perfil de velocidades no plano P4 (200cm do piso).....	151
Figura 69 - Corte vertical longitudinal no domínio com vetores de velocidades.....	152
Figura 70 - Vetores de velocidade no interior do edifício.....	153
Figura 71 - Perfil de temperatura no interior do edifício.....	153
Figura 72 - Perfil de velocidade no interior do edifício.....	153
Figura 73 - Vetores de velocidade no plano perpendicular às fachadas.....	154
Figura 74 - Perfil de temperatura no plano perpendicular às fachadas.....	154
Figura 75 - Perfil de velocidade no plano perpendicular às fachadas.....	155

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Parte da tabela dos votos médios estimados de Fanger.....	27
Tabela 2 - Dispositivos para ventilação natural.....	38
Tabela 3 - Principais tipologias de portas e janelas e o fluxo de ar promovido.....	50
Tabela 4 - Fator de expectativa para edifícios não condicionados em climas quentes.....	55
Tabela 5 - Ambiente interno e efetiva profundidade de ar fresco para ventilação unilateral.....	59
Tabela 6 - Média horária da temperatura externa de bulbo seco em °C.....	100
Tabela 7 - Média horária da temperatura operativa para área com orientação norte.....	101
Tabela 8 - Média horária da temperatura operativa para área com orientação nordeste.....	104
Tabela 9 - Média horária da temperatura operativa para a área com orientação leste.....	107
Tabela 10 - Média horária da temperatura operativa para a área com orientação sudeste.....	110
Tabela 11 - Média horária da temperatura operativa para área com orientação sul.....	113
Tabela 12 - Média horária da temperatura operativa para área com orientação sudoeste.....	116
Tabela 13 - Média horária da temperatura operativa para área com orientação oeste.....	119
Tabela 14 - Média horária da temperatura operativa para orientação noroeste.....	112



1 Introdução

Esta pesquisa tem como foco o uso da ventilação natural nos edifícios de escritório para obtenção de conforto térmico.

O uso da ventilação natural pode trazer alguns importantes benefícios, entre eles a diminuição das temperaturas internas, evitando ou minimizando o uso de ar condicionado e, desta forma, reduzindo o consumo de energia nos edifícios.

O objetivo central desta pesquisa é avaliar as possibilidades e as limitações do uso da ventilação natural como recurso passivo de resfriamento dos ambientes de escritórios situados na cidade de São Paulo e responder à questão: É possível utilizar a ventilação natural para obtenção de conforto térmico em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo?

Esta pesquisa tem como objetivos específicos avaliar em quais horários e meses do ano, a ventilação natural poderia ser utilizada como único recurso na obtenção de temperaturas internas confortáveis e, em quais, não seria adequada, se forem mantidas as características atuais de projeto arquitetônico e das aberturas. Buscou-se verificar também, em caráter exploratório, se a estratificação da temperatura e as velocidades internas do ar apontam áreas com desconforto localizado ou podem interferir no uso do edifício.

Os dados analisados foram obtidos por meio de simulações computacionais. Primeiramente foi utilizado um software de simulação térmica para obtenção das temperaturas internas e depois um software CFD (*Computer Fluids Dynamics*) para uma avaliação mais detalhada do fluxo de ar.

O índice de conforto térmico adotado está baseado na teoria adaptativa de conforto, que considera a capacidade dos indivíduos tolerarem uma variação maior das temperaturas internas do ar, em ambientes ventilados naturalmente, desde que tenham controle sobre estes ambientes.

Esta dissertação está organizada em sete capítulos.

No capítulo 1, estão descritos os objetivos desta pesquisa e maneira como foi organizada.

Nos capítulos 2, 3 e 4, será feita a revisão bibliográfica. Os capítulos 2 e 3 apresentam um panorama geral sobre o uso da ventilação natural nos edifícios e a sua relação com o conforto térmico. O capítulo 4 apresenta as características dos edifícios de escritórios relacionadas ao conforto térmico.

No capítulo 5, será feita a apresentação do método adotado descrevendo a elaboração do modelo, o índice de conforto e os softwares usados nas simulações.

No capítulo 6, serão apresentadas detalhadamente as simulações e discutidos os seus resultados. E finalmente, no capítulo 7 serão apresentadas as conclusões.

Os anexos trazem o banco climático adotado nas simulações e os relatórios gerados pelos softwares onde podem ser observados todos os seus parâmetros e resultados. Também é parte integrante deste trabalho um cd com os arquivos das simulações realizadas para permitir futuras pesquisas, baseadas nos dados aqui obtidos.



2 A Ventilação Natural nos Edifícios

A ventilação natural nos edifícios desempenha diversas funções:

- Proporcionar conforto térmico em climas quentes por diminuir as altas temperaturas;
- Diminuir o consumo de energia por evitar ou minimizar o uso de sistemas de condicionamento de ar;
- Manter a qualidade interna do ar pela sua renovação, entre outras funções (MASCARÓ, 1991; FROTA, 2000; BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Neste capítulo será feita a apresentação de diversas questões relacionadas ao uso da ventilação natural nos edifícios.

2.1 Ventilação Natural para Conforto Térmico

A ventilação natural pode representar importante fator de conforto e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios (FROTA, 2000). O seu uso já era feito desde o início da história da arquitetura para amenização de altas temperaturas internas, em localidades de climas quentes, e até hoje é amplamente empregado em residências, edifícios de apartamentos entre outras tipologias arquitetônicas.

Porém, atualmente, na arquitetura dos edifícios de escritórios em muitos lugares do mundo o condicionamento artificial do ar é praticamente uma premissa. Em grande parte, isso se deve às grandes alterações no projeto destes edifícios ocorridas a partir do início do século XX, com o uso indiscriminado do vidro aliado ao grande aumento nas cargas térmicas internas. A outra razão seria a maneira enganosa como tem sido feita a avaliação da percepção de conforto dos usuários destes ambientes.

Recentemente, importantes pesquisas têm sido realizadas no mundo todo, com destaque para os Estados Unidos, Europa e Japão, com o objetivo de investigar os efeitos do movimento do ar, no conforto térmico, em ambientes com atividades sedentárias como as que ocorrem nos edifícios de escritórios. Interessantes resultados têm sido obtidos combinando-se temperaturas relativamente altas e condições de intensidade de turbulência do ar semelhantes às normalmente encontradas nos ambientes ventilados naturalmente, onde se conclui que é possível conforto térmico mesmo com temperaturas superiores a 26°C, o que até pouco tempo representava um limite para temperatura interna aceitável (ROHLES et al., 1983, TANABE e KIMURA, 1987 e SCHEATZLE et al., 1989, HEISELBERG, et al., 2002).

A aplicação da ventilação natural para se obter de conforto é o foco deste trabalho e uma discussão mais profunda sobre este tema será feita no capítulo 3.

2.2 A Questão Energética

O final do século XX trouxe a questão da sustentabilidade como desafio vital para a humanidade. A pesquisa tecnológica na arquitetura e no urbanismo, assim como em todas as áreas do conhecimento, adquiriu um novo foco e passou a se guiar por novos parâmetros. Aplicação de materiais e componentes de forma mais consciente, bem como o uso da terra com o foco na qualidade e preservação ambiental; o uso racional da água e a eficiência energética dos edifícios passam a ser os novos princípios norteadores (CIB and Sustainable Construction, 2003 - AGENDA 21 para a Construção Sustentável)

A IEA, International Energy Agency, estima que as crescentes demandas mundiais de energia aumentarão consideravelmente as emissões de gases causadores do efeito estufa e considera que embora existam investimentos em fontes "limpas", tecnologias já existentes para reduzir o

consumo energético estão sendo ignoradas. Considera-se que para evitar uma forte alteração climática, as emissões mundiais de gases causadores do efeito estufa devam ser reduzidas em torno de 60%, em relação aos valores de hoje até 2050. Por outro lado, projeta-se que a demanda mundial de energia aumente 50% até 2030, e que isso aumente em 52% as emissões de dióxido de carbono relacionadas à energia (ABESCO, 2006).

O uso racional da energia nos edifícios é de fundamental importância uma vez que os mesmos são responsáveis por grande parte do consumo. Desta forma, a arquitetura não pode mais fornecer como resposta edifícios que não consigam resolver com eficiência energética as exigências de conforto nos ambientes.

O consumo de energia necessário à manutenção de um edifício depende fundamentalmente de seu projeto e começa a ser definido com escolha do partido arquitetônico e do sistema construtivo a serem adotados. O projetista pode gerar um edifício que proporcione conforto aos seus usuários com baixo consumo de energia. Vale ressaltar que após esta etapa, ou seja, depois que o edifício está construído, as possibilidades de conservação de energia diminuem drasticamente o que vem a ser um enorme prejuízo para o usuário final e também para o país (ROMÉRO 1997).

Em diversos países da CE, Comunidade Européia, com destaque para Alemanha e Inglaterra, a eficiência energética dos edifícios já vem sendo tratada seriamente desde os anos setenta. No último verão europeu, os países da CE anunciaram um plano de ação para reduzir em mais 20% as necessidades de consumo até 2020 considerando que é mais fácil e mais barato melhorar a eficiência energética do que produzir mais energia (ABESCO, 2006).

O ar condicionado é hoje o maior consumidor de energia em edifícios de escritórios, em torno de 40%, (ROMÉRO, 1997), sendo que o setor comercial é responsável por 14,25% do consumo desagregado de energia no país (BEN, 2006). Desta forma, o uso da ventilação natural em substituição ao ar condicionado, ainda que não seja durante o ano todo, mas em alguns períodos, poderia representar uma importante medida para redução do consumo de energia nestes edifícios.

2.3 A Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios

A ventilação também desempenha papel fundamental na manutenção da saúde além do bem-estar humano, mantendo a concentração de contaminantes nos ambientes em níveis seguros tornando-os salubres, pois dispersa partículas tóxicas, como vapores, fumaça, poeira e outros poluentes (FROTA, 2000).

Estudos da EPA, Environmental Protection Agency, sobre a exposição do homem aos poluentes do ar mostram que os níveis internos de muitos poluentes podem ser de duas a cinco vezes maiores que os exteriores chegando a 100 vezes em alguns casos. É importante notar que a maioria das pessoas gasta em torno de 90% do seu tempo em ambientes internos (EMMERICH, 2001).

Nas últimas décadas a exposição humana aos poluentes do ar interno aumentou devido a vários fatores incluindo a construção de edifícios totalmente selados, redução nas taxas de ventilação para economizar energia nos equipamentos de ar condicionado e o uso de materiais sintéticos para construção e mobiliário, entre outros. Um estudo feito pelo EPA e sua divisão SAB (Science Advisory Board) citou a qualidade interna do ar como um dos cinco principais riscos para a saúde pública.

Componentes orgânicos voláteis são componentes químicos que podem evaporar de substâncias como produtos de limpeza, colas, pinturas, vernizes, etc. Altas concentrações destas substâncias são particularmente encontradas em edifícios selados e representam verdadeiras armadilhas à saúde dos seus usuários. Os principais sintomas causados são irritações nos olhos, nariz e pulmões, dores de cabeça, tontura, náusea e vômitos entre outros. Os trabalhadores ficam expostos todos os dias a mais de 500 compostos orgânicos voláteis. Algumas toxinas como, por exemplo, formaldeído, benzeno e o ozônio são muito comuns nos escritórios, o que pode provocar, nos trabalhadores, dor de cabeça, dor de garganta, náusea, irritações na pele e nos olhos e congestão (HEINEN, 1998).

Alguns estudos como os de MENDELL, demonstram que os usuários reportam menos sintomas em edifícios ventilados naturalmente em comparação com os que utilizam a ventilação mecânica (MENDELL et al., 1996 apud EMMERINCH, 2001). Reforçam ainda que se a ventilação natural pode melhorar a qualidade ambiental interna, e que estas melhorias podem aumentar a produtividade dos usuários reduzindo a abstenção ao trabalho, os custos com saúde e estimulando a produtividade (FISK and ROSENFELD, 1997 apud EMMERINCH, 2001).

Existem também pesquisas que apontam o ar resfriado de forma forçada, causando o conhecido "choque térmico", como grande causador de rinite alérgica ainda que não existam fungos e ácaros no ambiente, mas devido à mudança drástica de temperatura. Desta forma os usuários de edifícios ventilados naturalmente estariam menos sujeitos a rinite alérgica (ROMERO, 2006).

2.4 Ventilação Natural em Áreas Urbanas

As áreas urbanas são desafiadoras para o uso da ventilação natural. Nelas as forças motrizes da ventilação natural são reduzidas e as potenciais barreiras são aumentadas (URBVENT, 2004).

Quatro parâmetros podem ser considerados fundamentais e de grande impacto na ventilação natural no meio urbano: a temperatura, o vento (forças motrizes), o ruído e a poluição (potenciais barreiras).

A temperatura do ar no meio ambiente urbano é geralmente maior que a das áreas ao seu redor. Este fenômeno é conhecido como "ilha de calor" e se deve a diversas características tais como pouca vegetação; muitas áreas pavimentadas; pouca ventilação; entre muitas outras específicas dos ambientes urbanos. As altas temperaturas podem inviabilizar o uso da ventilação natural como recurso de resfriamento dos ambientes internos.

A velocidade do vento em um lugar depende da rugosidade do mesmo e das áreas a sua volta. A rugosidade pode ser descrita como uma medida de altura dos obstáculos. Vários modelos já foram desenvolvidos para estimar a velocidade do vento em um lugar específico de acordo como a velocidade do ar medida em áreas abertas próximas, como aeroportos, por exemplo. Infelizmente estes modelos não são sempre válidos. Para grande parte das áreas urbanas mais densas acontece um tipo de ocupação chamada de "canyon streets". O termo "canyon streets" se refere a ruas relativamente estreitas com edifícios construídos alinhadamente nos seus dois lados, ou seja, áreas de rugosidade muito alta.

Uma pesquisa desenvolvida pela Universidade de Atenas dentro do projeto UrbVent¹ foi feita com o objetivo de conhecer melhor a distribuição da velocidade do vento em canyons. Como mostra a figura 1, a velocidade do ar em um "canyon street" pode ser muito inferior em comparação à velocidade fora do canyon.

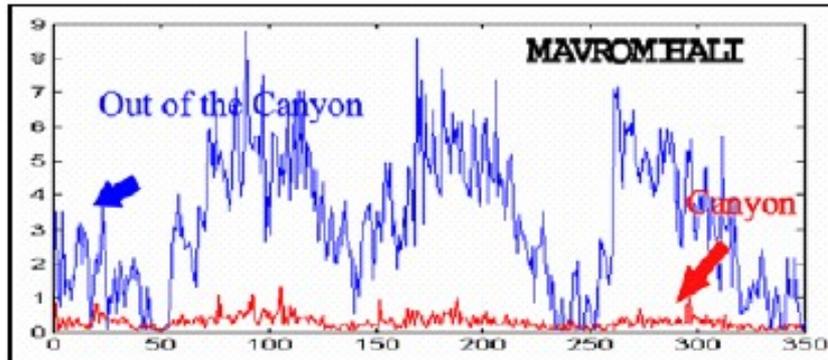


Figura 1 – Velocidade dos ventos dentro e fora de um "canyon" (Mavromihali, Athenas – Grécia). Fonte: UrbVent, 2004.

Altos níveis externos de ruído dos ambientes urbanos são freqüentemente utilizados para justificar o uso do ar condicionado em edifícios, já que o uso de ventilação natural implica em aberturas para

¹ URBVENT foi um projeto financiado pela "European Commission – Fifth framework programme" com a participação de nove organizações europeias (seis universidades, dois centros de pesquisa e uma indústria), com o objetivo de promover o uso da ventilação natural em edifícios em áreas urbanas.

promover o fluxo de ar e, aberturas grandes ou mesmo as pequenas não contribuem para o isolamento sonoro (ALLARD, 1998).

O projeto UrbVent desenvolveu uma pesquisa com o objetivo de verificar a variação vertical do ruído nos “canyons” e avaliar a possibilidade de uso da ventilação natural sob o ponto de vista da acústica. Um modelo teórico foi desenvolvido e calibrado com dados de medição para estimar a atenuação do nível de ruído acima do nível da rua. Resumidamente os resultados demonstram que a atenuação sonora aumenta com a altura acima do nível da rua e diminui com o aumento da largura da rua. Estes resultados foram alinhados com o de outra pesquisa, o projeto Scats², e verificou que níveis de 55 a 60 dB são aceitáveis pelos usuários. Considerando que a atenuação de uma janela aberta é de 10 a 15 dB o nível sonoro externo de 70 dB ou menor, é aceitável.

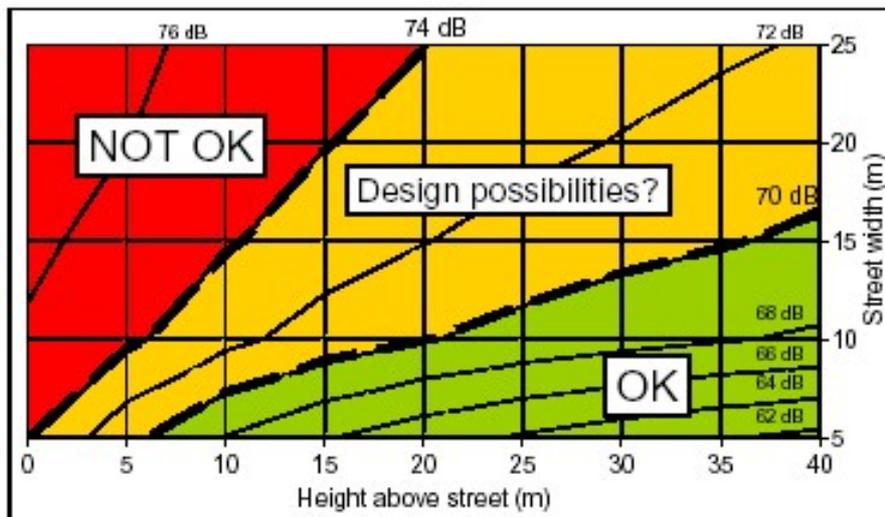


Figura 2 – Níveis de ruído para diferentes larguras de rua. Fonte: UrbVent, 2004.

É importante notar que o ruído somente incomoda quando o edifício está ocupado. Ou seja, não impede grandes taxas de ventilação natural para resfriamento durante a noite já que não há pessoas no edifício neste período.

² SCATS foi um projeto financiado pela comunidade europeia. Trata-se de uma pesquisa em cinco países europeus, em 25 edifícios de escritórios e entrevistas com 850 ocupantes sobre a acústica em edifícios de escritórios.

Por outro lado, a ventilação natural nos edifícios pode acontecer de maneiras diversas das aberturas simples que conhecemos nos edifícios de escritórios brasileiros.

Existem soluções arquitetônicas para a fachada de um edifício de escritórios, sob as condições climáticas de São Paulo, que podem garantir condições de conforto por todo o período de ocupação, sem o uso de condicionamento artificial (MARCONDES, 2004).

Segundo o High Performance Commercial Building Fachades, "os sistemas de 'fachadas duplas' são um fenômeno na arquitetura européia" eles são capazes de conciliar a ventilação natural com alto nível de isolamento acústico entre outras vantagens relacionadas à melhoria da qualidade interna do ar, segurança, etc. O segundo layer de vidro ou outro material colocado em frente a uma fachada convencional, por si só, reduz o nível de ruído interno, particularmente em áreas de altos níveis de ruído externo, pois como se trata de um elemento a mais no sistema - aumenta o isolamento. Porém a câmara existente entre os dois layers por onde circula o ar também pode ser preenchida com material de alta absorção tornando o sistema ainda mais eficiente do ponto de vista acústico e possibilitando a utilização da ventilação natural (HIGH PERFORMANCE COMMERCIAL BUILDING FACHADES, 2005).

A poluição do ar externo em áreas urbanas é uma outra barreira à ventilação natural devido às altas concentrações de vários poluentes, principalmente durante o dia. Conseqüentemente, a entrada de ar externo no edifício, sem tratamento, pode implicar em má qualidade do ar interno causando danos à saúde dos usuários bem como aos materiais de acabamento e mobiliário. Assim a ventilação natural pode não ser uma boa opção em áreas com níveis muito altos de poluição. Nestes casos são necessários filtros para permitir a entrada de ar externo nos ambientes internos (ALLARD, 1998). A Ashrae 62 recomenda que se deve tratar o ar externo se o nível de contaminantes exceder certos limites. Porém, os sistemas de ventilação natural tipicamente, não incluem filtragem, ao contrário da ventilação mecânica (EMMERINCH, 2001). É importante notar que esta filtragem nem sempre está garantida na simples aplicação de um equipamento de condicionamento de ar. Existem muitos edifícios com qualidade interna do ar bastante ruim devido à má qualidade de filtros ou falta de manutenção, principal motivo da chamada síndrome dos edifícios doentes.

2.5 Barreiras para Utilização da Ventilação Natural

Além das barreiras citadas no item 1.3 que estão relacionadas ao uso da ventilação natural em ambiente urbano, existem diversas outras. Segundo Cotting, é importante identificar as barreiras vistas pelos projetistas e tomadores de decisão que restringem a implementação da ventilação natural e promovem a decisão de instalar a ventilação mecânica nos edifícios, mesmo naquela onde esta não é estritamente necessária. O conhecimento destas barreiras é o primeiro passo para o desenvolvimento das soluções (COTTING, 1998).

As barreiras para utilização da ventilação natural em edifícios de escritórios podem ser divididas em três grupos.

O primeiro grupo se refere às barreiras encontradas durante o projeto do edifício. Neste grupo, estão incluídas as normas técnicas específicas de ventilação, ou a falta delas, e outras que tratam de assuntos que podem entrar em conflito com a sua utilização, tais como as normas de segurança contra fogo e também as normas de acústica.

A falta de conhecimento, por parte dos projetistas dos processos da ventilação natural e a dificuldade de utilização das ferramentas disponíveis implicam em risco de funcionamento inadequado, o que, aliado a não remuneração pelo projeto específico, desencorajam os projetistas tornando-se barreiras para o uso da ventilação natural durante a fase de projeto.

Ferramentas simples de projeto, softwares ou diagramas aplicáveis no desenvolvimento de projetos por arquitetos, engenheiros, consultores ou projetistas para analisar as vantagens e desvantagens dos diferentes conceitos de ventilação precisam ser desenvolvidos (COTTING, 1998). Durante o processo de projeto as soluções de arquitetura e engenharia propostas devem ser checadas em relação a sua performance em condições normais ou extremas. Para isso os projetistas precisam ter ferramentas confiáveis e acessíveis. A ventilação natural é uma área onde as ferramentas são particularmente escassas ou difíceis de serem manipuladas (ALLARD, 1998). Isso gera desconforto para o projetista, pois

além da modelagem ser complicada, a análise dos dados pode ser confusa para não especialistas. Esta dificuldade pode ser minimizada com a elaboração de novas ferramentas, mais acessíveis para a maior parte de projetistas, o que seria suficiente nos casos mais simples, mas também com a conscientização de que algumas tipologias arquitetônicas ou edifícios específicos, como é muitas vezes o caso dos edifícios de escritórios, demandam um trabalho mais complexo, onde somente especialistas são capazes de escolher as melhores soluções a serem implementadas e desta forma precisam estar envolvidos o quanto antes no projeto.

As diferentes barreiras para implementação da ventilação natural como única ou a principal estratégia de resfriamento do edifício, bem como a incerteza sobre a habilidade de controle dos ambientes internos em diversas circunstâncias, certamente significam um risco para o projetista de que o empreendedor ou os próprios usuários não fiquem satisfeitos com o seu projeto. É certamente mais fácil e mais confortável a adoção de soluções mecânicas convencionais por parte do projetista com desempenho garantido apesar do maior custo.

O segundo grupo se refere às atividades exercidas nos edifícios de escritórios e barreiras durante a sua operação.

Em climas frios, a movimentação do ar no interior do edifício pode causar incômodo, efeito "draught". Este efeito ocorre quando se exercem atividades sedentárias e o ar frio provoca o resfriamento excessivo do corpo como um todo ou de uma de suas partes. Também é desagradável a sensação provocada pela colisão de ar em alta velocidade contra as pessoas ou a movimentação indevida de materiais, este último bastante indesejável em ambientes de escritórios (RUAS e LABAKI, 2001). Neste grupo podemos incluir ainda a poluição e os altos níveis de ruído externo existentes nos meios urbanos, e outras questões como a segurança contra invasões ou a segurança física dos usuários e a necessidade de controles para que o edifício possa funcionar bem com a utilização da ventilação natural.

Um dos pontos mais importantes para os ocupantes dos edifícios é a segurança contra a entrada de pessoas não autorizadas. Segundo Allard, isso implica em que todas as aberturas no fechamento do edifício sejam protegidas principalmente nos andares mais baixos onde o acesso é mais

fácil. Existem outros intrusos indesejados como pequenos animais, pássaros, por exemplo, e também insetos que podem entrar através de aberturas grandes ou pequenas, baixas ou altas para as quais são necessárias soluções específicas. As grades de proteção e telas têm sido artifícios bastante utilizados para solucionar a questão da segurança (ALLARD, 1998).

O tamanho reduzido das aberturas para evitar a entrada de intrusos pode causar limitações na intensidade da ventilação natural, enquanto grades ou telas são bastante rejeitadas por diminuir a entrada de luz e prejudicar o contato com o meio externo, além de representarem um custo extra. As grades ainda representam uma grande barreira às rotas de escape e requerem compensação com outras soluções.

A chuva também pode ser uma barreira. As aberturas para ventilação natural também podem permitir a entrada de chuva causando danos aos materiais de acabamento interno, mobiliário, equipamentos, etc. Para preveni-la as aberturas devem ser controladas, seja pelos próprios usuários ou por algum tipo de controle automático. O controle manual requer a presença dos usuários no edifício, o que implica no fechamento das mesmas por razões de segurança, quando estes não estiverem presentes e desta forma compromete a ventilação natural - principalmente resfriamento noturno. A alternativa neste caso seria a utilização de janelas com soluções inteligentes de *design* como palhetas especiais que podem proteger contra a entrada de intrusos, insetos e também da chuva, entre outras soluções de projeto em esquadrias.

A ventilação natural se baseia no fluxo de ar por pressão dos ventos ou diferença de temperatura, porém estes requisitos não são constantes durante todo o ano, estações e mesmo durante um dia, e a suas variações podem gerar desconforto por vários motivos aos usuários de edifícios ventilados naturalmente. Assim algum tipo de controle é fundamental para ajuste das aberturas de acordo com as necessidades de cada momento. Estes controles podem ser manuais ou automáticos. No caso de controle manual, o usuário precisa ter um nível mínimo de conhecimento para operar as aberturas adequadamente e as mesmas precisam ser suficientemente simples para oferecer diferentes possibilidades de ventilação e ainda assim serem operáveis pelo usuário comum. De outra forma a automação se torna fundamental para garantir o bom funcionamento do sistema.

A escolha pelo tipo de controle não é tarefa tão simples, pois envolve a análise de outros sistemas como resfriamento ou aquecimento, arquitetura (divisões internas layout, etc), capacidade dos ocupantes de operarem apropriadamente o sistema, além do custo total (ALLARD, 1998).

Existe uma grande falta de conhecimento em termos de integração com outros componentes, mas também em relação a performance do sistema. Sistemas de controle simples e eficientes precisam estar disponíveis para tornar o usuário independente em sua operação. Seria também interessante o desenvolvimento de novas tipologias de esquadrias para promover melhor o fluxo do ar, evitar o "efeito draught", facilitar o controle com melhor design (COTTING, 1998).

Tanto os sistemas manuais quanto os automáticos têm vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas. Em geral um sistema automatizado oferece maiores vantagens em edifícios de escritórios (onde as cargas internas costumam ser maiores que 40W/m^2), sendo que se o mesmo oferecer um mínimo de controle por parte do usuário se torna mais interessante apesar de ser tecnicamente mais complexo e mais caro (ALLARD, 1998).

O terceiro grupo de barreiras ao uso da ventilação natural se refere aos mitos na especificação das esquadrias.

Existe o receio dos projetistas de que as soluções necessárias ao bom funcionamento da ventilação natural possam impactar negativamente na arquitetura, além de alguns mitos como a geração de fluxos de ar incontroláveis por janelas abertas em edifícios altos, ou a possível perda de energia em caso de edifícios que combinam ar condicionado e ventilação natural, entre outros (BOERSTRA e KURVERS, 2000).



3 O Conforto Térmico e a Ventilação Natural

3.1 Conforto Térmico

O conforto térmico pode ser definido como a situação de satisfação psicofisiológica com as condições térmicas de um ambiente onde a manutenção da homeostase humana é obtida (DUTT, DEAR and KRISHNAN, 1992 apud BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

ou:

O estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 1992)³

Diversos autores relacionam o conforto térmico ao equilíbrio térmico do corpo humano. Isto porque o homem mantém a temperatura corporal interna relativamente constante sob as mais variadas condições termo-higrométricas. O equilíbrio térmico do corpo humano é mantido por um sistema orgânico chamado termorregulador que através de ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente.

O conforto e equilíbrio térmico do corpo estão relacionados porque a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para manter o equilíbrio térmico. Quanto maior for o trabalho do sistema regulador para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (Ruas, 2001).

É importante lembrar que o conforto térmico é uma sensação e sua avaliação é subjetiva, isto é, depende das pessoas. Assim, um ambiente confortável termicamente para uma pessoa pode ser desconfortável para outra. Desta forma, quando se trata das condições que propiciam bem estar a um certo número de pessoas, não necessariamente se atenderá a todas (Ruas, 2001).

³ Tradução da autora para "that state of mind which expresses satisfaction with the thermal environment" (ASHRAE, 1992)

3.1.1 Variáveis de Conforto Térmico

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis tais como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar.

A combinação destas variáveis determinará a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Desta forma uma outra definição para conforto poderia ser "a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada" (RUAS, 2001).

3.1.1.1 Variáveis Pessoais

- Taxa de Metabolismo

É a taxa de transformação da energia química em calor e trabalho mecânico devido às atividades do organismo humano. Geralmente esta taxa é expressa em termos de unidade de área da superfície total do corpo, por exemplo W/m^2 .

$$1\text{met} = 58,2W/m^2 = 18,4 \text{ Btu/h.ft}^2$$

A taxa de metabolismo também pode ser expressa em "met" ou "Btu/h.ft" (ASHRAE 55, 2004).

- Isolamento da Vestimenta

É a resistência à transferência de calor sensível entre o corpo e o meio devido à vestimenta. A grandeza desta resistência depende principalmente do tecido e do modelo da roupa. É importante notar que

este isolamento se refere à transferência de calor do corpo todo incluindo as partes não cobertas como cabeça e mãos.

A unidade em que se expressa o isolamento pela vestimenta é o "clo".

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Para cálculo, pode-se usar:

$$I_{cl} = \sum I_{clu}$$

Onde:

I_{cl} - Isolamento térmico básico da vestimenta, clo

I_{clu} - Isolamento térmico efetivo dos itens de vestuário, clo (ASHRAE 55, 2004).

A norma ISO 9920, 1995 e norma Ashrae 55, 2004 apresentam tabelas completas com o isolamento de cada peça do vestuário. Como exemplo, o isolamento de um par de sapatos é 0,02 clo, de uma camisa de mangas longas é de 0,25 e de uma calça de trabalho é 0,24.

3.1.1.2 Variáveis Ambientais

- Temperatura do ar

É a temperatura do ar ao redor do indivíduo, expressa no sistema internacional em °C. O corpo pode perder ou ganhar calor do ambiente se a temperatura do ar for diferente da temperatura da pele. Esta troca se dará por convecção e dependerá da diferença entre as temperaturas, sendo que a velocidade do ar representa um importante incremento nestas trocas.

- Temperatura radiante

Corresponde à temperatura superficial uniforme de um envoltório preto imaginário no qual o ocupante iria trocar a mesma quantidade de

calor por radiação que num ambiente não-uniforme existente (ASHRAE 55, 2004). Também é expressa no sistema internacional em °C.

- Umidade Relativa

A umidade relativa do ar é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1m³ de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1m³ pode conter quando está saturado naquela temperatura. A umidade relativa varia com a temperatura do ar.

Quanto mais seco estiver o ar maior será a sua capacidade de absorver umidade da pele e remover calor, sendo que o inverso também é verdadeiro.

- Ventilação

A contribuição da ventilação na remoção de calor varia de acordo com a temperatura do ar e também da umidade.

A velocidade do ar acelera as trocas ao redor do corpo e pode representar um importante fator no conforto térmico em climas quentes ou desconforto em climas frios.

3.1.2 Índices de conforto

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para se estimar a sensação térmica das pessoas quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais.

A maioria dos índices expressa a sensação de conforto como uma temperatura de referencia que combina o efeito da temperatura do ar, umidade, radiação e movimento do ar. Esta estimativa possibilita a avaliação da condição de conforto térmico de um ambiente. Os índices podem estar representados como escalas, tabelas entre outros.

Os primeiros trabalhos para o desenvolvimento de critérios de conforto térmico foram realizados no período de 1913 a 1923. Em 1923, a ASHVE, Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento e

Ventilação, publicou o trabalho de HOUGHTEN e YAGLOU que estabelecia “linhas de igual conforto”, definidas depois como de temperatura efetiva, e determinava a “zona de conforto”, e assim nascia o “Índice de Temperatura Efetiva” mostrado na figura 3. Os experimentos que originaram este índice foram desenvolvidos em laboratório (RUAS, 2001).

Posteriormente, foram incorporadas outras variáveis como a velocidade do ar (HOUGHTEN e YAGLOU, 1924), e da vestimenta (YAGLOU e MILLER, 1925), entre outras que indicavam um novo intervalo de conforto como influência das estações do ano no conforto térmico das pessoas (RUAS, 2001).

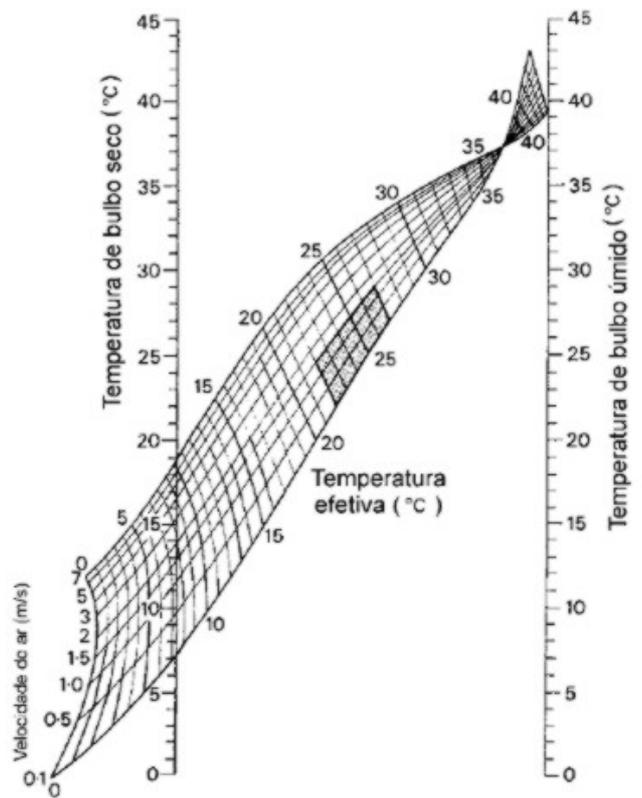


Figura 3 – Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas). Fonte: Szokolay, (1980), p.278 apud Ruas, 2001.

Atualmente, o método mais conhecido e aceito é o Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), que foi desenvolvido por Fanger (FANGER, 1970).

Os trabalhos de Fanger se basearam em dados obtidos em experiências de laboratório, com mais de 1300 pessoas, para estabelecer uma equação que estima a partir das variáveis ambientais e pessoais a sensação térmica média das pessoas – PMV Predicted Mean Vote - quando exposto a uma determinada combinação dessas variáveis. O PMV é dado na seguinte escala de sensações térmicas:

- 3 muito frio
- 2 frio
- 1 leve sensação de frio
- 0 neutralidade térmica
- +1 leve sensação de calor
- +2 calor
- +3 muito calor

A equação desenvolvida por Fanger é bastante difícil de ser utilizada devido a sua complexidade. Para facilitar a aplicação do método, foi elaborada uma tabela que fornece o voto médio estimado de acordo com a combinação de diferentes níveis de atividade, vestimenta, velocidades relativas do ar e temperaturas do ambiente. Parte da tabela de Fanger será apresentada na tabela 1.

Com o objetivo de estimar a quantidade de pessoas termicamente descontentes com um ambiente, Fanger relacionou o valor do PMV com a porcentagem estimada de insatisfeitos – PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied apresentado na figura 4.

Tabela 1 – Parte da tabela dos Votos Médios Estimados de Fanger

Grau de atividade física = 58,2 W/m ²											
Vestimenta clo	Temp. Ambiente °C	Velocidade relativa do ar (m/s)									
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50	
0	26	-1,62	-1,62	-1,96	-2,34						
	27	-1,00	-1,00	-1,36	-1,69						
	28	-0,39	-0,42	-0,76	-1,05						
	29	0,21	0,13	-0,15	-0,39						
	30	0,80	0,68	0,45	0,26						
	31	1,39	1,25	1,08	0,94						
	32	1,96	1,83	1,71	1,61						
33	2,50	2,41	2,34	2,29							
0,25	24	-1,52	-1,52	-1,80	-2,06	-2,47					
	25	-1,05	-1,05	-1,33	-1,57	-1,94	-2,24	-2,48			
	26	-0,58	-0,61	-0,87	-1,08	-1,41	-1,67	-1,89	-2,66		
	27	-0,12	-0,17	-0,40	-0,58	-0,87	-1,10	-1,29	-1,97	-2,41	
	28	0,34	0,27	0,07	-0,09	-0,34	-0,53	-0,70	-1,28	-1,66	
	29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	-0,10	-0,58	-0,90	
	30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11	-0,14	
31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83	0,63		
0,50	23	-1,10	-1,10	-1,33	-1,51	-1,78	-1,99	-2,16			
	24	-0,72	-0,74	-0,95	-1,11	-1,36	-1,55	-1,70	-2,22		
	25	-0,34	-0,38	-0,56	-0,71	-0,94	-1,11	-1,25	-1,71	-1,99	
	26	0,04	-0,01	-0,18	-0,31	-0,51	-0,66	-0,79	-1,19	-1,44	
	27	0,42	0,35	0,20	0,09	-0,08	-0,22	-0,33	-0,68	-0,90	
	28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	-0,17	-0,36	
	29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34	0,19	
30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86	0,73		
0,75	21	-1,11	-1,11	-1,30	-1,44	-1,66	-1,82	-1,95	-2,36	-2,60	
	22	-0,79	-0,81	-0,98	-1,11	-1,31	-1,46	-1,58	-1,95	-2,17	
	23	-0,47	-0,50	-0,66	-0,78	-0,96	-1,09	-1,20	-1,55	-1,75	
	24	-0,15	-0,19	-0,33	-0,44	-0,61	-0,73	-0,83	-1,14	-1,33	
	25	0,17	0,12	-0,01	-0,11	-0,26	-0,37	-0,46	-0,74	-0,90	
	26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	-0,08	-0,33	-0,48	
	27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08	-0,05	
28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48	0,37		
1,00	20	-0,85	-0,87	-1,02	-1,13	-1,29	-1,41	-1,51	-1,81	-1,98	
	21	-0,57	-0,60	-0,74	-0,84	-0,99	-1,11	-1,19	-1,47	-1,63	
	22	-0,30	-0,33	-0,46	-0,55	-0,69	-0,80	-0,88	-1,13	-1,28	
	23	-0,02	-0,07	-0,18	-0,27	-0,39	-0,49	-0,56	-0,79	-0,93	
	24	0,26	0,20	0,10	0,02	-0,09	-0,18	-0,25	-0,46	-0,58	
	25	0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	-0,12	-0,23	
	26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22	0,13	
27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56	0,48		
1,25	16	-1,37	-1,37	-1,51	-1,62	-1,78	-1,89	-1,98	-2,26	-2,41	
	18	-0,89	-0,91	-1,04	-1,14	-1,28	-1,38	-1,46	-1,70	-1,84	
	20	-0,42	-0,46	-0,57	-0,65	-0,77	-0,86	-0,93	-1,14	-1,26	
	22	0,07	0,02	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,56	-0,66	
	24	0,56	0,50	0,43	0,37	0,28	0,22	0,17	0,02	-0,06	
	26	1,04	0,99	0,93	0,88	0,81	0,76	0,72	0,61	0,54	
	28	1,53	1,48	1,43	1,40	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14	
30	2,01	1,97	1,93	1,91	1,88	1,85	1,83	1,77	1,74		
1,50	14	-1,36	-1,36	-1,49	-1,58	-1,72	-1,82	-1,89	-2,12	-2,25	
	16	-0,94	-0,95	-1,07	-1,15	-1,27	-1,36	-1,43	-1,63	-1,75	
	18	-0,52	-0,54	-0,64	-0,72	-0,82	-0,90	-0,96	-1,14	-1,24	
	20	-0,09	-0,13	-0,22	-0,28	-0,37	-0,44	-0,49	-0,65	-0,74	
	22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	-0,14	-0,21	
	24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37	0,31	
	26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89	0,84	
28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40	1,37		

Fonte: Ruas (2002), p.35.

A aplicação do modelo PMV exige cautela. O PMV é um modelo matemático desenvolvido a partir de experiências em laboratório, com indivíduos norte-americanos e dinamarqueses, onde todas as variáveis foram medidas e controladas, condição que não pode ser garantida para as variáveis pessoais nas aplicações de campo devido aos recursos técnicos necessários. Assim essas variáveis têm que ser subjetivamente estimadas e isso pode gerar erros consideráveis na avaliação do conforto térmico (RUAS, 2001).

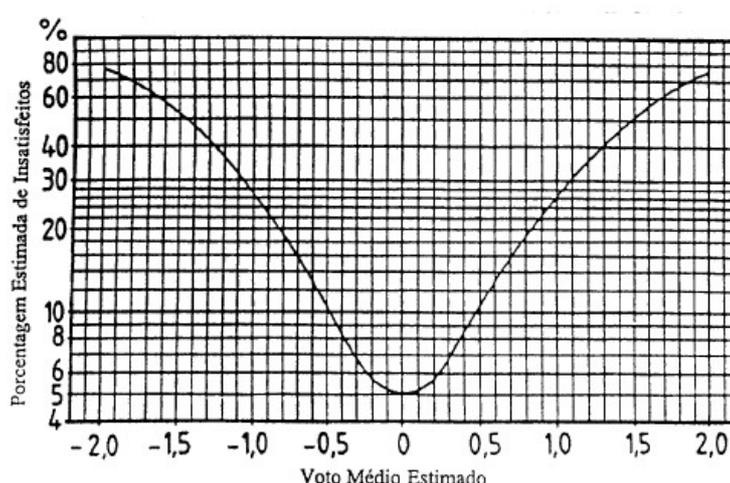


Figura 4 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV – Fanger. Fonte: Ruas (2001), p.43.

Segundo Bittencourt, a aplicação de índices e zonas de conforto desenvolvidos para climas frios e temperados, para determinar o conforto térmico em regiões tropicais, é motivo de controvérsias. Embora investigações realizadas com moradores de Cingapura tenham mostrado uma pequena diferença entre os valores preferidos por esses e aqueles obtidos por Fanger, com indivíduos dinamarqueses, queixas a respeito da inadequação desses índices para regiões quentes não são incomuns (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Outros trabalhos como o de Richard de Dear, Gail Brager e Donna Cooper também demonstram a inadequação deste método em ambientes ventilados naturalmente onde os usuários possuem controle da abertura das janelas e da velocidade interna do ar (BRAGER e DE DEAR, 2001).

Estes trabalhos resultaram na “Teoria adaptativa de conforto”. Segundo esta teoria, os usuários de edifícios ventilados naturalmente são mais tolerantes às variações de temperatura que as estabelecidas por índices amplamente aceitos como o PMV e PPD de Fanger. Esta teoria será descrita no item 3.4.

3.1.3 Efeitos do Movimento do Ar no Conforto Térmico

A ventilação natural é uma importante variável de conforto térmico.

As flutuações na temperatura efetiva, que ocorrem durante o dia em construções com ventilação natural, podem produzir sensações de conforto com temperaturas do ar significativamente mais altas que aquelas preferidas sob condições constantes em ambientes com ar condicionado. 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 e CÂNDIDO, 2005).

O efeito do movimento do ar, no conforto térmico, já foi avaliado em diversas pesquisas. O movimento do ar reduz a temperatura percebida pelas pessoas devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano e, desta forma, a zona de conforto pode ser ampliada.

Bittencourt e Cândido citam diversas destas pesquisas. Em uma delas, feita pelo BRE – Building Research Establishment na Inglaterra em 1979, é mostrado que para trabalhos sedentários, indivíduos sentados, em ambientes não ventilados, a mudança da roupa executiva (paletó) para uma roupa mais leve (camisa de manga curta de algodão e calça comprida, por exemplo), aumenta a tolerância do sujeito em cerca de 3°C e, se além desse ajuste no vestuário, existirem correntes de ar com velocidade de 1,0 m/s, o indivíduo aceitará um aumento adicional de 2,5°C devido ao efeito refrescante produzido pelo movimento do ar.

Em outra pesquisa, feita pela ASHRAE em 1974, comparando-se um ambiente com ar parado com outro onde havia uma velocidade do vento de 0,8 m/s, observou-se uma elevação de cerca de 2,5°C, na temperatura preferida de sujeitos escandinavos, sob condições de 50% de umidade relativa. Este efeito refrescante tem sido relatado como sendo ainda maior em outros experimentos.

As pesquisas de Fleury (1990) e Cook (1989) indicam que o movimento do ar pode produzir sensação de conforto sob temperaturas acima de 30°C e velocidades do vento aceitáveis, mas para temperaturas dentre 33 e 37°C a velocidade do ar não afeta significativamente a sensação térmica. Neste caso, a proximidade entre a temperatura do ar e da temperatura da pele reduz consideravelmente, o potencial das trocas térmicas por convecção entre o corpo humano e a corrente de ar, podendo, quando ultrapassar a temperatura da pele, gerar desconforto.

As vantagens do movimento do ar parecem ser independentes da direção da velocidade do ar em relação ao corpo, mas a turbulência de ar tem sido reconhecida como uma importante variável de conforto. Uma maior turbulência e variação da direção do fluxo de ar dentro das construções podem aumentar as trocas de calor por convecção e é possível que isto também possa afetar a sensação de conforto.

Para fluxos turbulentos de ar, a média de temperatura preferida aumenta em 0,7°C, quando comparada com um fluxo laminar, sugerindo uma maior troca de calor do corpo com o fluxo de ar. O movimento turbulento produzido por ventiladores de teto é bastante eficaz para elevar a temperatura preferida de conforto. Clark (1989) verificou que a sensação de uma pessoa exposta a uma velocidade de ar de 1 m/s numa temperatura de 29°C foi equivalente a 24°C sem a ventilação, produzida por um ventilador de teto.

A velocidade máxima do ar considerada como aceitável pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s de acordo como diferentes autores. 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.

Pode-se concluir que são necessárias algumas alterações nas zonas de conforto mais freqüentemente utilizadas para considerar mais adequadamente os efeitos da velocidade do ar no conforto térmico. Segundo Bittencourt e Cândido, “a variabilidade e duração por curtos períodos de tempo, de condições desconfortáveis, parece não constituir um sério distúrbio para a maioria das pessoas, pois os seres humanos têm um sistema fisiológico flexível que preserva por um certo período de tempo uma resposta constante a despeito da mudança de ambiente” (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

3.2 Normas Técnicas

Segundo Allard, as normas, ou regulamentos para edifícios têm dois principais papéis na utilização da ventilação natural. Se elas existem, podem ser um grande impulso para tal utilização ou de algum dispositivo especificamente. Como exemplo o autor cita o código da Holanda que foca o desempenho energético global do edifício – Dutch Energy Performance Norm e identifica opções para utilização da ventilação natural e também o da Suíça onde se exige uma autorização para aplicação de equipamentos de ar condicionado, tornando obrigatória a comprovação da sua necessidade (ALLARD, 1998). Porém, se os regulamentos não existem, ou não tratam corretamente a questão, já se tornam uma barreira.

Os regulamentos também podem ser uma importante barreira se impõem requerimentos específicos com relação à segurança contra-fogo ou à acústica, por exemplo, que podem entrar em conflito com a utilização da ventilação natural.

Segundo Allard, os regulamentos contra-fogo são feitos, pensando na segurança do usuário, visando evitar a geração e propagação do fogo o que pode ser complicado num edifício intensamente ventilado, com grandes fluxos de ar entre ambientes, num mesmo pavimento ou em pavimentos diferentes (ALLARD, 1998).

Desta forma, a ventilação para diminuição das temperaturas internas e aumento da qualidade do ar deve levar em conta este aumento de risco. Os regulamentos variam bastante de país para país e mesmo de acordo com a interpretação dos responsáveis pela aprovação de projetos, como o corpo de bombeiros. Apesar disso, alguns pontos são comuns a todos eles como os cuidados com a fachada, onde alguns códigos consideram as aberturas como “áreas não protegidas” e a “compartimentação”, que exige zonas de proteção contra-fogo internamente para permitir a evacuação do edifício.

Estas exigências não significam a impossibilidade do projeto tratar em conjunto, soluções específicas para as duas necessidades, porém implicam em um esforço extra de compatibilização e conhecimento por parte dos projetistas para atender a todas estas demandas.

A maioria dos regulamentos sobre acústica estabelece níveis mínimos de atenuação sonora entre o ambiente externo e o interno ou níveis máximos permitidos em cada ambiente de acordo com o seu uso. As aberturas, por serem fontes de entrada de ruído, devem ser tratadas adequadamente e localizadas no edifício, onde os requisitos de acústica e ventilação possam ser atendidos simultaneamente.

Segundo Cotting, as normas e regulamentos devem ser melhorados para oferecerem um maior suporte técnico e legal para os projetistas de edifícios ventilados naturalmente. Estas normas devem ainda oferecer um roteiro de cálculo simples e fácil para o cálculo da ventilação natural (COTTING, 1998).

3.2.1 Normas Brasileiras

A normalização brasileira passou a tratar do desempenho térmico passivo das edificações e de conforto térmico a partir de 2005. Antes disso, o conforto térmico somente era tratado na NBR 6401 (1980) que estabelece parâmetros para projeto de instalações de ar condicionado com especificações relativas aos intervalos de temperatura dos ambientes e umidade relativa para pessoas em atividades sedentárias.

A ventilação natural era referenciada de forma genérica nos Códigos de Obras e Edificações, que se baseiam em áreas mínimas de janela relacionadas às superfícies habitadas. Este critério sempre foi bastante contestado. Muitos autores propõem que as normas deveriam ter base no número de renovações de ar necessárias a cada ambiente. Neste caso seriam considerados a ocupação, as atividades desenvolvidas, critérios de qualidade do ar, entre outros.

Segundo Toledo, "alguns poucos trabalhos brasileiros trataram da normalização da ventilação natural dos edifícios. O documento do BNH, Banco Nacional da Habitação, elaborado pela Fundação Prefeito Faria Lima em 1981, que estabelece diretrizes gerais de desempenho dos edifícios, condições para implementação e componentes do edifício pode ser considerado pioneiro nesta linha" (TOLEDO, 2001).

Na última década, o Programa de Tecnologia de Habitação – Habitare⁴ – financiado pela FINEP⁵, reuniu especialistas nas áreas de desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações em um amplo projeto de normalização. Depois de muitas discussões, revisões, reuniões virtuais e presenciais, os textos de desempenho térmico e iluminação foram publicados pela ABNT⁶ com validade desde 30/05/2005⁷.

A norma NBR 15220 – Desempenho térmico das edificações estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades dos termos relacionados com o desempenho térmico de edificações, além de métodos de cálculo das propriedades físicas dos materiais, um zoneamento bioclimático brasileiro com diretrizes construtivas para habitações, e métodos de medição da resistência e condutividade térmicas.

Para tanto a norma está dividida em cinco partes: parte 1 – Definições, símbolos e unidades; parte 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações; parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; parte 4 – Medição da resistência térmica e da condutividade

⁴ <http://habitare.infohab.org.br/>

⁵ FINEP – Financiadora de estudos e projetos do Ministério de Ciência e Tecnologia. www.finep.gov.br

⁶ ABNT – Associação brasileira de normas técnicas.

⁷ Adaptado do trabalho da aluna Cecília Mueller para a disciplina Projeto Arquitetônico: Critérios para Adequação Climática das Edificações - AUT5815, 2º semestre 2004.

térmica pelo princípio da placa quente protegida; parte 5 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Na parte 3, onde se estabelece o zoneamento bioclimático e as diretrizes que devem ser adotadas para cada zona, inclui-se um item “aberturas para ventilação”. Nele aparecem as classificações: grandes, médias ou pequenas. No anexo C, de caráter informativo, consta a tabela C.1 – Aberturas para ventilação, onde se explica esta classificação. Nela novamente estão relacionados os tamanhos das aberturas com a área do piso. Desta forma, aberturas pequenas são as que possuem de 10% a 15% da área do piso; aberturas médias de 15% a 25% da área do piso; e as grandes possuem até 40% da área do piso.

Existem outras normas brasileiras que tratam de ventos, mas não o fazem com foco na ventilação natural relacionado ao desempenho térmico dos edifícios. Por exemplo, a NBR 10821 (ABNT, 2000) se preocupa com as questões estruturais e de estanqueidade da caixilharia da fachada; a NBR 599 (ABNT, 1978) trata da segurança estrutural dos edifícios; e a NBR 6401 (ABNT, 1980) e a portaria 3523/98 do Ministério da Saúde preocupam-se com as taxas de renovação de ar, apenas de ambientes climatizados. Da mesma forma, a Anvisa⁸ estabelece a “Taxa de renovação do ar adequada para ambientes climatizados” no caso, mínimo de 27 m³/hora/pessoa”, exceto no caso específico de ambientes como lojas, centros comerciais, bancos e outros, onde a taxa de ocupação de pessoas por m² é crítica (ANVISA, 2005).

Além das normas ABNT o Brasil ainda possui a CLT⁹ que através da CIPA¹⁰ tem o objetivo básico de prevenir acidentes e melhorar a qualidade dos ambientes de trabalho. Este documento estabelece as condições mínimas que um ambiente precisa oferecer para que seus funcionários executem suas tarefas com conforto e segurança e está relacionada a segurança e medicina do trabalho. Sobre conforto térmico, a seção VIII – art.176 – estabelece que os locais de trabalho deverão ter ventilação natural compatível com o serviço realizado. Parágrafo único: “a ventilação artificial será obrigatória sempre que a natural não preencher as condições de conforto térmico”. No art.178, estabelece-se que as condições de conforto térmico dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro dos limites fixados pelo ministério do trabalho¹¹.

⁸ ANVISA - Agencia Nacional de Vigilância Sanitária

⁹ CLT - Consolidação das leis do trabalho.

¹⁰ CIPA - Comissão interna de prevenção de acidentes.

¹¹ Adaptado do trabalho da aluna Cecília Mueller para a disciplina Projeto Arquitetônico: Critérios para Adequação Climática das Edificações - AUT5815, 2º semestre 2004.

O avanço que temos hoje na área de normalização brasileira de desempenho térmico de edificações aparece desde os anos oitenta em trabalhos como os de MASCARÓ et al. (1985), do IPT / ALUCCI et al. (1986), FROTA e SCHIFFER (1987) e o Modelo para elaboração de Códigos de obras e Edificações (BAHIA et al., 1997) entre outros que apresentaram diversas recomendações sobre o uso da ventilação natural nos edifícios (TOLEDO, 2001).

3.2.2 Normas Internacionais:

No âmbito internacional, até há pouco tempo, engenheiros e arquitetos estavam limitados quanto à possibilidade de usarem a ventilação natural devido a parâmetros de normas como a Ashrae 55 e a ISO 7730, que podiam ser considerados bastante rigorosos por não distinguirem o que é termicamente aceitável em ambientes climatizados e em ambientes ventilados naturalmente.

Recentemente a "ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" foi revista. Nesta última versão, Ashrae 55-2004, pela primeira vez, se estabelece que os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais se eles tiverem maior controle sobre elas.

A Ashrae 55 foi revista para permitir velocidades do ar mais altas que as previstas na versão anterior de 1992, no caso dos ocupantes terem controle sobre a velocidade do ar. Por exemplo, para uma dada temperatura do ar e temperatura radiante, uma velocidade do ar de 0,8 m/s pode oferecer uma sensação térmica de 2,6°C menor para atividades sedentárias e ocupantes com 0,5 clo. Desta forma os projetistas têm maiores condições de estabelecer quando e onde um condicionamento artificial total é requerido num edifício e, quando e, sob que circunstâncias é possível incorporar estratégias passivas, sem sacrificar o conforto térmico.

A norma 55 da ASHRAE foi inicialmente divulgada em 1966. Desde então, foi revisada uma vez em cada década, incorporando os últimos avanços técnicos de conforto térmico. Derivada de experimentos

laboratoriais, usando o modelo de equilíbrio térmico do corpo humano, esta norma tentou proporcionar um critério objetivo de conforto térmico, em particular, especificando combinações de fatores pessoais e ambientais que tornariam aceitáveis ambientes térmicos internos para o índice de 80% dos ocupantes de um edifício (BRAGER e DE DEAR, 2001). Este índice será apresentado no capítulo 4.

Da mesma forma, a EN ISO 7730, 2005 – foi recentemente revista. Elaborada a partir dos trabalhos de Fanger publicados em 1970, originalmente, baseia-se em requerimentos para conforto térmico geral (PMV – “predicted mean vote” e temperatura operativa) e desconforto térmico local (temperatura radiante assimétrica, efeito draught¹², diferenças verticais de temperatura do ar e temperaturas superficiais do piso). Um aspecto crítico na sua revisão se relaciona à velocidade do ar. O seu aumento pode trazer um benefício para os ambientes internos em climas quentes com altas temperaturas, mas pode resultar em efeito draught, nos ambientes de locais com baixas temperaturas. Um outro ponto trata de quais requisitos relativos à umidade devem ser incluídos.

A “International Standards Organization – ISO”, foi fundada em 1947 e tem mais de 130 países membros. Segundo Olesen e Parsons, atualmente um de seus maiores desafios em relação às definições relacionadas ao conforto térmico está no conflito entre os países que constroem edifícios selados, com ambientes internos rigorosamente controlados e os países que permitem um ambiente variável e contam com as adaptações dos indivíduos aos ambientes. Apesar da questão ser bastante complexa, ela demonstra a necessidade de um consenso internacional, acima de metas e objetivos nacionais, já que uma norma internacional requer a coordenação de países e processos em consenso (OLESEN e PARSONS, 2002).

¹² Efeito “draught” é o resfriamento excessivo do corpo como um todo ou de uma de suas partes, causado por fluxos de ar frio.

3.3 A Ventilação Natural e o Projeto Arquitetônico

Segundo Bittencourt, o projeto do edifício em climas quentes e úmidos pode tomar três caminhos diferentes:

O primeiro refere-se a edifícios onde o uso do ar condicionado é fundamental e onde o isolamento da envolvente do edifício é desejável para reduzir a energia consumida pelos aparelhos de ar condicionado.

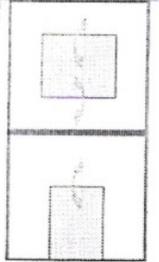
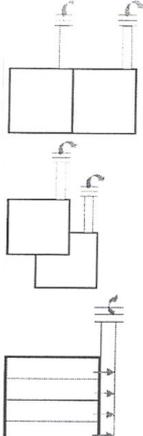
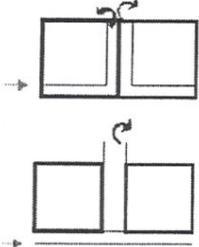
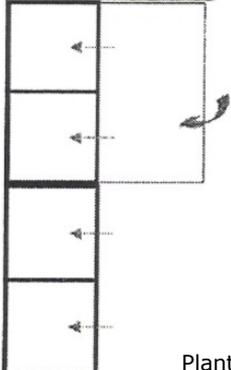
A segunda opção consiste no uso de ar condicionado somente em partes do edifício, onde um espaço particular pode requerer o controle mecânico da temperatura, tratando-se o resto do edifício através de processos passivos.

O terceiro direcionamento de projeto utiliza exclusivamente técnicas de controle passivo onde a ventilação natural se destaca e a permeabilidade ao vento desempenha importante papel (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Segundo Mascaró, a maioria das cidades brasileiras tem temperaturas médias dentro da zona de conforto, desta forma, uma boa ventilação permitiria conforto térmico aos usuários, com redução na energia gasta em refrigeração. Porém, é indispensável conhecer e aplicar as técnicas de projeto e cálculo de ventilação natural dos edifícios, com esta dupla finalidade - oferecer conforto aos usuários e otimizar o uso da energia na edificação (MASCARÓ, 1991).

Segundo Allard, um edifício que usa a ventilação natural requer a integração de estratégias de ventilação no projeto de arquitetura. Os principais efeitos físicos que promovem a ventilação natural são: o efeito dinâmico do vento e o efeito chaminé devido às diferenças de temperatura entre zonas do edifício e entre seu interior e exterior. Existem vários artifícios arquitetônicos que podem aumentar a eficiência das estratégias básicas de ventilação e integra-las ao projeto de arquitetura. A tabela 2 mostra alguns destes artifícios.

Tabela 2 - Dispositivos para ventilação natural

<p>Espaço de transição Esta estratégia de ventilação é baseada no uso de um espaço, como um atrium, com a função de melhor distribuir o ar aos demais espaços do edifício.</p>	 <p>Planta</p>	<p>- Pode ser posicionado no centro da planta ou em uma posição lateral.</p>
<p>Chaminés É a conhecida chaminé que pode variar de um edifício para outro. É importante a localização do dispositivo no ambiente</p>	 <p>Corte</p>	<p><u>Estrutura adjacente:</u> Cada espaço é ventilado individualmente. <u>Estruturas sobrepostas:</u> Os espaços são parcialmente sobrepostos, mas cada um tem sua própria chaminé. <u>Estrutura paralela:</u> Espaços similares são sobre-postos</p>
<p>Chat Os shafts são integrados no envelope do edifício. Do ponto de vista da arquitetura, este espaço pode variar em função da integração dos dutos.</p>	 <p>Corte</p>	<p><u>Estrutura adjacente:</u> cada espaço contém separadamente o seu shaft de ventilação <u>Estrutura paralela:</u> Os espaços são ventilados compartilhando os dutos de entrada e saída de ar</p>
<p>Aberturas Frontais A ventilação dos espaços é essencialmente baseada nas aberturas no envelope¹³ externo do edifício. A variação se dá na conexão dos ambientes internos e o exterior, que pode acontecer por estratégia de ventilação cruzada ou ventilação unilateral.</p>	 <p>Planta</p>	

Fonte: Adaptação de Mansouri (2002) apud Allad, 2003

¹³ O envelope do edifício é composto pelas suas fachadas e também pela sua cobertura.

Podemos considerar a ventilação natural como o deslocamento do ar através do edifício por meio de aberturas, umas funcionando como entradas e outras como saída. Segundo Frota, as aberturas para ventilação deverão estar dimensionadas e posicionadas de modo a proporcionar um fluxo de ar adequado ao recinto. O fluxo de ar que entra ou sai do edifício depende da diferença de pressão do ar entre os ambientes internos e externos, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, das obstruções internas e de uma série de implicações relativas à incidência do vento e forma do edifício.

As diferenças de pressões exercidas pelo ar sobre um edifício podem ser causadas pelo vento ou pelas diferenças de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças agindo simultaneamente. A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação denominada "ação dos ventos". O efeito da diferença de densidade provoca o chamado "efeito chaminé". Assim, a ventilação natural de edifícios se faz através desses dois mecanismos: ventilação por ação dos ventos e ventilação por efeito chaminé (FROTA, 2000).

Um projeto de ventilação cuidadoso deve levar em consideração os dois processos para um não interfira no funcionamento do outro.

Para se fazer o projeto de ventilação de um edifício, deve-se ter suficientes informações sobre os ventos locais. Direção, velocidade e frequência dos ventos, possibilidades de vendavais e dias de calmaria são dados fundamentais para o projeto de ventilação natural.

3.3.1 Ventilação por "Ação dos Ventos"

A ação dos ventos sobre o edifício causa diferenças de pressão que provocam a formação de zonas expostas a pressões positivas e de zonas expostas a pressões negativas. O vento é considerado como o ar que se desloca paralelamente ao solo em movimento lamelar. Ao encontrar um obstáculo – o edifício – sofre desvio de seus filetes e, ultrapassando o obstáculo tende a retornar o regime lamelar (FROTA, 2000).

A energia cinética do vento é transformada em energia potencial (pressão) contra obstáculos, os edifícios. Para um edifício selado, as fachadas que recebem esta pressão do vento, estarão submetidas à pressão positiva, enquanto a cobertura e as outras fachadas, estarão submetidas à pressão negativa (ALLARD, 2003).

Na figura 5, as paredes expostas ao vento estarão sujeitas a pressões positivas, enquanto as paredes não expostas ao vento e a superfície horizontal superior, estarão sujeitas a pressões negativas.

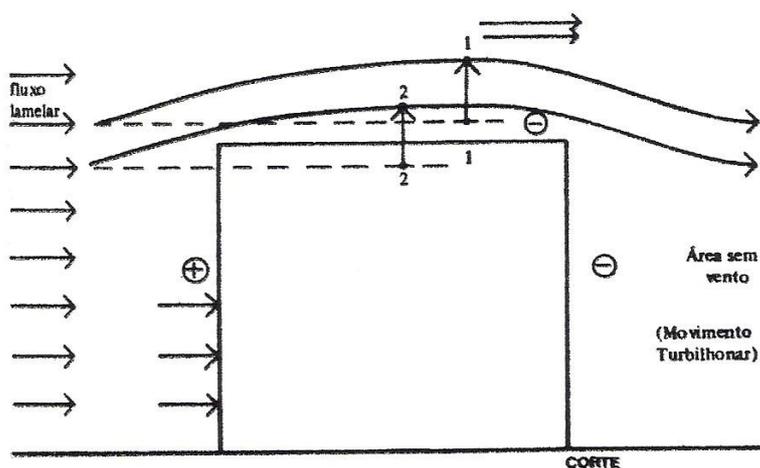


Figura 5 – Ventilação por ação dos ventos. Distribuição das pressões. Fonte: Frota, 2000.

Esta situação oferece condições de ventilação do ambiente pela abertura de vãos, em parede sujeitas a pressões positivas, para entrada de ar, e, em paredes sujeitas a pressões negativas, para a saída de ar, conforme a figura 6.

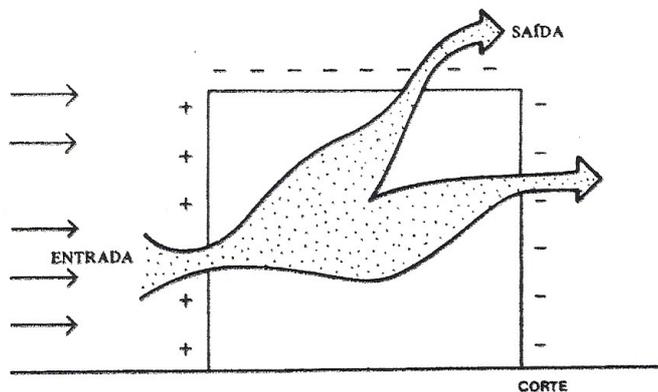


Figura 6 – Ventilação por ação dos ventos. Fonte: Frota, 2000.

A distribuição das pressões sobre o edifício depende da direção do vento com relação ao edifício e do fato de estar exposto às correntes ou protegido por outros edifícios ou obstáculos. A pressão exercida num dado ponto do edifício depende também da velocidade do vento.

A pressão num dado ponto é normalmente expressa em função da pressão dinâmica da corrente não perturbada, antes de chegar ao edifício. Essa relação é denominada "coeficiente de pressão" e seu valor pode variar entre -1 e 1. Ensaios demonstram que, em edifícios semelhantes geometricamente, esse coeficiente permanece constante, desde que a forma seja dotada de arestas. A determinação desses coeficientes é feita em modelos reduzidos ensaiados em túnel de vento.

O fluxo da ventilação devido à ação dos ventos pode ser determinado pela aplicação da seguinte expressão:

$$\Phi_v = c_a \cdot A_o \cdot v (c_e - c_s)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Onde:

Φ_v – fluxo ou vazão de ar pela ação do vento, (m³/s)

c_a – coeficiente de perda de carga por ação dos ventos

A_o – área equivalente das aberturas (m²)

v – velocidade do vento resultante na abertura (m/s)

c_e – coeficiente de pressão da abertura de entrada de ar,

c_s – coeficiente de pressão da abertura de saída de ar

No que se refere a A_o , será função das áreas das aberturas de entrada e de saída do ar, dentro da seguinte relação:

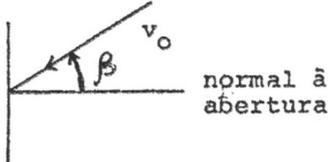
$$1 / A_o^2 = (1/A_e^2) + (1/A_s^2)$$

Onde:

A_e – área da abertura de entrada de ar (m²),

A_s – área da abertura de saída de ar (m²).

No caso de o vento não ser normal à abertura:

$$v = v_0 \cdot \cos \beta \text{ (m}^3/\text{s)}$$


Quando o vento sopra sobre um edifício exposto, se apresenta uma região de “pressões positivas” na face exposta ao vento enquanto, que se observa a formação de uma “sombra de vento”, região de pressões negativas, na face oposta.

Segundo Givoni, a diferença de pressão, entre dois pontos da envoltória de um edifício determina a força potencial para a ventilação quando há aberturas nesses pontos. Com base na pressão dinâmica do vento, pode-se obter um coeficiente de pressão adimensional, válido para condições normais de temperatura. Esse coeficiente de pressão representa um modo quantitativo de se avaliar o efeito de vários fatores, como direção do vento, forma do edifício e posição das aberturas para ventilação (GIVONI, 1976).

3.3.2 Ventilação por “Efeito Chaminé”

O “efeito chaminé” depende da diferença de densidade do ar e da altura das aberturas acima e abaixo da linha neutra. Considerando que o ar tenha a mesma composição internamente e externamente, a densidade depende somente da temperatura (ALLARD et al., 2003).

Segundo Frota, o ar do interior dos edifícios tende a estar, devido aos ganhos de calor interno e aos ganhos de calor solar, a temperaturas mais elevadas que do ar exterior, à sombra. As massas de ar aquecidas tornam-se menos densas e tendem a subir, desta forma ocorre o denominado “efeito chaminé”, que se caracteriza pela ascensão das massas de ar aquecidas, que tendem a sair pelas aberturas mais altas do recinto, proporcionando o surgimento de pressões negativas nas aberturas situadas nos pontos mais baixos, ocasionando a entrada do ar externo, com temperatura mais baixa.

Pela experiência e a partir de diversas pesquisas, sabe-se que apenas pela existência de uma temperatura do ar interno ao edifício, mais elevada que a temperatura do ar externo, será proporcionada a condição do ar interno sobreaquecido, sair dando lugar à entrada do ar externo, a menor temperatura. Observa-se que o fluxo de ar será tanto mais intenso quanto mais baixas forem as aberturas de entrada e quanto mais altas forem as aberturas de saída do ar (FROTA, 2000).

Um diferencial de pressão suficiente para promover um significativo fluxo de ar, em torno de 2Pa, começa com um diferencial de temperatura de 5K e uma diferença de altura das aberturas de 9m ou com somente 2K e a diferença de altura de 22m. Grandes taxas de fluxo de ar ocorrem através de grandes aberturas com menores diferenças de pressão. Por exemplo, 525 m³/h fluem nos dois sentidos através de uma única abertura de 1m de largura por 2m de altura com somente 1K de diferença de temperatura e uma diferença de pressão de 0,02Pa (ALLARD, 2003).

A fórmula básica para cálculo do fluxo de ar advém da analogia hidráulica. Admitindo-se para a massa específica do ar um valor correspondente a uma temperatura média do ar externo e interno, e uma diferença de pressão referidas às meias alturas das aberturas. Admitindo-se essas hipóteses – válidas para casos de edifícios de usos mais gerais onde não acontecem grandes diferenças de temperaturas, a fórmula básica para o cálculo do fluxo de ar por “efeito chaminé” é:

$$\Phi_{ch} = 0,14 \cdot A \cdot (H - \Delta t_1)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Onde:

Φ_{ch} – fluxo ou vazão de ar por efeito chaminé, (m³/s)

A – área da abertura, considerada a de entrada ou a de saída, segundo seja esta ou aquela, a menor, (m²)

H – altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar (m)

Δt_1 – (1 – m) Δt , sendo Δt obtido do balanço térmico, quando dos cálculos da temperatura interna máxima da edificação. (°C).

Quando as áreas das aberturas de entrada e de saída de ar são iguais, a fórmula acima já fornece o fluxo de ar produzido pelo “efeito chaminé”. Porém, quando as aberturas não são iguais, o incremento no fluxo causado pelo excedente de área de uma abertura sobre a outra, pode ser determinado pela aplicação do gráfico apresentado na figura 7.

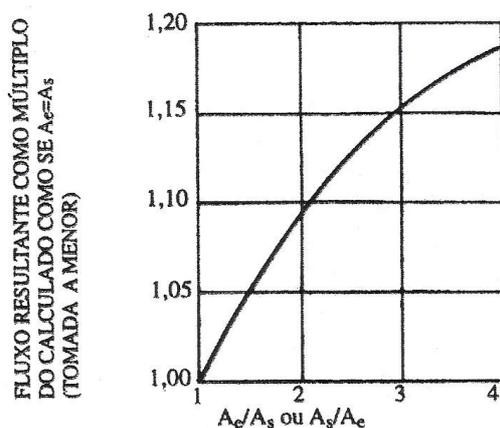


Figura 7 – Gráfico para determinação do incremento de vazão causada pelo excesso de área de uma abertura sobre a outra. Fonte: Frota, 2000.

Enquanto no caso da ventilação por “ação dos ventos” o bom senso recomenda que as aberturas destinadas à entrada de ar sejam localizadas em paredes submetidas a pressões positivas ou a montante do vento, enquanto as destinadas à saída de ar sejam localizadas em paredes submetidas a pressões negativas ou a jusante do vento, para o caso de ventilação por “efeito chaminé”, as aberturas destinadas à entrada do ar devem estar situadas abaixo do plano de “pressão neutra”, enquanto as destinadas à saída, acima do plano de “pressão neutra”. À medida que uma edificação conta com aberturas em várias alturas e com áreas variadas, o dimensionamento do sistema ou a verificação de seu desempenho demandam a verificação da posição desse plano, de modo que seja possível identificar que aberturas funcionam como entradas e como saídas de ar (FROTA, 2000).

3.3.3 Ventilação por Simultaneidade de "Ação dos Ventos e "Efeito Chaminé"

As forças devido a ação dos ventos e ao efeito chaminé podem agir no mesmo sentido ou em sentido contrário. O projeto de ventilação natural deve considerar esses aspectos, de forma que os dois efeitos colaborem um com o outro evitando que o vento predominante atue em oposição ao efeito chaminé (FROTA, 2000).

A figura 8 apresenta um esquema de atuação contrária entre a força do vento e o efeito chaminé.

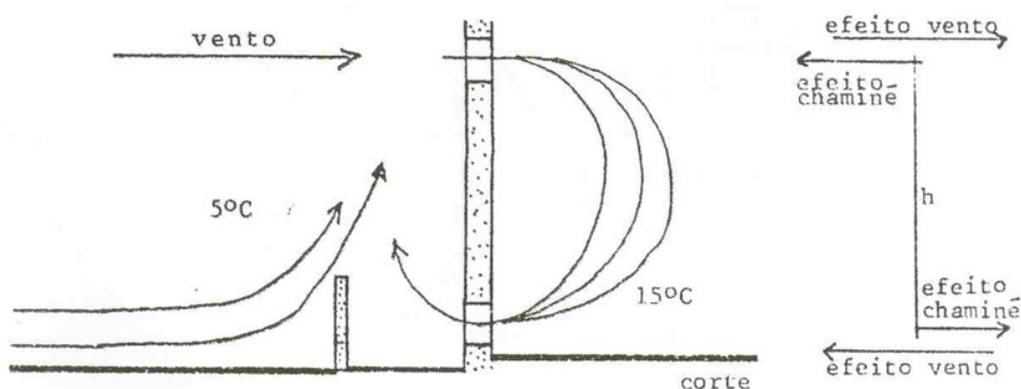


Figura 8 – Ação do vento em oposição ao efeito chaminé. Fonte: Toledo 1967 apud, Frota, 2000.

Um método simples para se conhecer a atuação conjunta dos dois efeitos será apresentado a seguir. Primeiramente, parte-se da hipótese do efeito chaminé ser o único agente da ventilação. Calcula-se a vazão proporcionada por este processo e verifica-se a velocidade do ar na abertura de saída. Este dado permite verificar a partir de qual velocidade de vento a sua ação predominará sobre o efeito chaminé. Apartir daí, calcula-se separadamente a vazão resultante da ação de cada força e a resultante final pode ser obtida pela aplicação do gráfico apresentado na figura 9 (FROTA, 2000).

No gráfico da figura 9, o fluxo devido à diferença de temperatura, ou efeito chaminé, encontra-se como o percentual da soma dos dois processos.

Sendo $\Phi_{ch} = x$ e $\Phi_v = y$, no eixo das abscissas entra-se com percentual obtido com $x/(x+y)$ e nas ordenadas encontra-se o valor de multiplicação a ser empregado para conhecimento do fluxo resultante.

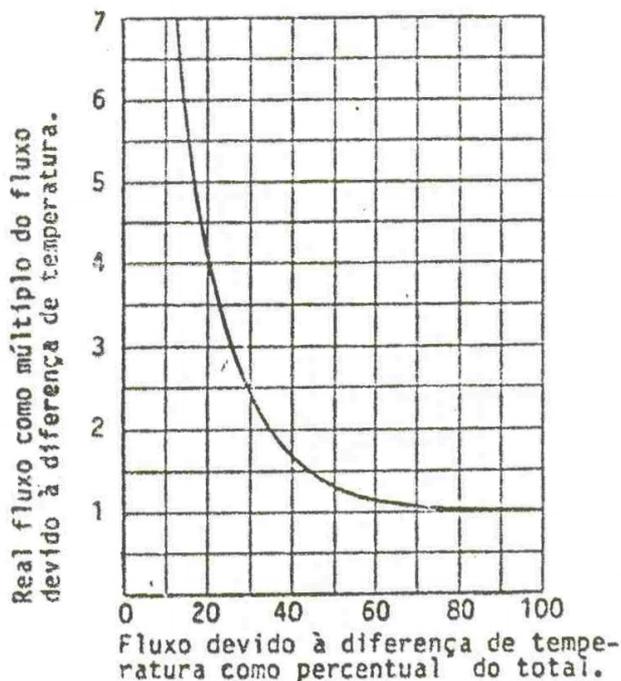


Figura 9 – Gráfico para determinação da ação combinada de forças do vento e efeito chaminé. Fonte: Ashrae,1977 apud Frota, 2000.

3.3.4 Tipologias das Aberturas

As janelas são elementos chave no desempenho energético dos edifícios. Elas influenciam significativamente:

- Nas perdas e nos ganhos de calor dos ambientes por meio de infiltrações;
- Nos ganhos de calor solar pelos vidros e também pela própria esquadria;
- São fonte de iluminação natural e,

- Podem permitir a ventilação natural para amenizar as temperaturas internas quando possuem folhas móveis ou dispositivos que permitam a passagem do ar, como persianas, venezianas, telas, entre outros.

O tamanho, a forma e a localização das aberturas para ventilação são os principais fatores determinantes da configuração do fluxo de ar no interior das construções. Bittencourt e Cândido comentam diversos pontos, em relação às aberturas que interferem na ventilação dos ambientes. Estes pontos serão descritos a seguir.

Segundo os autores, para um mesmo tamanho de abertura localizada a barlavento, maiores taxas de ventilação são obtidas quando as aberturas situadas a sotavento do edifício são maiores. Neste caso, entradas de ar maiores que as saídas reduzem o fluxo de ar porque parte da energia cinética é transformada em pressão estática ao redor das aberturas de saída. Essa configuração, porém propicia uma distribuição mais uniforme da velocidade do ar dentro do ambiente.

Já para construções apresentando aberturas de entrada e saída iguais, a média da velocidade interna de ar é função da porosidade da construção, representada pela razão do total da área aberta dividida pela área da parede, independentemente da direção do vento.

O movimento de ar dentro das construções é governado, principalmente pela direção externa do vento, pela configuração da abertura de entrada do ar e pelas forças de inércia das correntes de ar que resistem a mudanças na direção do fluxo. Com relação à distribuição do fluxo dentro dos ambientes, os autores comentam que, a forma horizontal das aberturas produz mais ampla circulação do ar, mais apropriada à sensação de conforto térmico no interior das construções de climas quentes. Da mesma forma, distribuição interna do fluxo do ar é também influenciada por campos de pressão gerados no entorno da construção pelo vento e pelas pressões existentes ao redor da abertura. Neste último caso, o fluxo se mantém perpendicular à janela quando as pressões ao redor da entrada são simétricas e passa a ser oblíquo quando elas são assimétricas.

O planejamento das aberturas de entrada é a mais eficiente estratégia para definir o componente direcional do fluxo do ar, pois ele determina os vetores das forças que afetam o ar ingressando na construção. Em geral, quando vento sopra na direção próxima à perpendicular à entrada de ar, uma maior diferença de pressão através da construção é observada. A ventilação cruzada é otimizada em ambientes com aberturas em três fachadas diferentes.

Para construções com igual porosidade, aberturas localizadas no centro da fachada produzem taxas mais altas de ventilação que as localizadas nas extremidades da mesma. Devido à inércia da corrente de vento, a influência da localização da abertura de saída na distribuição do ar interno é menor que a de entrada, exceto nas proximidades da abertura de saída.

Aberturas para ventilação podem também ser localizadas no nível do telhado ou bem acima dele, na forma de captadores de vento. A chamada "exaustão de cumeeira" é baseada no princípio de que a velocidade de ar nas cumeeiras dos telhados é aumentada e, como consequência, a pressão tende a diminuir e provocar uma sucção do ar interior, de acordo como princípio de Bernoulli, que estabelece que a soma algébrica da pressão, energia cinética por volume e a energia potencial por unidade de volume, apresenta um mesmo valor em dois pontos quaisquer do fluxo de um fluido. Desta forma podem ser usados para propiciar pontos de exaustão em espaços amplos e profundos que, juntamente com as janelas podem proporcionar razoáveis taxas de movimento de ar nestes ambientes.

A escolha do tipo das esquadrias para uma construção depende da função particular de cada espaço. Gelosias e venezianas móveis possibilitam ajustes apropriados para o controle da privacidade, vento, chuvas raios solares e iluminação natural. Esquadrias basculantes com venezianas também proporcionam bom grau de regulagem, pois se inclinam em função da posição da folha da janela.

O movimento de ar acima da altura da cabeça das pessoas é de pouco uso para produzir resfriamento fisiológico nos usuários de um ambiente. Contudo um redirecionamento do fluxo de ar pode ser conseguido através de protetores solares, elementos vazados, venezianas, painéis com lâminas inclinadas.

É importante ter em mente, que quando elementos vazados, grelhas, venezianas, ou telas contra insetos são empregados, a resistência oferecida ao movimento de ar deveria ser considerada quando da definição das dimensões das esquadrias. Para velocidades do ar abaixo de 3m/s e incidência perpendicular à tela, a redução na intensidade do vento pode variar de 20 a 40% dependendo do tipo de tela (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

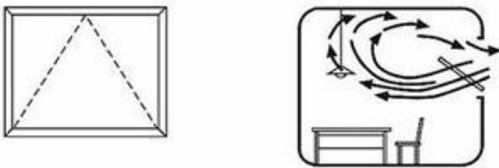
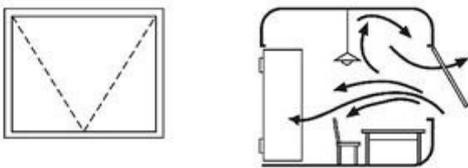
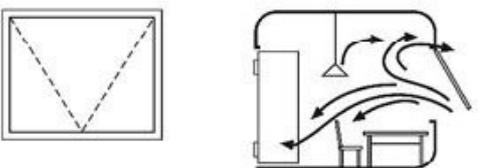
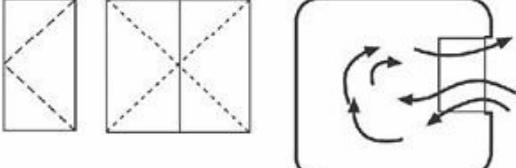
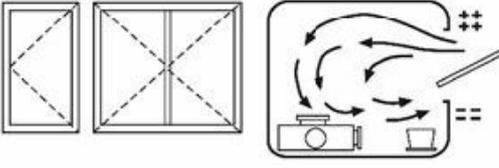
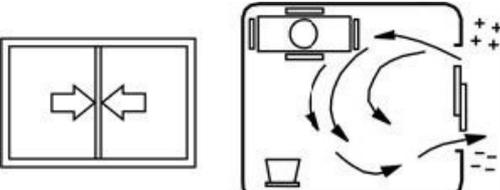
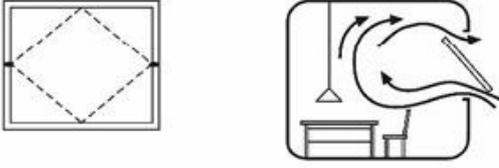
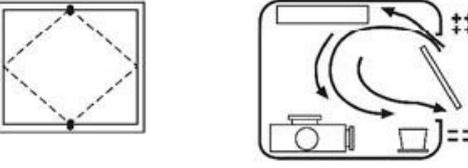
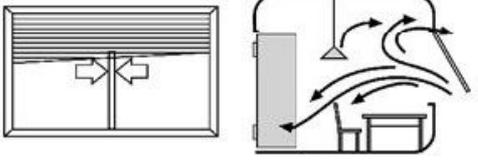
O projeto de sistemas de ventilação natural dispõe de uma grande variedade de possibilidades em relação à seleção do tipo de janelas e do seu posicionamento na fachada. Segundo Heiselberg, cada tipo de janela tem únicas características que afetam o fluxo de ar e as condições de conforto térmico dos ambientes. A combinação de diferentes tipos de janelas e localização nas fachadas pode ser capaz de melhorar o conforto térmico e minimizar o "efeito draught"¹⁴ bastante desagradável em climas frios (HEISELBERG, 1999).

No caso de ventilação por uma única fachada, existem dois fluxos de ar acontecendo na abertura, um por diferença de pressão e outro por força dos ventos ou, uma combinação dos dois. Para se descrever a capacidade de fluxo de ar por uma abertura o Cd ou coeficiente de descarga é muito usado. Este coeficiente não é constante e depende do tipo da abertura, sua área, da geometria local e da característica do fluxo de ar. Portanto o coeficiente de descarga não é muito útil como característica da abertura já que inclui a influência de muitos e diferentes efeitos como geometria, contração do fluxo, perda de pressão, características locais do ar, efeitos de temperatura, etc (HEISELBERG, 1999).

A tabela 3 apresenta algumas das principais tipologias de janelas disponíveis no mercado nacional e o respectivo esquema de fluxo do ar promovido.

¹⁴ Idem nota 12.

Tabela 3 – Principais Tipologias de portas e janelas e o fluxo de ar promovido

	
<p>Janela de tombar de eixo horizontal inferior</p>	<p>Janela projetante de eixo horizontal superior.</p>
	
<p>Janela maxim-ar projetante deslizante</p>	<p>Janela de abrir francesas</p>
	
<p>Porta balcão de abrir para o exterior/interior</p>	<p>Janela e porta de correr</p>
	
<p>Janela pivotante horizontal</p>	<p>Janela pivotante vertical</p>
	
<p>Persianas de enrolar</p>	<p>Janela basculante de múltiplos elementos</p>

Fonte: ABAL (adaptação)

3.4 O Estado da Arte no Uso da Ventilação Natural para Conforto Térmico

Diversas pesquisas demonstraram que os tradicionais índices de conforto, como o PMV (FANGER, 1970) adotado pelas normas internacionais ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994), não são adequados aos ambientes ventilados naturalmente, principalmente por não considerarem que as pessoas, quando submetidas a condições de desconforto térmico, podem tomar medidas para melhor se adaptar aos ambientes.

De acordo com estes estudos existe um grau de adaptação das pessoas ao ambiente que não é levado em conta nestes índices de conforto e assim deu-se início ao desenvolvimento dos chamados "*Modelos Adaptativos*". Segundo Brager e de Dear, esta adaptação ocorre em três esferas: a fisiológica, a comportamental e a psicológica.

A adaptação fisiológica é também conhecida como aclimação, e refere-se às respostas biológicas que resultam de prolongada exposição às condições térmicas características e relativamente extremas(...). Evidências de laboratório, entretanto, sugerem que tal aclimação não exerce grande papel nas preferências subjetivas frente ao moderado leque de atividade e condições térmicas presentes na maioria dos edifícios.

A adaptação comportamental refere-se a alguma ação consciente ou inconsciente que uma pessoa poderia fazer para alterar seu equilíbrio térmico corporal. Incluem mudança de vestuário ou níveis de atividade como o acionamento de ventilador ou aquecedor ou ainda a regulação de um difusor ou termostato. Ajustes comportamentais oferecem a melhor oportunidade para as pessoas participarem na manutenção de seu próprio conforto térmico.

A adaptação psicológica diz respeito a uma percepção alterada de reação a condições físicas devido a experiências passadas e expectativas. Ela está alojada na generalização, cruzando todas as modalidades sensoriais, não necessariamente térmicas, de que repetida exposição a um novo estímulo leva à diminuição da resposta evocada. Ela também inclui a idéia, segundo a qual a reação de uma pessoa a uma temperatura mais ou menos perfeita dependerá da expectativa e do que a pessoa está fazendo no momento (BRAGER e DE DEAR, 2001).

A mais importante destas pesquisas foi publicada no relatório da Ashrae, RP-884: "*Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*", de março de 1997 que embasou a proposta de revisão da norma 55 de 2004. Esta pesquisa envolveu a elaboração de um banco de dados controlado, contendo 21.000 tomadas de dados reunidos através de experimentos de campo de conforto térmico no interior de 160 diferentes edifícios de escritórios localizados em quatro continentes e cobrindo uma grande variedade de zonas climáticas. A grande quantidade de amostragem reduziu o risco de incertezas que podem ocorrer em amostragens relativamente menores usadas em câmaras experimentais de climatização. O sexo e a distribuição de idade dos indivíduos eram típicos de populações de prédios de escritórios e a pesquisa incluiu uma gama completa de dados subjetivos e físicos, abrangendo respostas de questionário, medições e observações meteorológicas externas. A análise de dados foi feita separadamente para edifícios com sistemas de ar condicionado central e para edifícios ventilados naturalmente. A análise apurou respostas de conforto térmico em termos de neutralidade e de preferência térmica como função de temperaturas internas e externas. As respostas observadas também foram comparadas com previsões de sensação térmica calculadas segundo modelo de equilíbrio térmico baseado no PMV.

Esta pesquisa verificou que os usuários de ambientes não condicionados são mais tolerantes em relação às variações diárias de temperatura enquanto os usuários de edifícios condicionados são mais exigentes e não toleram variações de temperatura preferindo ambientes estáticos termicamente.

Buscando-se descobrir como reagem as pessoas quando as condições se desviam do ponto ótimo, foi elaborado um modelo de regressão linear, para ponderar a sensação térmica média, e avaliar quão rapidamente as pessoas sentem calor demasiado ou frio demasiado como temperaturas desviadas do ponto ótimo. Esta análise revelou que ocupantes de edifícios com ar condicionado central eram duas vezes mais sensíveis a desvios de temperatura do que os ocupantes de edifícios ventilados naturalmente. Isto sugere que as pessoas, em edifícios com ar condicionado, têm expectativas mais altas e reagem criticamente mais depressa se a condições térmicas

divergem destas expectativas. Ao contrario, os ocupantes de edifícios naturalmente ventiladas parecem demonstrar preferência por uma gama mais vasta de condições térmicas, talvez em função da possibilidade em exercer controle sobre o seu ambiente ou porque suas expectativas são menos rigorosas. Acredita-se que esta maior tolerância se explique mais pela adaptação comportamental e psicológica do que pela fisiológica.

A pesquisa também tratou de como se define a temperatura de conforto. Em geral define-se a temperatura de conforto com a que provoca uma sensação térmica neutra. Entretanto quando se trata da *preferência* a opção pela *não mudança* representa a condição ideal. No trabalho em referencia, ambas análises foram feitas e como resultado não se verificou diferença entre temperaturas neutras e as preferidas para ocupantes de ambientes de edifícios ventilados naturalmente, enquanto nos edifícios com ar condicionado, a análise revelou que as pessoas preferem temperaturas um pouco mais quentes que as neutras em climas frios e temperaturas mais frias que as neutras em climas quentes, sendo a diferença acima de 1°C em qualquer um dos extremos.

Uma "teoria adaptativa" sugere que as expectativas térmicas dos ocupantes de edifícios e suas expectativas de conforto interno serão dependentes da temperatura externa. Desta forma a temperatura interna pode alterar de acordo com as mudanças naturais de estação. De acordo com a pesquisa, o gradiente para os edifícios ventilados naturalmente foi duas vezes maior que o achado nos edifícios com ar-condicionado. Uma possível interpretação para isso é que ocupantes de edifícios climatizados se sentem mais finamente adaptados a condições internas estáticas, enquanto nos edifícios ventilados naturalmente uma gama maior de temperaturas internas foram permitidas, sugerindo que os ocupantes destes edifícios preferiram condições mais relacionadas ao clima externo.

Concluindo, demonstrou-se que usuários de ambientes ventilados naturalmente toleram uma gama maior de temperaturas internas desde que tenham controle sobre estes ambientes, ou seja, possam abrir as janelas. Estes fatores são a base do modelo adaptativo de conforto térmico desenvolvido por de Dear e Brager. Como produto desta pesquisa, os

autores desenvolveram um novo índice de conforto que leva em conta a média diária externa da temperatura efetiva do lugar para estabelecer se um ambiente está confortável ou não. Este índice é válido para ocupantes com atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1.0 e 1.3 met e onde seja possível a livre escolha da vestimenta (DE DEAR et al, 1997).

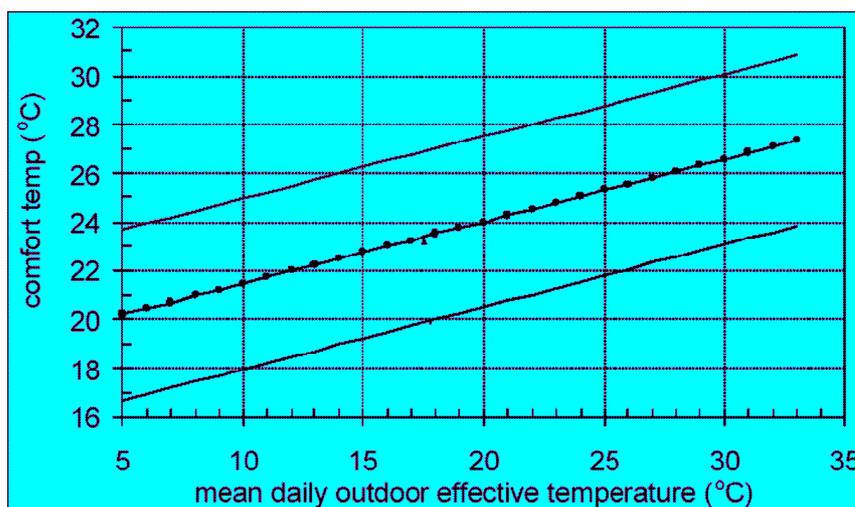


Figura 10 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper. Fonte: ASHRAE RP 884, 1997

A norma 55 da Ashrae versão 2004 inclui um índice adaptativo baseado neste trabalho.

Fanger e Toftum concordam que a percepção de conforto seja diferente em ambientes condicionados e ventilados naturalmente. Segundo eles, o PMV estaria perfeitamente adequado para ambientes condicionados situados tanto em climas frios, temperados ou quentes, porém em ambientes não condicionados em climas quentes, os ocupantes podem sentir o calor como sendo menos severo que o PMV prediz. Para eles o principal fator é a diferença na expectativa do usuário, porém acreditam que a taxa metabólica tem sido superestimada contribuindo para esta diferença (FANGER e TOFTUM, 2002).

Estes autores discordam em parte do índice proposto por Brager e de Dear por acreditarem ser difícil oferecer controle do ambientes aos usuários através da permissão da abertura das janelas. Assim este tipo de

adaptação poderia valer para aqueles ocupantes que estão localizados próximos às janelas, mas não para todos. Além disso, este índice não permite alteração nas condições de vestimenta e metabolismo e desta forma não permite extrapolações para condições diferentes. Por estes motivos eles sugerem como modelo adaptativo a adoção de um "Fator de Adaptação - e", que seria multiplicado ao PMV.

Este fator se relaciona ao período de altas temperaturas da localidade e na existência de ambientes condicionados para estimar o grau de adaptação das pessoas deste lugar. O fator "e" pode variar de 0,5 a 1, sendo 1 para ambientes condicionados, o que mantém o valor PMV original. Desta forma, acreditam estar aproveitando o melhor do método PMV que é a consideração das diversas variáveis de conforto tais como variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante, umidade e velocidade do ar e as variáveis pessoais: vestimenta e taxa metabólica e também flexibilizando o índice para ambientes ventilados naturalmente (FANGER e TOFTUM, 2002). A tabela 4 apresenta o fator de expectativa proposto por eles.

Tabela 4 - Fator de expectativa para edifícios não condicionados em climas quentes

Expectativa	Classificação para edifícios não-condicionados		Fator de Expectativa
	Localização	Períodos Quentes	
Alta	Em regiões onde edifícios com o ar-condicionado são comuns	Ocorrendo parcialmente durante a estação quente	0.9 – 1.0
Moderada	Em regiões com alguns edifícios com o ar-condicionado	Durante a estação quente	0.7 – 0.9
Baixa	Em regiões com poucos edifícios com o ar-condicionado	Durante todo o ano	0.5 – 0.7

Fonte: Fanger e Toftum, 2002

Outras pesquisas mostraram que grande parte dos usuários de edifícios gostaria de experimentar maiores velocidades internas do ar em climas quentes e também em climas frios, embora neste caso deva-se ter em mente que velocidades altas podem gerar desconforto devido ao efeito draught. Segundo Toftum, a percepção humana do movimento do ar

depende de fatores ambientais como a velocidade do ar, a flutuação da velocidade do ar, a temperatura do ar, e fatores pessoais como a sensação térmica e o nível de atividade. Para o mesmo indivíduo a sensibilidade ao movimento do ar pode mudar de dia para dia como resultado de diferentes níveis de fadiga.

Toftum cita numerosos estudos de laboratório que têm investigado a sensação térmica e o conforto dos usuários com o uso da velocidade do ar para compensar altas temperaturas tanto com baixa como com alta intensidade de turbulência. Com temperaturas de até 22 - 23°C, atividades sedentárias e ocupantes se sentindo "neutro" ou "levemente com frio", existe o risco do movimento do ar não ser aceitável mesmo em baixas velocidades. Em geral, uma sensação de frio influencia negativamente a percepção subjetiva do movimento do ar. Já com os usuários sentindo "levemente com calor" ou "neutro" com temperaturas acima de 23°C ou com atividade mais altas não existe o risco do efeito draught com o movimento do ar em velocidades de até 0,4 m/s - típicas dos ambientes internos. Com temperaturas maiores que 28°C pode-se obter conforto térmico ou o desconforto reduzido com velocidades do ar em torno de 0,8 m/s. Com temperaturas maiores que esta, em torno de 30°C, a velocidade requerida, em torno de 1,6 m/s, pode causar muita pressão na pele e um distúrbio geral no ambiente e assim tornar o movimento do ar indesejável (TOFTUM, 2004).

Baseados em experimentos com ocupantes controlando a velocidade do ar preferida em câmaras climatizadas, Fountain et al. elaboraram uma equação para prever a percentagem de pessoas satisfeitas (PS) em um ambiente com atividades e vestimenta típicas de um escritório:

$$PS = 1,13 \cdot (t_{op})^{1/2} - 0,24 \cdot t_{op} + 2,7 \cdot v^{1/2} - 0,99 \cdot v$$

Onde: t_{op} é a temperatura operativa e v a velocidade média do ar.

Este modelo pode ser usado para prever a percentagem de pessoas satisfeitas em um ambiente de escritórios quando se tem disponível movimento de ar localizado e controlado como, por exemplo, ventiladores de

mesa. É importante notar que enquanto os modelos PMV e PPD representam ambientes estáticos, este modelo reconhece que as pessoas participam ativamente, moldando o seu ambiente e ainda diz que o grau de controle oferecido ao usuário de um ambiente de escritório, para obtenção de conforto, é uma boa medida do sucesso de um edifício (FOUNTAIN et al., 1994).

Em outra pesquisa, Toftum et al. avaliaram a preferência dos usuários em relação a diversas combinações de temperatura e velocidade do ar em câmaras climatizadas. O ambiente moderado foi preferido pelos participantes da pesquisa em comparação a altas temperaturas e velocidades do ar, mas quando se ofereceu o controle individual da velocidade do ar, os votos de conforto e sensação térmica em ambientes mais quentes não se diferenciaram dos votos dos ambientes moderados. Estes resultados confirmam a importância do controle do indivíduo sobre a velocidade do ar, apesar da grande variedade de velocidade apontada pelos pesquisados: 0,35 m/s a 1,35 m/s para temperatura de 28°C e 0,55 m/s a 1,85 m/s para temperatura de 29,5°C. Concluindo, ele reforça que na prática, numerosos fatores vão influenciar se os ocupantes irão achar o movimento do ar bom ou ruim, e recomenda que para se atender a maior parte de usuários, o movimento geral do ar pode ser projetado para baixas velocidades e para aumentar o conforto daqueles que preferem velocidades mais altas, dispositivos com controle individual, como ventiladores de mesa, podem ser uma opção (TOFTUM, 2004).

Brager et al. (2004) desenvolveram uma pesquisa para investigar quantitativamente como o controle pessoal da abertura das janelas pode influenciar nas condições térmicas locais e no conforto térmico. Esta pesquisa está descrita no relatório RP 1161 da Ashrae e demonstra que os ocupantes com diferentes graus de controle têm significativamente diferentes respostas sobre o conforto térmico, mesmo quando expostos ao mesmo ambiente térmico, com atividades e vestimentas semelhantes. Foram comparadas medições da velocidade do ar com respostas subjetivas sobre a percepção do movimento do ar e verificou-se que mesmo para velocidades muito baixas tais como 0,05 m/s, 50% dos pesquisados sentiram a movimentação do ar e esta percentagem sobe para 80% com

velocidades de 0,45 m/s. A pesquisa também mostrou que os usuários reconhecem a velocidade do ar como fator direto no conforto térmico.

Concluindo, é reforçado ser claramente possível projetar um edifício naturalmente ventilado com baixo consumo de energia que seja termicamente aceitável, visto que uma grande variação de temperatura é permitida no modelo proposto na teoria adaptativa de conforto, porém isso somente é válido quando adequadas oportunidades de adaptação, isto é controle das condições ambientais, estão disponíveis aos usuários (BRAGER et al., 2004).

No Brasil, recentes pesquisas mostram que muitos dos usuários de ambientes condicionados têm a sensação de estarem respirando um ar poluído, ainda que este fato não seja verdadeiro, e reclamam da sensação de "abafamento" ou "ar parado", provocadas pelas baixas velocidades do sistema (ORNSTEIN, 2003 e 2004).

Uma outra pesquisa desenvolvida por Gan considera que a efetiva distribuição de ar fresco nos ambientes ocupados é de fundamental importância para se promover o conforto térmico e também para garantir a qualidade do ar interno. Nos ambientes ventilados naturalmente, ao contrário do que acontece nos ambientes com ar condicionado ou com ventilação mecânica, não é possível um controle muito rigoroso em relação ao fluxo do ar, desta forma o projeto destes edifícios deve considerar a profundidade máxima na qual a distribuição de ar fresco é efetiva. Esta pesquisa procurou estimar qual é essa profundidade em ambientes com ventilação natural vinda de apenas uma fachada. Neste caso o efeito chaminé é considerado como predominante enquanto a pressão do vento não é tão importante. Desta forma o fluxo de ar pode ser considerado como consequência das diferenças de temperatura e densidade do ar entre o ambiente interno e o externo. Esta consideração parece apropriada, pois na prática a ventilação pode ser necessária em períodos de baixa velocidade dos ventos (GAN, 2000).

A pesquisa foi feita com simulações computacionais CFD (*Computer Fluid Dynamics*) em um modelo de 3m de largura por 15m de comprimento buscando-se obter a distribuição da velocidade do ar. O padrão de fluxo do ar, a temperatura do ar, e a "idade" do ar foram os

parâmetros usados para verificar esta profundidade. Ficou demonstrado que a profundidade efetiva para conforto térmico pode não coincidir com a necessária para qualidade do ar e que as exigências para o conforto térmico são o fator limitante para a efetiva profundidade. A efetiva profundidade é afetada pela largura e altura da abertura bem com pela carga térmica interna e a temperatura externa. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos por Gan onde:

- w - Largura da janela
- h - Altura da janela
- q - Carga térmica interna
- Q - Taxa de ventilação
- N - Taxa de renovação
- T_n - Tempo
- T_i - Temperatura interna média
- L_t - Efetiva profundidade do ar fresco para conforto
- L_t' - Efetiva profundidade do ar fresco para qualidade do ar

Tabela 5 – Ambiente interno e efetiva profundidade de ar fresco para ventilação unilateral

Caso	W (m)	h (m)	q (w/m⁵)	Q (l/s)	N (l/h)	T_n (s)	T_i (°C)	L_t (m)	L_t' (m)
1	3.0	1.5	15	282	7.5	481	22.1	9.0	11.0
2	2.0	1.5	15	219	5.8	620	22.4	10.0	10.5
3	1.0	1.5	15	134	3.6	1010	24.1	11.0	12.0
4	1.0	1.5	5	94	2.5	1443	22.0	7.0	7.5
5	2.0	1.5	10	188	5.0	721	22.5	9.0	9.5
6	3.0	1.5	15	196	5.2	691	22.8	8.0	10.0
7	3.0	1.5	30	363	9.7	373	23.1	13.0	≥15.0
8	3.0	1.5	45	412	11.0	330	24.1	≥14.0	≥15.0

Fonte: GAN, 2000

Fica claro que as dimensões das aberturas e a carga térmica interna são determinantes no fluxo do ar e na profundidade atingida pelo ar tanto do ponto de vista do conforto térmico como da qualidade do ar (GAN, 2000).

No projeto de sistemas de ventilação natural, existe uma grande variedade de possibilidades em relação à seleção dos tipos de janelas e da posição das mesmas nas fachadas. Cada tipo de janela tem características únicas que afetam o fluxo de ar e as condições de conforto térmico. Heiselberg et al. fizeram uma pesquisa sobre o impacto de diferentes estratégias de abertura no conforto térmico.

Eles consideraram que, com a ventilação natural, ar fresco é introduzido pelas aberturas nas fachadas dos edifícios e estas aberturas são geralmente janelas, mas também podem ser grelhas ou venezianas. Sendo as forças motrizes as diferenças de pressão devido ao vento e as variações na temperatura, as condições de conforto vão depender da característica do fluxo de ar e da localização das aberturas.

Segundo os autores, no caso de ventilação unilateral, existem dois fluxos de ar acontecendo. Eles são promovidos tanto pelas variações térmicas quanto pela flutuação na turbulência do vento, separadamente ou em conjunto. No caso de ventilação cruzada, o fluxo é geralmente unidirecional através das aberturas. Na prática, a combinação de mecanismos de ventilação natural é geralmente usada e as forças naturais ainda podem ser incrementadas com a ajuda de ventiladores.

O trabalho descreve os resultados de um ensaio de ventilação com aberturas altas próximas ao teto com janelas do tipo "tombar". Os objetivos foram caracterizar os padrões de fluxo gerado por estas aberturas, obter valores dados de modelos matemáticos de fluxo de ar, observar as diferenças que acontecem nas diferentes estratégias de ventilação e estimar as condições de conforto com as diferentes estratégias de ventilação.

Em suma, é dito que para a tipologia ensaiada o fluxo assume cinco diferentes padrões que dependerão da área da abertura e das diferenças de temperatura e pressão. As medições mostraram que os coeficientes característicos das aberturas não são constantes (C_d - Coeficiente de descarga), mas dependem da área de abertura, das condições

geométricas do local e das condições do fluxo de ar; o que torna o uso de modelos para prever o fluxo de ar e as condições de conforto bastante complicados e exigem uma grande quantidade de dados de medições para o desenvolvimento destes modelos (HEISELBERG et al., 2002).

Concluindo, uma nova perspectiva se abre para o uso da ventilação natural com a adoção dos modelos adaptativos de conforto, principalmente deste a inclusão de um destes modelos na norma 55 da Ashrae de 2004.

A maior variedade de ambientes termicamente confortáveis apontada por estes modelos parece ser consenso entre diversos autores, mas as variáveis a serem consideradas para o seu desenvolvimento, ainda são alvo de discussão. A aplicação destes modelos como índices de conforto térmico exige além do conhecimento das características físicas do ambiente, um maior entendimento da percepção do usuário sobre este ambiente.

O fator 'controle pessoal' parece ser a chave para a percepção de um ambiente como confortável, porém o que vem a ser este controle pessoal ainda não está bem estabelecido. Sabe-se que a distância entre o usuário e as aberturas é um ponto importante, mas não se definiu ainda qual seria esta distância máxima em que o usuário se considera no controle de seu ambiente.

Por outro lado, a influência de diversos tipos de abertura, suas dimensões, e localização na fachada, além da capacidade do fluxo de ar gerado tornar termicamente aceitável um ambiente, tem sido estudada por pesquisadores de diversas partes do mundo, mas ainda em pouca profundidade, para condições climáticas e a cultura de projeto existentes no Brasil.



4 Edifícios de Escritórios

Os ambientes de trabalho são os locais onde se vive mais da metade do tempo em que se está acordado. Portanto, é importante que eles proporcionem condições satisfatórias de conforto ambiental para realização do trabalho desejado, não sejam nocivos à saúde dos usuários e também consumam energia de forma eficiente, tendo em vista que não se pode mais contar com a abundância e o baixo custo da mesma (ROMÉRO, 1997).

Dentro do grupo dos ambientes de trabalho, os escritórios, principalmente as torres de escritórios, vêm se tornando cada dia mais representativas nas grandes cidades brasileiras, especialmente em São Paulo. Isto se deve ao fato de São Paulo, como a maioria das metrópoles mundiais, estar voltada economicamente para as atividades do setor terciário, comércio e serviços, que têm nestes ambientes, a sua localização (SOMEKH, 1997).

Segundo Leite, diversas pesquisas internacionais e brasileiras sobre ambientes de trabalho têm demonstrado que o conforto térmico está entre os mais importantes atributos de um escritório, mas que este conforto não está sendo bem promovido (LEITE, 1997).

Em uma recente pesquisa, feita pelo NUTAU¹⁵ em conjunto com a FAUUSP¹⁶ e o IBPE¹⁷, em três empresas que ocupam andares em um edifício de escritórios de planta aberta em São Paulo, a "Torre Norte" do CENU – Centro Empresarial das Nações Unidas, praticamente 100% dos usuários participantes apontaram o Conforto Térmico como um item importante (47%) ou muito importante (52%) no ambiente de trabalho. Sendo que, quando perguntados sobre os itens que devem ser melhorados no ambiente de trabalho, o "conforto térmico" foi um dos mais citados demonstrando que qualquer desconforto de temperatura pode ter um peso grande no bem-estar e na produtividade dos funcionários (ORNSTEIN et al., 2003).

Os edifícios de escritórios possuem cargas térmicas internas que podem ser de origem externa devido às trocas com o meio ou também podem ser geradas internamente pela própria utilização do edifício através do calor gerado pelas pessoas, equipamentos e iluminação artificial. O projeto de arquitetura dos edifícios de escritórios sofreu mudanças significativas ao longo dos últimos 50 anos e hoje é comum, na arquitetura

¹⁵ NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo

¹⁶ FAUUSP - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

¹⁷ IBPE - International Building Performance Evaluation Project

destes edifícios, o fechamento completo dos caixilhos o que impossibilita sequer a ventilação diurna e noturna, assim o conforto térmico fica completamente a cargo do condicionamento artificial (DILONARDO, 2001).

4.1 – Características Arquitetônicas

Existem algumas tendências marcantes na arquitetura recente dos edifícios de escritórios em São Paulo fortemente relacionadas ao conforto térmico e ao consumo de energia nestes ambientes.

Como exemplo podemos citar a as grandes áreas dos pavimentos que chegam a ter 1000m² ou mais, com configuração aberta ou de planta livre, dificultando o controle das condições de conforto ambiental por parte dos usuários e impondo a aplicação de sistemas ativos de condicionamento de ar e iluminação artificial.

Além dos pavimentos estarem cada vez maiores, o espaço ocupado por usuários (staff) está cada vez menor com a otimização das estações de trabalho, gerando densidades ocupacionais cada vez maiores.

Outro ponto importante são os altos percentuais de áreas envidraçadas nas fachadas, variando de 40% a 100% (PIRRÓ, 2005). Este envidraçamento se não for bem trabalhado, de acordo com a orientação solar, uso de vidros eficientes e sistemas de sombreamento adequados, podem se tornar os grandes vilões na geração de cargas térmicas internas.

Os caixilhos, em muitos casos, são fixos impedindo totalmente a ventilação natural. A opção pelos caixilhos fixos se deve ao custo dos mesmos, bem menor que caixilhos móveis, e a premissa de uso do ar condicionado ao longo de todo ano, sem se considerar a economia de energia que poderia ser obtida o uso da ventilação natural, para amenização das temperaturas internas.

É interessante notar que mesmo os sistemas ativos ainda poderiam ser melhor aproveitados, com a adoção de controles individuais

ou por grupo de tarefa, evitando temperaturas muito baixas ou níveis de iluminação muito altos onde eles não são estritamente necessários.

4.2 – Características de Ocupação

A mudança na arquitetura do pavimento dos edifícios de escritórios influencia totalmente o layout das áreas.

O layout determina como as pessoas irão se organizar, influenciando o modo como ocorrerá a interação entre elas. O layout também influencia a quantidade de ruído, a circulação de ar, o conforto térmico, a existência ou não de reflexos indesejáveis, assim como a fluência dos processos, da informação, da comunicação e das pessoas dentro dos ambientes, que devem ser dimensionados e distribuídos de acordo com as necessidades de cada organização (ANDRADE, 2005).

Apesar das diferenças existentes entre as organizações, algumas características de ocupação dos escritórios se mantêm. Abaixo seguem algumas destas características obtidas nos trabalhos de Andrade (2005) e Ornstein et al. (2003, 2004).

Nos edifícios de escritórios recentes, predomina-se o conceito de escritório aberto/fechado onde grande parte das estações de trabalho é aberta, porém a maior parte dos executivos, (gerentes, diretores, presidentes) da empresa ocupam salas fechadas até o teto na periferia do pavimento.

O armazenamento de documentação é feito das próprias estações de trabalho com o uso de volante gaveteiro (para o staff) e armários baixos para secretárias e gerentes. Os diretores possuem também estantes em suas salas fechadas e o armazenamento de uso comum é feito através de arquivos deslizantes e armários, posicionados ao longo da circulação principal ou dispostos próximos às estações.

As salas de reunião posicionam-se, na maioria das vezes, na periferia do pavimento, junto às janelas.

São comuns “áreas de descompressão” onde ficam situadas as máquinas de café, às vezes com cadeiras e sofás para reuniões informais; “centrais de apoio” que são áreas com máquinas de reprografia e impressoras; e as “salas técnicas de IT¹⁸”, todas geralmente na parte central do pavimento.

A densidade média é bastante variada e cresce até o nível estabelecido por norma de 1 pessoa para cada 7m² (ABNT/NBR 9077: 2001).

O perfil predominante de atividade é o trabalho no computador (78% a 96%), seguido de leitura e escrita manual (8% a 10%). Num dia típico de trabalho, a maior parte do tempo é gasta na própria estação de trabalho (70%); na sala de reunião/atendimento (15%) e em outros lugares dentro da empresa (10%) (ORNSTEIN et al., 2003; ORNSTEIN et al., 2004).

Os escritórios de planta aberta têm em torno de 55% da área para as estações de trabalho, 10% para salas de reunião, podendo chegar a 30%, em casos onde o número de salas fechadas é muito pequeno, ou quando a empresa utiliza o conceito de escritório não territorial (vários funcionários compartilham da mesma estação de trabalho).

As áreas de apoio (área de café, copa, xerox, pool de impressão e estar) ocupam em torno de 6% a 9%, porém há uma tendência de valorização dessas áreas, a partir do entendimento de que nelas ocorrem os encontros e trocas de informações entre os funcionários sendo, portanto, um espaço de produção.

O espaço destinado ao armazenamento corresponde, normalmente, a 10% da área. Às áreas técnicas e IT são destinados em torno de 5% sendo recomendável a menor área possível para esta finalidade.

O percentual mínimo aceitável para circulação é aquele que atende as exigências de segurança contra incêndio quanto à rota de fuga. Apesar de haver uma variação em função das características do layout e tipologia do pavimento, este percentual gira em torno de 15% (ORNSTEIN et al., 2003).

¹⁸ Sigla em Inglês que se refere à Tecnologia da Informação

4.3. O Conforto Térmico e as Cargas Térmicas

Grande parte dos edifícios de escritórios em São Paulo foi projetada para utilizar o ar condicionado por 100% do tempo de ocupação.

O modelo tradicional de condicionamento ambiental combina resfriamento do ar e ventilação no insuflamento de ar frio, com o objetivo de manter a temperatura do ar interno na faixa entre 20°C e 23°C por grande parte do ano, podendo chegar aos 26°C nos dias mais quentes, com baixas velocidades do ar e umidade relativa maior que 40%.

O perfil de carga térmica de um edifício de escritório na cidade de São Paulo aumentou bastante desde que estes edifícios surgiram no final do século XIX. Isso se deve a três fatores principais:

1. Mudanças nos projetos de arquitetura
2. Mudanças no perfil de ocupação
3. Alterações climáticas

Os projetos de arquitetura passaram a adotar padrões estéticos e construtivos internacionais inadequados à realidade climática; as características de ocupação se alteraram em relação às densidades populacionais, hoje muito mais altas, e também às crescentes exigências tecnológicas. A alteração climática se deve principalmente ao fenômeno das “ilhas de calor” presente no município de São Paulo que dificulta as trocas térmicas entre o exterior e o interior dos edifícios, uma vez que esta diferença de temperatura (Δt) é significativamente menor (PIRRÓ, 2005).

O aumento das cargas internas decorrentes do perfil de uso (ocupantes, equipamentos e transporte vertical) é característica inerente à atual arquitetura e aponta de certa forma, uma tendência para o futuro dos edifícios de escritórios do setor comercial paulista e nacional. Diante disso, o projeto de arquitetura, que até o final da década de oitenta podia influenciar em até 70% do consumo destes edifícios, hoje teve sua parcela de influência muito reduzida, em grande parte, devido à elevação da quantidade de carga térmica gerada internamente pela ocupação dos ambientes (PIRRÓ, 2005).

Apesar de ter sua influência diminuída, a arquitetura ainda em grande responsabilidade na geração de cargas internas.

Alguns artifícios de projeto, como os protetores solares exteriores, trazem grande benefício ao diminuir a carga proveniente da fachada, em torno de 25%, sendo que alteração no tipo de vidro, não é tão efetiva, em torno de 12%. Outro ponto importante é a área de envidraçamento da fachada. À medida que é reduzida, as cargas térmicas devido à fachada também se reduzem fortemente, em torno de 40% (PIRRÓ, 2005).

Com relação ao clima, Gonçalves (2003), apresenta uma avaliação do comprometimento de diversos edifícios altos com as questões de impacto ambiental, incluindo aí o conforto térmico de acordo com o clima em que estão localizados. Foram avaliados edifícios com uso de escritórios em diferentes cidades, em vários países, inclusive São Paulo no Brasil.

Segundo esta pesquisa, o clima de São Paulo não indica a necessidade de uso do ar condicionado, visando amenizar as temperaturas internas, apesar de exigir maior atenção nos meses de verão. Verificou-se que o período de conforto térmico estende-se do mês de abril ao mês de novembro, resultando em 70% de todo o período de ocupação dos edifícios de escritórios. Durante 15% do tempo fora da zona de conforto, as recomendações foram de utilização da ventilação natural e do uso de massa térmica. Durante uma parcela reduzida de 10% do tempo de ocupação, referente às primeiras horas das manhãs da metade do ano, identificou-se a necessidade de captação da energia solar para o aquecimento passivo (GONÇALVES, 2003).

4.4 - O Exemplo dos Novos Edifícios de Escritórios Europeus

Em grande parte dos países europeus, a ventilação natural está ficando cada dia mais desejada por clientes e usuários de edifícios como estratégia para desenvolvimento sustentável na indústria da construção. Isto se deve principalmente às forças de mercado e aos regulamentos energéticos (YANG, 2004). Os edifícios usam de 40 a 50% da energia primária da Inglaterra e de outros países europeus, sendo que os novos edifícios energeticamente eficientes consomem 50% menos que os existentes (CIBSE BRIEFING, 2003 apud YANG, 2004).

Porém, enquanto esta onda de interesse na Europa avançou a tecnologia do uso da ventilação natural, muito trabalho ainda é necessário para que este potencial seja utilizado em outros lugares como os Estados Unidos (EMMERINCH, 2001) e também no Brasil, onde o potencial para utilização da ventilação natural, ainda é pouco explorado e estudado. Particularmente, na tipologia dos edifícios de escritórios, as barreiras em relação à sua aplicação são aceitas como limites intransponíveis.

Antes mesmo da publicação da nova versão da Ashrae 55 em 2004 e também da norma ISO 7730 entrar em revisão, alguns edifícios na Europa já tinham sido projetados para trabalhar com a ventilação natural, como estratégia passiva de amenização de altas temperaturas internas. Como exemplo podemos citar alguns edifícios ícones tais como o Commerzbank em Frankfurt na Alemanha, a sede do Nord LB em Hanover, também na Alemanha e a sede da Swiss Re em Londres.

A sede do Commerzbank (1991 - 1997) é considerada o primeiro e melhor exemplo de edifício sustentável. Projetado pelo arquiteto Norman Foster, o edifício de 56 andares foi feito para oferecer conforto ambiental com eficiência energética. A ventilação e a iluminação naturais são os principais conceitos trabalhados. Eles interagem diretamente com os sistemas mecânicos. Durante mais da metade do ano, o edifício opera com ventilação natural. Como o código alemão especifica que os trabalhadores não podem ficar a mais de 7,5 metros de uma iluminação natural, o design do edifício contempla a profundidade dos pavimentos em, no máximo, 15 metros. Um

átrio triangular provê as áreas internas com a luz do dia e permite a entrada de ar, as janelas controlam a quantidade de luz e ar que entram nos ambientes (GONÇALVES, 2003).



Figura 11 - Vista do edifício sede do Commerzbank em Frankfurt

Fonte: <http://image22.webshots.com> – acesso em 09/01/2007

No edifício sede da Swiss Re, a estratégia ambiental de climatização do edifício segue os princípios do chamado modo misto ou mixed-mode, em que o edifício pode ser condicionado passivamente, com ventilação natural, ou por um sistema de condicionamento ativo, dependendo das condições externas de clima. Os átrios são um recurso fundamental para a realização da ventilação natural, agindo como entrada e saída de fluxos de ar.

O edifício foi projetado para operar com ventilação natural dentro da faixa delimitada pela temperatura externa mínima de 5°C e a temperatura interna máxima de 24°C, ou preferencialmente 26°C. A umidade relativa

máxima permitida é de 60%. Ocorrências acima desse limite também colocarão o edifício para operar com o ar condicionado. Para condições externas abaixo de 5°C o aquecimento ativo passa a ser necessário, e a partir do momento em que as temperaturas internas ultrapassem os 26°C, a ventilação mecânica ou o ar condicionado, ou os dois, deverão ser ativados. Ventos acima de 10m/s também colocarão o edifício para operar sob as condições do ar condicionado. A marca dos 10 m/s não é exata – esse limite pode variar de acordo com as características do detalhamento da envoltória.

A porcentagem anual estimada para a ventilação natural da Swiss Re varia entre 40% e 80%, dependendo da ocorrência das condições climáticas determinantes e dos níveis de tolerância a serem definidos, como no caso da máxima interna aceitável - 24°C ou 26°C. Ilustrando essa questão, os estudos de simulação mostraram que o aumento da temperatura de projeto de 24°C para 26°C incorrem no acréscimo de 22% do tempo anual da ventilação natural. A previsão de economia de energia, decorrente da estratégia passiva de climatização, é de 30 a 50 kWh/m² por ano, comparados aos 250 kWh/m² por ano de um edifício similar de Londres, dependente 100% do condicionamento ativo (GONÇALVES, 2004).

O edifício Nord LB é em grande parte ventilado naturalmente. O interior é caracterizado por decisões de projeto relacionadas com o uso eficiente de energia. Áreas com fachadas duplas voltadas para ruas de alto tráfego proporcionam isolamento do ruído e servem como um duto de transferência de ar limpo do jardim central para os escritórios individuais e as janelas proporcionam o uso da ventilação com um desenho que facilita o fluxo do ar em seu movimento convectivo. As grandes áreas de água no jardim aumentam a reflexão da luz do dia e criam um microclima agradável. Os jardins nas coberturas também colaboram para isso e coletam água da chuva para irrigação e outros usos no edifício. Os terraços oferecem aos usuários ambientes informais e mirantes da cidade¹⁹.

¹⁹ Fonte: Material interno da Hydro Buildings Systems GmbH – Buildtec.



Figura 12 - Vista do edifício sede da Swiss Re em Londres

Fonte: <http://www.greatbuildings.com> – acesso em 09/01/2007



Figura 13 - Vista do edifício Nord LB em Frankfut

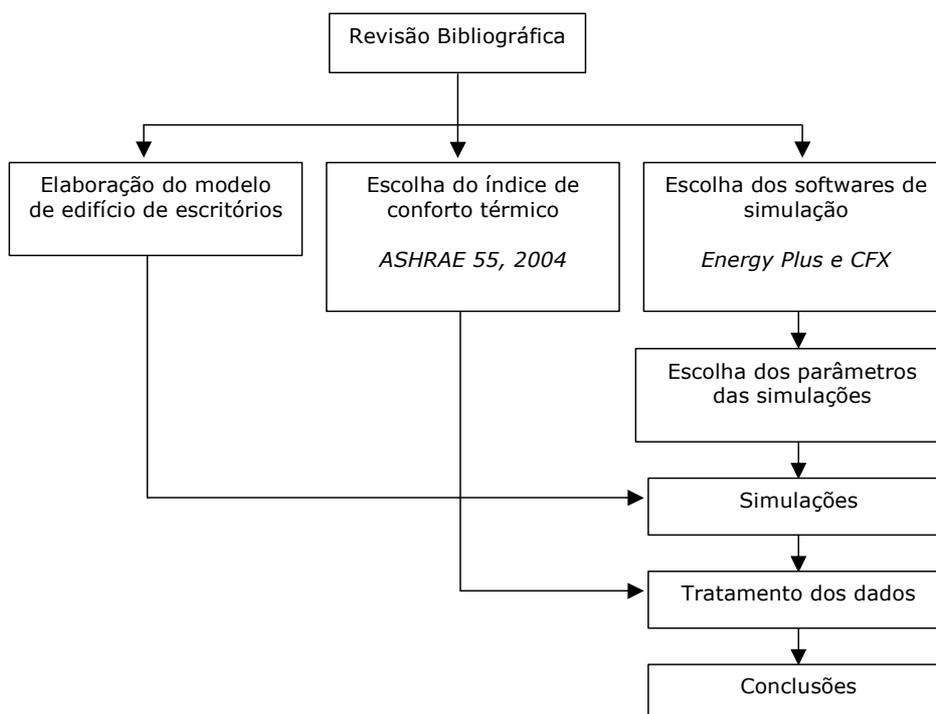
Fonte: Hydro Buildings Systems GmbH – Buildtec



5 0 Método

Diante das diversas possibilidades de avaliar o uso da ventilação natural nos edifícios de escritórios, optou-se nesta pesquisa pelas simulações computacionais de um modelo representativo, devido à praticidade e à disponibilidade destes recursos.

O método adotado consta das seguintes etapas:



5.1 – O Modelo

Para elaboração do modelo representativo do edifício de escritórios e de seu pavimento-tipo, foram pesquisados diversos trabalhos que fizeram uso de simulações computacionais para avaliações nesta tipologia arquitetônica. Entre eles destacam-se os trabalhos de Pirró (DILONARDO, 2001; PIRRÓ, 2005) que usou um modelo de planta quadrada de 35 x 35 m com core²⁰ central.

²⁰ Terminologia adotada com frequência por profissionais da área de instalações prediais, para se referirem à área central da planta-baixa de um dado andar tipo, onde estão situadas as instalações eletro-mecânicas, os elevadores, os equipamentos de condicionamento ambiental, os sanitários, copas, entre outros (ANDRADE, 2005).

Também se pesquisou, em trabalhos com levantamentos de campo e avaliação pós-ocupação (APO) em edifícios de escritórios, características importantes e comuns à arquitetura e à ocupação dos edifícios construídos atualmente em São Paulo. Entre estes trabalhos destacam-se os de ROMÉRO (1997); ROMÉRO et al (1999); ORNSTEIN (1992); LEITE (1997, 2003) e principalmente ANDRADE (2005).

Por fim, foram conferidas algumas características, diretamente, em projetos recentes elaborados pelos escritórios que mais se dedicam a esta tipologia arquitetônica em São Paulo.

A seguir, as principais características arquitetônicas, de ocupação e mercadológicas dos edifícios de escritórios em São Paulo, que foram a base para elaboração do modelo:

Altura do edifício: A maior parte dos edifícios de escritórios em São Paulo é média, tem de 5 a 15 pavimentos (39%), ou são altos, maiores que 15 andares (39%); (ANDRADE, 2005).

Área do pavimento: A maior parte dos edifícios, 58%, tem área do pavimento-tipo considerada média entre 500m² e 1000m²; e 39% tem área considerada alta, maior que 1000m² (ANDRADE, 2005).

A forma do pavimento: De modo geral os edifícios têm formato regular: quadrado ou retangular, apesar de sua geometria às vezes conter alguns recortes (ANDRADE, 2005).

Pé-direito e profundidade do pavimento: A altura do pé-direito e a profundidade do pavimento estão diretamente relacionadas ao conforto ambiental. A legislação vigente estabelece o pé-direito mínimo de 2,5m e não faz referência à profundidade da laje. Sabe-se que lajes muito profundas são ineficientes para distribuição do layout e a organização da circulação (ANDRADE, 2005). Na Alemanha, existe um parâmetro válido para edifícios de escritórios relacionado à área atingida pela iluminação natural. De acordo com este parâmetro, a profundidade máxima deve ser 7 metros da envoltória até o core, considerando que os postos de trabalho não ultrapassem a profundidade de 6 metros (GONÇALVES, 2003).

Fachadas: As fachadas são constituídas, na sua maior parte, de vidros refletivos para áreas transparentes e composições opacas de valores de "U"²¹ entre 1,54 W/m² a 2,71 W/m² (PIRRÓ, 2005). Externamente as

²¹ U - Coeficiente global de transmissão térmica.

áreas opacas podem ser revestidas de pedras, geralmente granito, chapas ou painéis compostos de alumínio, cerâmicas, entre outros.

Esquadrias: As esquadrias dos edifícios são feitas em alumínio com acabamento anodizado ou pintado, compostas em sua maior parte por quadros fixos. Nestes casos, quadros móveis são colocados apenas em locais específicos para atender exigências do corpo de bombeiros, já que estes edifícios são projetados para trabalhar com o ar condicionado funcionando o tempo todo (DILONARDO, 2001; PIRRÓ, 2005; ANDRADE 2005; GONÇALVES, 2003). Em edifícios onde se prevê a ventilação natural, a tipologia usada é a maxim-ar, colocada normalmente na modulação 1,25m de eixo entre colunas, em composição que alterna um quadro fixo com um quadro móvel. A altura pode variar bastante entre 0,80m a até 1,60 ou mais.

Dimensionamento e posicionamento do core: O core pode estar posicionado na parte central do pavimento, em uma das fachadas ou descentralizado no pavimento. O posicionamento mais encontrado é alinhado a uma das fachadas, ocupando de 14% a 24% da área construída. No Brasil, o core central é bastante usado, pois facilita a divisão de um andar para locação (ANDRADE, 2005).

Eficiência do proprietário: É a relação área útil²²/área construída²³, que irá influenciar na eficiência do pavimento do ponto de vista de quem compra e aluga. Esta razão deve ser maior que 80% (ANDRADE, 2005).

Eficiência do usuário: É a relação entre a área plan²⁴ e a área útil, bastante importante para o usuário uma vez que avalia a área que é efetivamente usada. O valor considerado bom é acima de 85% (ANDRADE, 2005).

Conceito de ocupação: O conceito mais usado é o escritório "aberto/fechado" (47%), que se caracteriza por ambientes onde as estações de trabalho são abertas, mas a maior parte dos executivos ocupam salas

²² Área útil – Compreende além da área plan as áreas fixas do pavimento de uso exclusivo do locatário, copas sanitários, compartimentos de ar condicionado, dentre outras (ANDRADE, 2005).

²³ Área construída ou área do pavimento – É a área construída total do pavimento, calculada pela parte interna da fachada (ANDRADE, 2005).

²⁴ Área plan – É a área usada para planejamento da ocupação, compreende as áreas de uso exclusivo de escritórios. É igual à área útil excluindo-se compartimentos de ar condicionado, copa e sanitários (ANDRADE, 2005).

fechadas até o teto. Em seguida estão os escritórios totalmente abertos (30%) e os parcialmente abertos (23%) (ANDRADE, 2005).

Densidade de ocupação: A maior parte dos edifícios de escritórios é ocupada com uma densidade que varia de 1 pessoa/7m² a 1 pessoa/10m², sendo que existe uma norma brasileira – ABNT/NBR 9077: 1993, que recomenda a densidade máxima de 1 pessoa/7m² para dimensionamento das saídas de emergência (ANDRADE, 2005).

Carga térmica devido aos equipamentos: Este item tem crescido muito nos últimos 20 anos, com o aumento das tecnologias disponíveis no ambiente de trabalho. Hoje cada usuário tem seu próprio computador além de alguns periféricos. 45W/m² é um valor de carga térmica devido aos equipamentos adotado para simulações em edifícios de escritórios atuais no Brasil (PIRRO, 2005).

Carga térmica devido à iluminação artificial: Nota-se uma redução na potência instalada em iluminação artificial, em decorrência do aumento de eficiência das lâmpadas, luminárias e reatores. 10 W/m² é um número bastante factível nos dias de hoje (ROMÉRO e DILONARDO, 1999) e 12W/m² é um valor de carga térmica devido à iluminação artificial adotado para simulações em edifícios de escritórios atuais (PIRRO, 2005).

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, algumas considerações precisam ser feitas:

- 1) O índice de conforto adotado, estabelecido na norma Ashrae 55, 2004 é válido onde os usuários têm controle sobre o ambiente, ou seja, podem abrir e fechar janelas de acordo com a sua vontade. Esse fato não permite plantas muito profundas, pois grandes distâncias entre a fachada e o core restringem o controle de parte dos usuários sobre as aberturas. Não foi encontrada nenhuma pesquisa que relate objetivamente qual seria esta distância máxima a ser considerada. Brager et al., em um trabalho de campo sobre a satisfação dos usuários em escritórios ventilados naturalmente, consideraram que os usuários, que possuíam alto grau de controle do ambiente, eram os que estavam em escritórios privados ou os que estavam, diretamente, ao lado da janela em escritórios abertos, enquanto os localizados “uma mesa” ou mais distante da fachada ou bloqueados por divisórias teriam baixo grau de controle (BRAGER et al., 2004).

2) O tipo de janela empregado tem grande importância para garantir o conforto quando se usa a ventilação natural. A janela interfere na distribuição do ar e controla a sua velocidade.

Na primeira fase da pesquisa, onde serão feitas simulações com o software EnergyPlus, a tipologia não é levada em consideração. Para se introduzir a ventilação natural, neste caso, foi considerada a vazão proporcionada pela área livre da tipologia maxim-ar. Na segunda fase da pesquisa, onde foram feitas as simulações com o software CFX, a tipologia foi considerada para se avaliar a estratificação da temperatura no ambiente e as velocidades do ar internamente

Baseado nas características e considerações anteriores, foi elaborado o seguinte modelo:

Arquitetura:

- Planta quadrada: 26,5 x 26,5 m;
- Altura do edifício: 75m (20 andares);
- Modulação: 1,25 m;
- Core central: 12,5 x 12,5 metros (área suficiente para: 6 elevadores, escada, instalações sanitárias, copa, área técnica de informática e circulação);
- Pé-direito: 2,7m;
- Esquadria: 1,25 x 1,60m (alternando-se um quadro móvel maxim-ar e um fixo);
- Vidros de 8mm refletivos;
- Área opaca da fachada revestida externamente de granito cor clara 30mm, seguida de câmara de ar de 70mm, alvenaria de blocos leves de 100mm e acabamento em gesso 3mm.

Obs.: Este modelo tem Índice de Eficiência do Proprietário de 0,83 e Índice de Eficiência do Usuário de 0,94.

As figuras 14 e 15 apresentam a planta e o corte do modelo elaborado para as simulações.

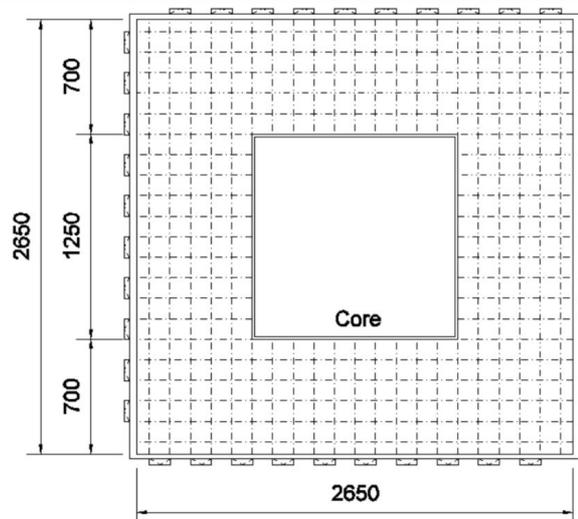


Figura 14 – Planta do modelo de edifício de escritórios

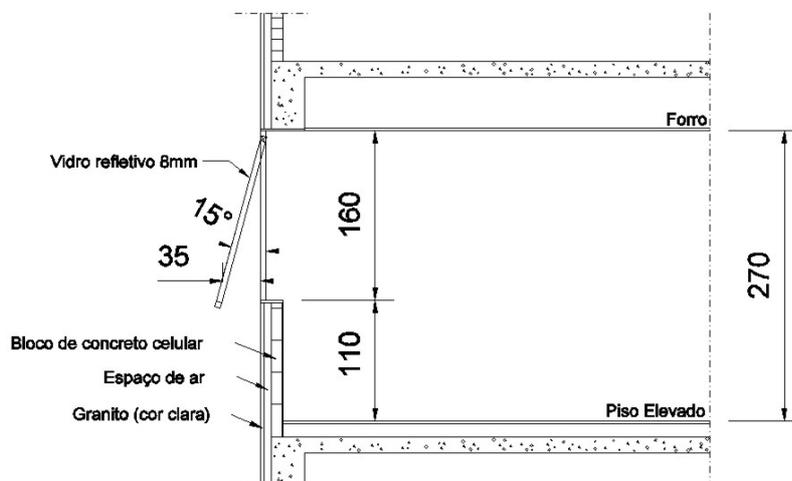


Figura 15 – Corte AA do modelo de edifício de escritórios

Ocupação:

Densidade: 1 pessoa/7,3m² - c/ nível de atividade = 1,3 Met ou 130 W por pessoa²⁵

Carga interna devido aos equipamentos: 45W/m²

Carga interna devido à iluminação artificial: 12W/m²

²⁵ A área da pele de uma pessoa pode ser calculada pela equação de DuBois
 $A_p = 0,202m^{0,425} \cdot h^{0,725}$ (m²)

Onde: m = massa e h = altura de uma pessoa (ASHRAE, 1997)

Se: $m = 0,65\text{kg}$ e $h = 1,70$ » $A_p = 1,75\text{m}^2$

1met = 58,15 W/m² (PIRRÓ, 2005)

Assim: 1,3 met = 1,3 . 58,15 W/m² . 1,75 m² \cong 130 W

5.2 – O Índice de Conforto

Conforme visto no item 3.1.2 deste trabalho, existem diversos índices de conforto térmico. Para aplicação nesta pesquisa, procurou-se um índice, aplicável a ambientes internos de edifícios de escritórios, que levasse em consideração o efeito da ventilação natural, no conforto dos usuários, tendo em vista que os usuários percebem o ambiente térmico de forma diferenciada quando o mesmo é condicionado artificialmente e quando é ventilado naturalmente.

A versão 2004 da norma Ashrae 55 “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” apresenta um índice com estas características.

A norma baseia-se na suposição de um ambiente termicamente uniforme e na possibilidade de se prover controle deste ambiente aos usuários, e estabelece que desta forma, os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais. Assim, os projetistas têm maiores condições de estabelecer quando o condicionamento artificial é requerido num edifício e, quando é possível incorporar a ventilação natural, para se proporcionar o conforto térmico.

Os benefícios de se oferecer o controle de abertura das janelas aos usuários e aumentar os limites de velocidades internas do ar se baseiam na “teoria adaptativa de conforto térmico” desenvolvida por Richard de Dear, Gail Brager e Donna Cooper, que foi apresentada no item 2.4 deste trabalho.

Os dados de entrada do índice proposto pela Ashrae 55, 2004 são:

- A média mensal das temperaturas externas (média aritmética da média mensal das máximas e da média mensal das mínimas);
- A temperatura operativa (média aritmética entre o a temperatura interna do ar e a temperatura radiante).

O método

O gráfico da figura 16, presente no item 5.3 da norma, sintetiza o índice e apresenta as zonas de conforto, onde 90% ou 80% dos usuários estariam satisfeitos.

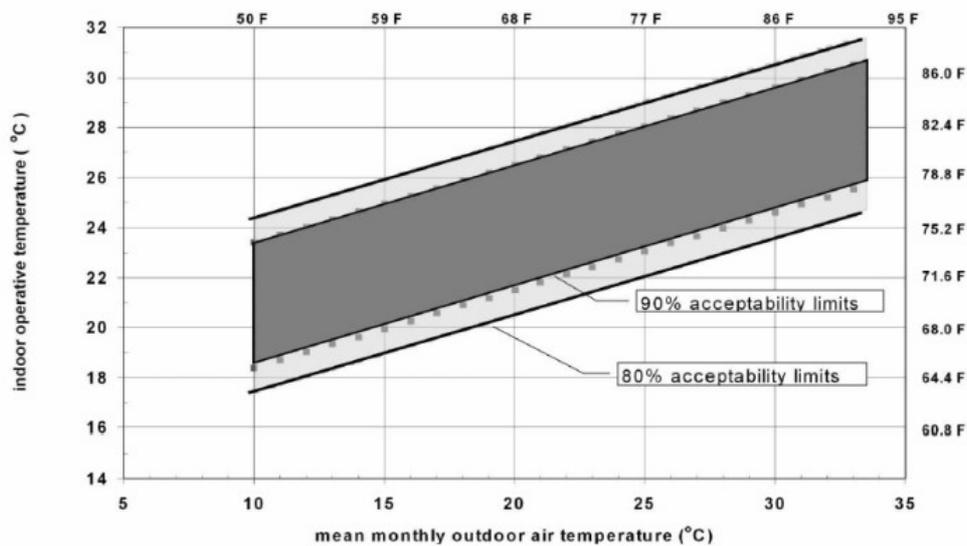


Figura 16 – Índice de conforto proposto pela Ashrae 55, 2004: Variação de temperatura operativa aceitável em ambientes ventilados naturalmente²⁶. Fonte: ASHRAE 55, 2004

²⁶ Tradução da autora para: "Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces".

5.3 – Os Softwares de Simulação

A etapa de simulações desta pesquisa dividiu-se em duas fases.

A primeira fase visou mapear os períodos de conforto térmico durante o ano. Com este objetivo, foram feitas simulações para se estimar as temperaturas operativas de forma que se pudesse fazer a avaliação utilizando-se o índice da Ashrae 55, 2004. Foi necessário um software capaz de fazer o balanço térmico de um edifício, considerando as características de clima, arquitetura, ocupação entre diversos outros fatores. Para estas simulações, adotou-se o software EnergyPlus.

Na segunda fase, o objetivo foi aprofundar a investigação em relação ao uso da ventilação natural, com a análise da estratificação da temperatura no ambiente e das velocidades internas do ar. Para isso foi necessário um software de dinâmica dos fluidos e adotou-se o CFX.

5.3.1 – O EnergyPlus

Existem diversos softwares para simulação termo-energética em edifícios. Neste trabalho, optou-se pelo EnergyPlus por ser internacionalmente aceito pela comunidade acadêmica; possibilitar simulações confiáveis de diversas tipologias arquitetônicas, sistemas construtivos e de condicionamento de ar. A versão usada foi a 1.2.3 de dezembro de 2005.

O EnergyPlus é um software de simulação de carga térmica e análise energética, desenvolvido a partir de dois outros softwares o BLAST e o DOE-2. É distribuído gratuitamente pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, na sua página da internet: www.energyplus.gov. O EnergyPlus é um software estruturado modularmente, que tem basicamente dois componentes: o simulador de balanço de calor e massa e o módulo de sistemas de HVAC²⁷ (CRAWLEY et al., 2005).

²⁷ HVAC - Heat, Ventilating and Air-Conditioning

O EnergyPlus trabalha com arquivos de entrada e arquivos de saída no formato texto, mas possui como opção de trabalho as ferramentas "EP-Lauch" e o "IDF Editor" para facilitar o trabalho dos usuários não acostumados à programação. O EP-Lauch gerencia a simulação, permite que o usuário selecione o arquivo de entrada em uma lista de arquivos recentes ou de arquivos de exemplos e também permite a seleção do arquivo climático a ser utilizado. Após a simulação, o EP-Lauch apresenta os erros e alertas ocorridos (facilitando a sua correção), disponibiliza um arquivo CAD da geometria modelada e uma planilha com os relatórios solicitados em arquivos "err" e "dxf" respectivamente.

O "IDF-Editor" pode ser utilizado para se criar e alterar os arquivos de entrada onde são descritos todos os parâmetros da simulação. Os arquivos são automaticamente gerados como "idf", que é a extensão para leitura pelo EnergyPlus. A figura 17 apresenta a tela do Idf Editor.

O EnergyPlus também gera os arquivos "rdd" que lista todas as variáveis de saída; "eio" que especifica os parâmetros da simulação e lista os resultados dos cálculos das funções de transferência por condução, além do arquivo de resultados da simulação "eso".

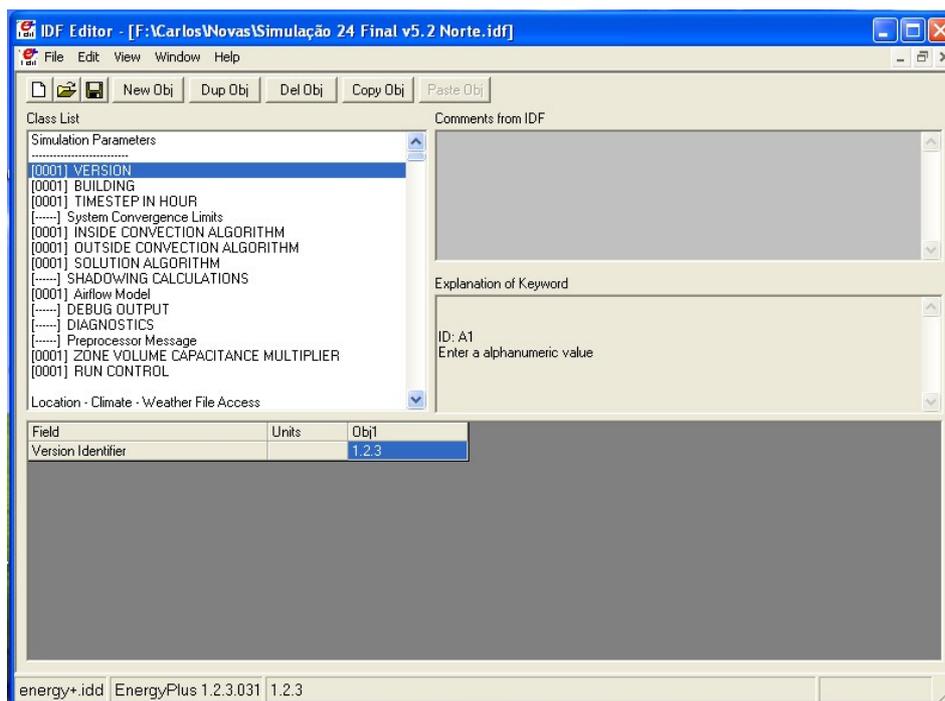


Figura 17 – Tela do IDF Editor do EnergyPlus

Os arquivos de resultados são gerados no formato "csv" e desta forma podem ser manipulados em um software de planilhas eletrônicas, o que possibilita posterior análise dos dados e geração de gráficos (HAGEL, 2005).

A maior dificuldade no uso do EnergyPlus parece ser a introdução da geometria no software, feita pela digitação de coordenadas. Porém para modelagens simples como a usada neste trabalho, isto não se tornou um problema.

Segundo Strand, o EnergyPlus apresenta algumas características que o destacam, em relação a outros softwares de simulação termo-energéticas:

- Solução simultânea e integrada onde a resposta do edifício e os sistemas primário e secundário estão acoplados;
- Possibilidade de se definir os intervalos de tempo em fração de hora, para interações entre as zonas térmicas e para iteração entre a zona térmica e o sistema de HVAC;
- Arquivos de entrada, de saída e climáticos que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias, até um sexto de hora, e relatórios alteráveis pelo usuário;
- Modelo matemático baseado no balanço de energia para cargas térmicas prediais que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiantes e convectivos nas superfícies interiores e exteriores durante cada intervalo de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos do edifício tais como paredes, tetos, piso, etc, usando as funções de transferência por condução;
- Modelo de transferência de calor e massa que considera a absorção e eliminação de umidade (EMPDA – Effective Moisture Penetration Deth);
- Modelo de conforto térmico baseado na atividade, temperatura de bulbo seco, umidade, entre outros parâmetros de acordo com os modelos de Fanger, Pierce e KSU;
- Modelo de céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;

- Cálculo de balanço de calor de janelas, o que permite o controle eletrônico de persianas, balanço térmico por camadas, e o reconhecimento do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo envidraçamento;
- Controle da luz do dia incluindo cálculo de iluminância interior, controle do brilho das luminárias e do efeito da iluminação artificial, reduzindo o aquecimento e o resfriamento;
- Sistemas HVAC configuráveis que permitem aos usuários modelar sistemas típicos e sistemas modificados, sem a necessidade de recopilar o código fonte do programa,
- Cálculo da poluição atmosférica que indica CO₂, SO_x, NO_x, CO;
- “Links” com outros ambientes de simulação, tais como “Windows 5”, “Comis” (modelo de fluxo de ar), “Trnsys” e “Spark” que permitem análise mais detalhada de algumas situações (STRAND et al., 2000).

A mais recente versão do EnergyPlus é a 1.4.0 divulgada em outubro de 2006.

5.3.2 – O CFX

O cálculo das taxas de ventilação é um procedimento importante para se estimar o desempenho térmico global do edifício, mas não fornece informações sobre a distribuição do fluxo de ar, estratificação de temperaturas internas e velocidades do ar, o que limita a avaliação da ventilação natural.

Os softwares de dinâmica dos fluidos, mais conhecidos como modelos “CFD”, *computer fluid dynamics*, permitem uma estimativa qualitativa da ventilação natural em ambientes internos e também externos.

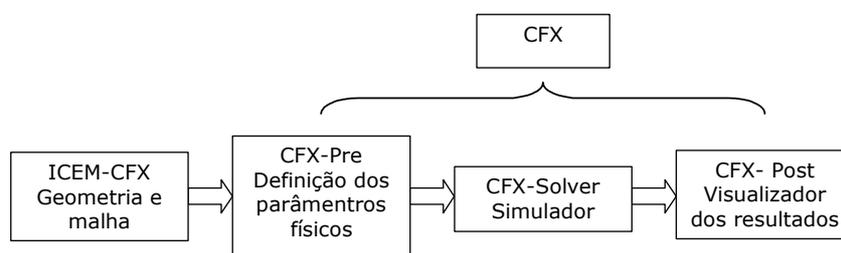
Os modelos CFD são códigos computacionais complexos, capazes de simular a dinâmica da maioria dos fluxos de ar e processos de transferência de calor. São governados pelos princípios de conservação da massa e energia térmica, usando um conjunto de equações para resolver os problemas de dinâmica dos fluidos e transferência de calor, de um modo iterativo dentro de um modelo de elementos finitos. Alguns programas permitem o monitoramento nos processos de convergência e identificam

problemas ocasionais. Os códigos podem manusear modelos bidimensionais ou tridimensionais em formato ortogonal ou não. (...) Os resultados podem ser visualizados sob a forma de vetores, onde a velocidade e a direção do movimento do ar podem ser analisadas. A distribuição dos campos de temperatura e pressão é fornecida em isolinhas. Alguns modelos permitem a identificação da energia cinética turbulenta (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

A modelagem CFD é baseada na solução de equações de fluxo de um fluido, no caso da ventilação natural: o ar, combinadas com modelos de turbulência. Estas ferramentas podem prever detalhadamente o padrão de distribuição e a taxa de fluxo, a transferência de calor através de componentes e a concentração de poluentes. Porém grandes custos computacionais e pessoais são necessários na sua utilização. Na prática, a correta representação das "bondaries conditions" (características físicas de todos os elementos da simulação como fontes de calor, fronteiras, entradas e saídas de ar, entre outras) e o casamento entre o ambiente interno e externo com a criação da malha de forma consistente são as principais barreiras ao seu uso para o projeto da ventilação natural. Alguns dos softwares mais conhecidos são: CFX, FLUENT e o STAR-CD (YANG, 2004).

Nesta pesquisa, foi adotado o software CFX 5.7 da Ansys. A simulação com o CFX, apesar de ter uma interface amigável com o usuário, requer conhecimento dos fenômenos para se utilizar adequadamente a ferramenta (PRATA, 2005).

O software CFX 5.7 é composto de três partes: Pre-processing, Solver Manager e Post-processing, sendo que a etapa de modelagem e elaboração da malha deve ser feita em um outro software o ICEM-CFX também da Ansys.



ICEM-CFX: É uma etapa interativa que visa produzir a malha para entrada dos parâmetros físicos no CFX-Pre. Antes da malha elabora-se um desenho 3D, sólido, em qualquer software CAD que possa exportar o arquivo em uma das diversas extensões compatíveis, por exemplo "sat", "iges", "x_t" entre outras. Neste trabalho foi usado o software MicroStation V8 da Bentley Sytems Inc. e o arquivo foi exportado com a extensão "sat". Os próximos passos são a definição das "parts", ou superfícies onde serão aplicadas características físicas da simulação, e finalmente a geração da malha;

CFX-Pre: Define os parâmetros físicos a serem aplicados à malha. É onde se atribuem características aos elementos da simulação, tais como o domínio, as fronteiras e as fontes de calor, as chamadas "boudaries conditions" e também se definem os controles da simulação, tais como número de interações e valores máximos para resíduos;

CFX-Solver Manager: É uma etapa não interativa, responsável pela simulação propriamente. Ele verifica e monitora a convergência dos parâmetros em simulação;

CFX-Post Processing: É o componente usado para analisar, visualizar e apresentar os resultados e funciona de forma bastante interativa. Define imagens, verifica resultados e elabora dados de saída (gráficos, imagens, filmes). O módulo Post possibilita a quantificação e visualização dos resultados do Solver. Para a visualização podem-se criar objetos em pontos diferentes do modelo como: pontos, linhas, planos, etc; que também permitem verificar os resultados. É possível elaborar contornos, vetores, planos coloridos, etc e ainda, exportar dados e arquivos para análises externas ao software. Pode-se também, produzir pequenas cenas ou filmes para apresentação (PRATA, 2005).

Na figura 18 verifica-se como o CFX trabalha os diretórios para arquivo dos resultados gerados.

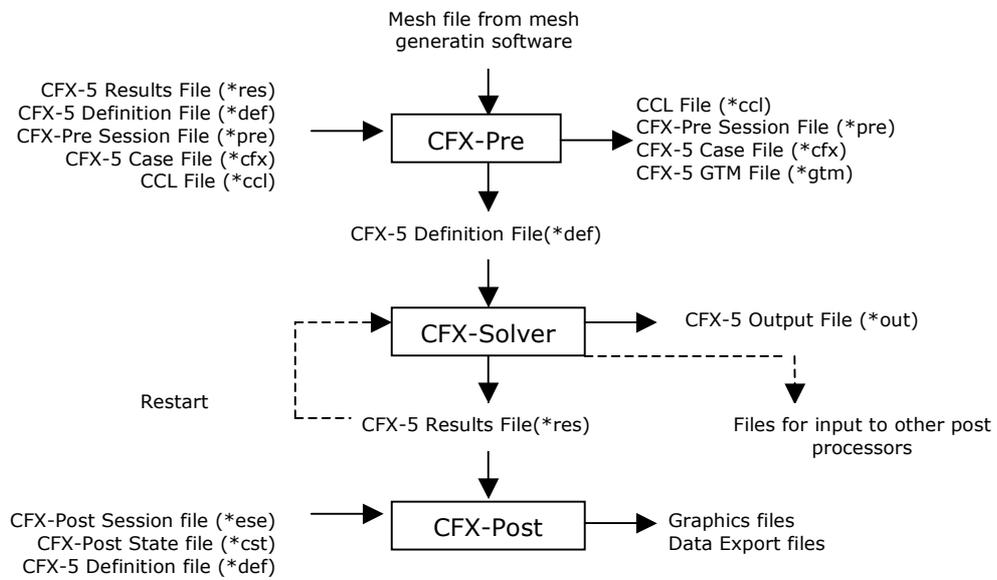


Figura 18 – Arquivos do software CFX. Fonte: PRATA, 2005 (adaptação)



6 Simulações e Discussão

6.1 - Simulações com EnergyPlus

6.1.1 - Parâmetros Usados nas Simulações com o EnergyPlus

Para se fazer as simulações térmicas utilizou-se uma área típica do modelo conforme apresentado na figura 19.

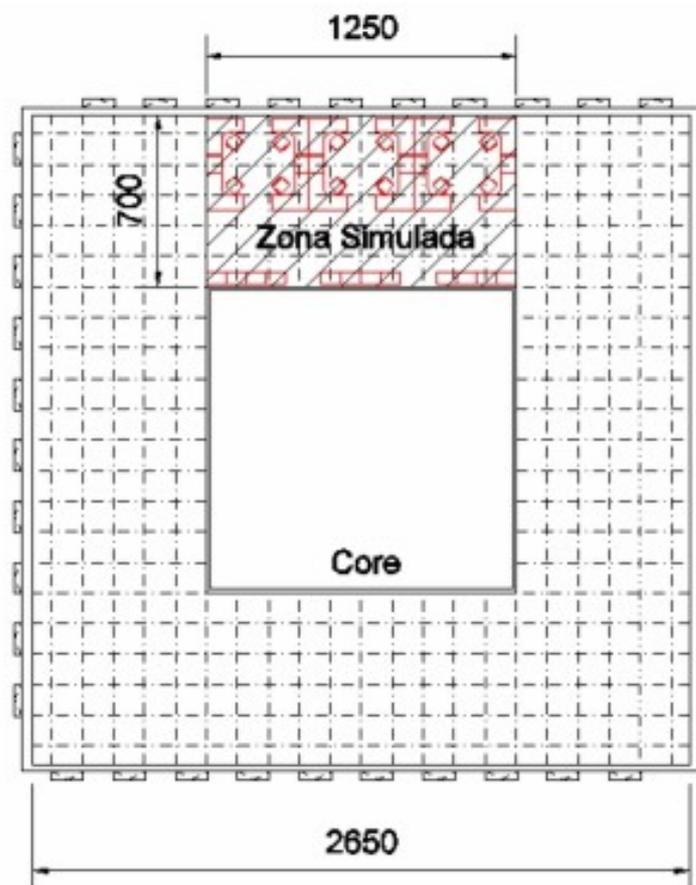


Figura 19 – Área típica do modelo

Esta área foi simulada, nas oito orientações solares (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste) para verificar se as temperaturas internas estariam confortáveis para os usuários nestas diversas condições.

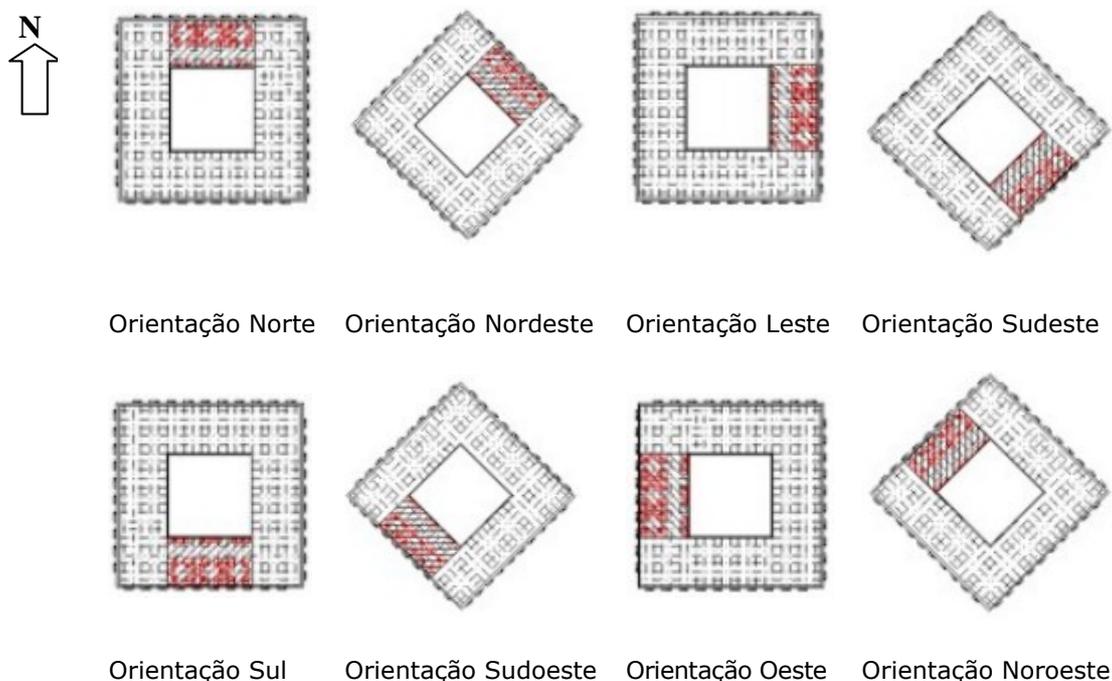


Figura 20 – Diversas Orientações Simuladas

A modelagem desta zona no EnergyPlus foi feita, isolando-a do restante do pavimento com uma fictícia “parede de ar”. Para simulações térmicas em edifícios, de escritórios esta simplificação não causa prejuízo, tendo em vista que as cargas térmicas nas zonas que a circundam são bastante parecidas com a da zona em estudo.

O banco climático usado foi o “International Weather for Energy Calculations – IWEC”. O IWEC é o resultado de um projeto da Ashrae apresentado no relatório RP1015, que disponibiliza dados climáticos para simulações termo-energéticas para 227 localidades no mundo todo, incluindo a cidade de São Paulo. Os arquivos já são fornecidos com a extensão “epw” usada pelo EnergyPlus. Maiores informações sobre o banco climático estão disponíveis no CD: “ASHRAE 2001 - International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) Users Manual and CD-ROM, Atlanta: ASHRAE”. Este banco de dados está disponível para download no site do EnergyPlus e seus dados são apresentados no Anexo A deste trabalho.

O EnergyPlus oferece a opção de escolha do algoritmo a ser usado para as trocas térmicas que acontecem no edifício. Neste trabalho optou-se pelo algoritmo CTF, que considera apenas calor sensível nas trocas térmicas. Esta opção foi feita por atender aos fenômenos térmicos que acontecem em edifícios de escritórios, em climas como o da cidade de São Paulo. O CTF é o algoritmo que o próprio manual do software recomenda para simulações ao longo de um ano.

Na modelagem da ventilação natural, foi usada a opção "Simples" na qual o usuário insere manualmente a taxa de ventilação em m^3/s da zona que está sendo avaliada.

Definir a taxa de ventilação ou a vazão do ar no edifício é um desafio para as simulações de conforto térmico, pois não se trata de uma grandeza básica como a temperatura ou o comprimento e, sim da conjunção das características dimensionais da abertura, da massa específica do fluido e do perfil de velocidades (CÓSTOLA, 2006).

Em simulações computacionais, resultados mais próximos da realidade podem ser obtidos, com o uso de CFD (CÓSTOLA, 2006). Porém não foi possível localizar uma metodologia ou exemplo que demonstrasse a maneira correta de se estimar a vazão em modelos de edifícios com múltiplas aberturas e fluxos complexos.

Uma outra opção, os "Métodos de Rede" bastante usados pelos simuladores térmicos estão sempre sujeitos a erros devido às dificuldades na definição dos coeficientes de pressão, C_p e coeficientes de descargas, C_z e costumam apresentar grandes divergências com a realidade (CÓSTOLA, 2006).

Tendo em vista as limitações existentes e, principalmente, por tratar-se de um modelo, portanto desprovido de características como entorno e rugosidade do terreno, o cálculo da taxa de ventilação foi feito no software Arqitrop e analisado criticamente quanto a sua coerência.

O Arqitrop é um software desenvolvido no Brasil pelos Profs. Maurício Roriz da Escola de Engenharia da Universidade Federal de São Carlos e Admir Basso da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, composto de um sistema integrado de rotinas e bancos de dados para

apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia visando o conforto térmico e economia de energia em edificações. O sistema calcula a taxa de renovação de ar em função do número de fachadas com aberturas, tamanho das aberturas, altura do pavimento e velocidade média mensal do vento.

O Arqutrop apresentou o valor de renovação de 10,7 V/hora que foi convertido como 0,70218 m³/s.

Sendo:

Volume da Zona = 12,5m x 7m x 2,7m = 236,25 m³;

1 hora = 3600 segundos;

10,7 V/h = 0,70218 m³/s

Demais parâmetros da simulação podem ser verificados no Anexo B, onde foi colocado o arquivo de saída "audit" do software EnergyPlus referente à simulação com orientação norte. Nas simulações, com as outras orientações do modelo, foram adotados, sempre, estes mesmos parâmetros.

6.1.2 - Tratamento dos Dados de Saída do EnergyPlus

Após a simulação, o arquivo de resultados foi transferido para o software "Excel" da Microsoft para análise. Estes resultados são relatórios com frequência horária para o período de um ano.

No Excel foram elaboradas diversas tabelas e uma planilha eletrônica para cada orientação, onde se mapeia a condição de conforto para todos os horários e meses do ano, sendo que, em destaque, aparece o período de ocupação do escritório.

As células verdes apontam o período em que a temperatura interna estaria confortável, considerando 90% de usuários satisfeitos; as células amarelas apontam a extensão do período de conforto se forem considerados 80% de usuários satisfeitos; e as células vermelhas apontam os horários fora da zona de conforto, tanto por calor quanto por frio.

O índice de conforto adotado estabelece a reta que define o conforto dos usuários como:

$$T_{op} (\text{°C}) = 0,31 T_m (\text{°C}) + 17,8$$

Onde:

T_{op} – Temperatura operativa

T_m – Temperatura média mensal

Sendo +/- 2,5 a zona de conforto para 90% de usuários satisfeitos e +/- 3,5 a zona de conforto para 80% de usuários satisfeitos. Fora destas zonas, considera-se desconforto, tanto por calor quanto por frio.

Para entrada na planilha, elaborada neste trabalho, são necessárias a média mensal da temperatura externa e a temperatura operativa horária mensal. Como o *EnergyPlus* fornece os dados horários para cada dia do ano, foi elaborada uma tabela dinâmica no Excel que processa os dados do EnergyPlus e fornece os dados necessários à aplicação na planilha.

6.1.3 – Resultados

As simulações térmicas com o EnergyPlus geraram os resultados que serão apresentados a seguir.

A tabela 6 apresenta as temperaturas externas de bulbo seco horárias para cada mês do ano.

Tabela 6 - Média Horária da Temperatura Externa de Bulbo Seco em °C

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	21,22	21,25	20,19	18,81	16,68	15,42	15,66	15,09	15,88	17,68	18,68	20,94
02	21,06	21,08	19,96	18,65	16,45	15,22	15,43	14,86	15,60	17,63	18,40	20,77
03	20,95	20,86	19,71	18,51	16,26	14,87	15,16	14,65	15,32	17,44	18,30	20,55
04	20,68	20,66	19,53	18,28	15,97	14,52	14,80	14,48	15,13	17,23	18,16	20,30
05	20,50	20,39	19,31	18,04	15,73	14,09	14,47	14,09	14,89	17,05	17,97	19,93
06	20,60	20,19	19,21	17,85	15,58	13,78	14,35	13,80	14,65	17,09	17,97	19,87
07	21,27	20,48	19,62	18,14	15,57	13,77	14,28	13,87	14,68	17,46	18,52	20,23
08	22,24	21,32	20,28	18,89	16,07	14,19	14,56	14,39	15,29	18,09	19,48	21,03
09	23,32	22,50	21,28	19,90	16,98	15,03	15,40	15,37	16,25	19,23	20,57	22,05
10	24,57	24,10	22,54	21,09	18,15	16,33	16,72	16,86	17,56	20,57	21,78	23,10
11	25,86	25,50	23,75	22,45	19,43	17,69	18,29	18,52	18,93	21,83	23,16	24,02
12	26,65	26,45	24,76	23,29	20,48	18,80	19,66	19,97	20,15	22,89	24,28	24,79
13	27,14	27,08	25,57	23,92	21,34	19,62	20,79	20,98	21,17	23,62	25,01	25,46
14	27,38	27,22	25,97	24,36	21,78	20,31	21,61	21,72	21,83	23,86	25,33	25,56
15	27,09	26,97	25,78	24,23	21,78	20,83	21,81	21,78	22,04	23,28	25,14	25,18
16	26,68	26,00	24,87	23,72	21,31	20,74	21,34	21,31	21,61	22,17	24,16	24,52
17	25,81	24,64	23,73	22,80	20,32	20,06	20,76	20,56	20,54	21,27	22,87	23,97
18	24,38	23,88	22,77	21,68	19,05	19,05	19,73	19,44	19,27	20,34	21,87	23,32
19	23,33	23,31	21,94	20,75	18,11	18,17	18,73	18,29	18,29	19,49	20,98	22,55
20	22,85	22,67	21,31	20,10	17,47	17,52	18,08	17,43	17,55	19,07	20,26	21,93
21	22,47	22,25	20,93	19,68	17,12	17,04	17,52	16,80	16,98	18,81	19,88	21,44
22	22,11	22,33	20,73	19,36	16,98	16,63	16,94	16,38	16,61	18,53	19,62	21,11
23	21,81	22,19	20,54	19,10	16,85	16,18	16,43	15,94	16,30	18,29	19,35	20,91
24	21,58	21,55	20,35	18,92	16,73	15,81	15,94	15,57	16,01	17,95	19,18	20,80

Nos próximos itens, serão apresentadas as temperaturas operativas na área simulada para cada orientação solar, hora-a-hora para cada mês do ano. Também será mostrada a avaliação das condições térmicas estimadas.

6.1.3.1 Área com Orientação Norte (N)

A simulação da área com orientação norte apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 7 - Média Horária da Temperatura Operativa para Área com Orientação Norte

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	21,96	21,96	20,79	19,28	17,05	15,71	16,63	15,71	16,70	19,05	19,47	21,49
02	21,70	21,69	20,52	19,00	16,77	15,45	16,34	15,43	16,42	18,81	19,20	21,26
03	21,44	21,43	20,26	18,74	16,50	15,19	16,05	15,17	16,14	18,57	18,94	21,02
04	21,19	21,16	20,00	18,48	16,23	14,93	15,76	14,92	15,87	18,33	18,69	20,78
05	20,93	20,91	19,74	18,22	15,97	14,67	15,47	14,67	15,60	18,09	18,44	20,53
06	20,73	20,65	19,49	17,98	15,72	14,40	15,20	14,41	15,33	17,90	18,26	20,36
07	20,82	20,58	19,39	17,85	15,54	14,18	14,96	14,25	15,20	17,95	18,44	20,51
08	24,25	23,80	22,73	21,31	18,83	17,24	17,78	17,44	18,39	21,10	21,84	23,69
09	25,84	25,39	24,46	23,28	20,74	19,10	19,46	19,28	20,08	22,70	23,41	25,16
10	26,78	26,52	25,61	24,60	22,05	20,58	20,88	20,76	21,30	23,82	24,35	25,95
11	27,63	27,57	26,57	25,78	23,17	21,91	22,39	22,17	22,44	24,80	25,25	26,60
12	28,28	28,34	27,29	26,49	24,12	22,86	23,61	23,29	23,40	25,58	25,99	27,13
13	28,76	28,87	27,83	26,99	24,54	23,56	24,48	24,08	24,14	26,14	26,51	27,60
14	29,10	29,14	28,20	27,32	24,83	23,97	25,05	24,55	24,59	26,40	26,84	27,89
15	29,18	29,12	28,24	27,18	24,85	24,05	25,03	24,57	24,65	26,22	26,89	27,89
16	29,08	28,75	27,84	26,76	24,44	23,62	24,46	24,07	24,26	25,67	26,59	27,69
17	28,74	28,10	27,16	26,04	23,60	22,77	23,59	23,26	23,52	25,06	26,02	27,37
18	28,05	27,57	26,50	25,21	22,77	22,07	22,81	22,39	22,67	24,49	25,45	26,98
19	25,36	25,04	23,90	22,53	20,11	19,20	19,92	19,45	19,88	22,05	22,81	24,41
20	23,93	23,61	22,52	21,12	18,71	17,70	18,43	17,90	18,42	20,78	21,40	23,02
21	23,39	23,07	21,99	20,56	18,16	17,15	17,86	17,32	17,85	20,30	20,87	22,51
22	23,01	22,71	21,62	20,17	17,78	16,77	17,45	16,91	17,46	19,95	20,50	22,15
23	22,69	22,43	21,31	19,83	17,46	16,46	17,10	16,57	17,13	19,66	20,18	21,86
24	22,39	22,13	21,03	19,52	17,17	16,17	16,78	16,25	16,83	19,38	19,90	21,60

Estas temperaturas, quando avaliadas segundo o índice adotado nesta pesquisa, apresenta as seguintes condições de conforto:

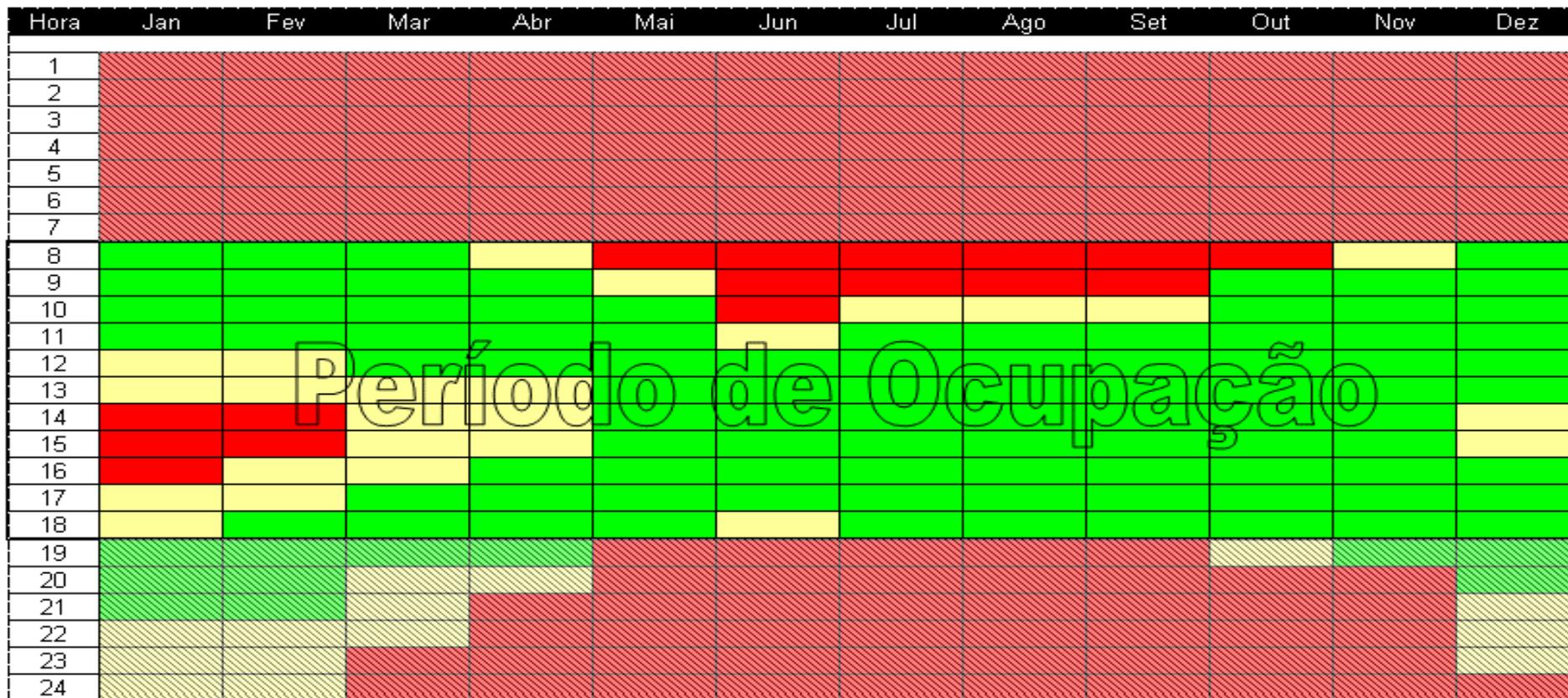


Figura 21 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação norte na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

Condição de Conforto para 90% de Usuários Satisfeitos

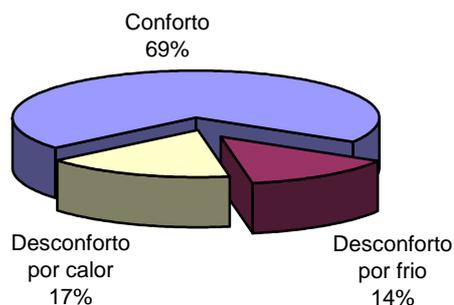


Figura 22 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Norte

Condição de Conforto para 80% de Usuários Satisfeitos

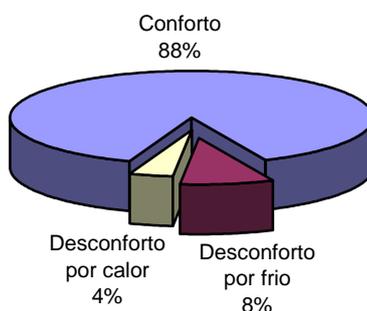


Figura 23 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Norte

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação norte.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 31% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 14%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 4% das horas do ano e está localizado nos meses de dezembro a abril.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 69% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 88% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 8% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 4%.

6.1.3.2 – Área com Orientação Nordeste (NE)

A simulação da área com orientação nordeste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 8 - Média Horária da Temperatura Operativa para Área com Orientação Nordeste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,09	22,04	20,83	19,20	16,90	15,50	16,39	15,52	16,59	19,09	19,59	21,61
02	21,81	21,77	20,56	18,92	16,63	15,25	16,11	15,25	16,31	18,85	19,31	21,37
03	21,56	21,51	20,30	18,66	16,37	15,00	15,83	15,00	16,04	18,61	19,05	21,12
04	21,29	21,24	20,03	18,40	16,11	14,75	15,55	14,75	15,77	18,36	18,79	20,88
05	21,04	20,98	19,78	18,15	15,85	14,49	15,27	14,51	15,51	18,13	18,54	20,63
06	20,85	20,73	19,53	17,91	15,60	14,24	15,01	14,26	15,25	17,96	18,41	20,49
07	21,16	20,74	19,52	17,85	15,47	14,03	14,78	14,16	15,19	18,19	19,01	20,95
08	24,95	24,29	23,35	21,70	18,99	17,23	17,73	17,65	18,73	21,70	22,68	24,38
09	26,80	26,15	25,44	24,08	21,14	19,35	19,66	19,79	20,67	23,59	24,40	26,00
10	27,78	27,32	26,54	25,38	22,45	20,88	21,17	21,33	21,92	24,70	25,34	26,75
11	28,39	28,23	27,15	26,27	23,35	22,02	22,54	22,49	22,84	25,40	26,00	27,21
12	28,72	28,71	27,52	26,51	23,93	22,58	23,36	23,17	23,37	25,75	26,32	27,44
13	28,93	28,92	27,76	26,49	24,01	22,81	23,70	23,38	23,59	25,93	26,61	27,76
14	29,22	29,07	27,91	26,39	23,99	22,74	23,70	23,30	23,64	26,12	26,92	28,03
15	29,31	29,10	27,92	26,26	23,85	22,63	23,46	23,16	23,73	26,04	27,00	28,01
16	29,21	28,78	27,63	26,06	23,63	22,53	23,23	22,97	23,62	25,61	26,71	27,80
17	28,86	28,15	27,08	25,64	23,16	22,21	22,91	22,64	23,16	25,07	26,13	27,47
18	28,16	27,63	26,50	25,04	22,56	21,77	22,47	22,11	22,51	24,52	25,55	27,06
19	25,50	25,12	23,92	22,38	19,91	18,91	19,59	19,18	19,73	22,09	22,95	24,52
20	24,08	23,70	22,56	20,98	18,51	17,41	18,10	17,63	18,27	20,83	21,55	23,15
21	23,54	23,16	22,03	20,44	17,98	16,88	17,56	17,07	17,72	20,35	21,01	22,64
22	23,15	22,80	21,66	20,05	17,61	16,52	17,17	16,68	17,33	20,00	20,64	22,27
23	22,82	22,52	21,35	19,72	17,30	16,22	16,83	16,36	17,01	19,70	20,32	21,98
24	22,52	22,21	21,07	19,42	17,02	15,94	16,53	16,05	16,72	19,43	20,03	21,71



Figura 24 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação nordeste na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

Condição de Conforto para 90% de Usuários Satisfeitos

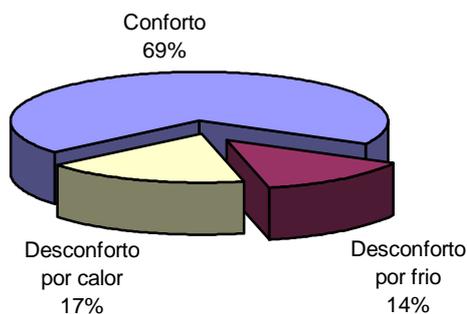


Figura 25 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Norte

Condição de Conforto para 80% de Usuários Satisfeitos

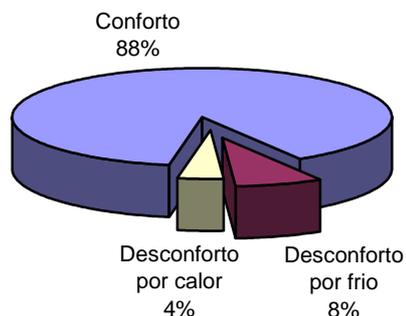


Figura 26 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Nordeste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação nordeste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 31% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 14%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 17% das horas do ano e está localizado nos meses de dezembro a março.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 69% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 88% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 8% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 4%.

6.1.3.3 – Área com Orientação Leste (E)

A simulação da área com orientação leste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 9 - Média Horária da Temperatura Operativa para a Área com orientação Leste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,16	22,07	20,80	19,07	16,74	15,29	16,16	15,34	16,48	19,08	19,64	21,70
02	21,88	21,80	20,53	18,80	16,47	15,05	15,90	15,08	16,21	18,84	19,36	21,46
03	21,62	21,53	20,27	18,55	16,22	14,81	15,63	14,84	15,94	18,60	19,10	21,21
04	21,36	21,26	20,01	18,29	15,96	14,56	15,36	14,60	15,68	18,35	18,84	20,96
05	21,10	21,00	19,75	18,05	15,71	14,31	15,09	14,36	15,42	18,12	18,58	20,71
06	20,93	20,75	19,50	17,81	15,47	14,07	14,83	14,12	15,16	17,96	18,50	20,61
07	21,44	20,81	19,52	17,76	15,34	13,87	14,61	14,02	15,12	18,27	19,45	21,41
08	25,49	24,53	23,46	21,66	18,87	17,08	17,60	17,56	18,71	21,90	23,24	25,05
09	27,41	26,44	25,56	23,95	20,89	19,06	19,43	19,60	20,61	23,82	24,94	26,70
10	28,30	27,56	26,51	25,00	21,93	20,25	20,68	20,87	21,69	24,81	25,77	27,34
11	28,74	28,35	26,94	25,53	22,49	20,96	21,57	21,64	22,31	25,28	26,24	27,62
12	28,90	28,66	27,15	25,52	22,75	21,16	21,92	21,91	22,53	25,46	26,37	27,66
13	29,04	28,85	27,44	25,65	23,08	21,46	22,28	22,23	22,92	25,79	26,68	27,90
14	29,33	29,08	27,79	25,98	23,45	21,87	22,78	22,65	23,36	26,08	26,99	28,15
15	29,41	29,11	27,85	26,05	23,57	22,19	23,02	22,85	23,57	26,02	27,06	28,12
16	29,30	28,80	27,56	25,90	23,42	22,25	22,95	22,75	23,48	25,59	26,77	27,89
17	28,93	28,17	27,03	25,50	22,98	21,98	22,67	22,45	23,04	25,06	26,18	27,56
18	28,23	27,65	26,45	24,92	22,41	21,57	22,26	21,94	22,41	24,51	25,60	27,15
19	25,58	25,15	23,88	22,22	19,72	18,65	19,33	18,97	19,61	22,08	23,02	24,63
20	24,17	23,73	22,52	20,82	18,31	17,13	17,82	17,41	18,15	20,82	21,62	23,27
21	23,63	23,19	21,99	20,29	17,78	16,61	17,29	16,86	17,60	20,34	21,09	22,75
22	23,24	22,83	21,62	19,91	17,42	16,27	16,91	16,48	17,22	19,99	20,71	22,38
23	22,90	22,54	21,32	19,58	17,12	15,98	16,59	16,16	16,90	19,70	20,38	22,08
24	22,60	22,24	21,03	19,29	16,85	15,71	16,30	15,87	16,61	19,42	20,09	21,81



Figura 27 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação leste na cidade de São Paulo.

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

Condição de Conforto para 90% de Usuários Satisfeitos

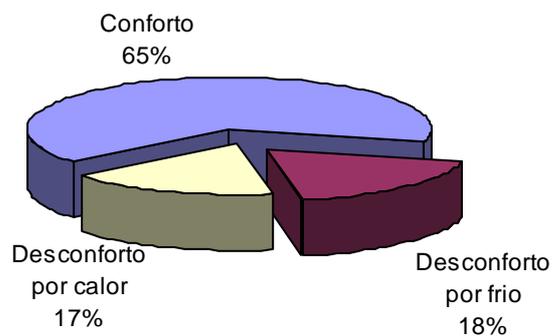


Figura 28 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Leste

Condição de Conforto para 80% de Usuários Satisfeitos

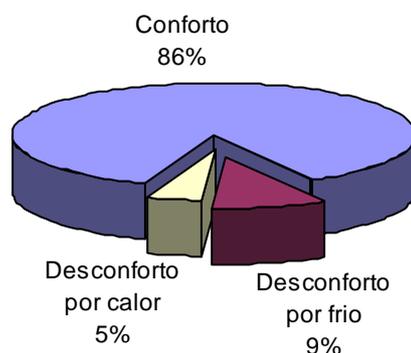


Figura 29 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Leste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação leste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 35% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 18%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 17% das horas do ano e está localizado nos meses de dezembro a março.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 65% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 86% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 9% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 5%.

6.1.3.4 – Área com Orientação Sudeste (SE)

A simulação da área com orientação sudeste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 10 - Média Horária da Temperatura Operativa para a Área com Orientação Sudeste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,11	22,00	20,68	18,91	16,61	15,17	16,04	15,20	16,35	18,99	19,59	21,66
02	21,84	21,73	20,43	18,65	16,35	14,94	15,78	14,95	16,09	18,75	19,30	21,42
03	21,58	21,47	20,16	18,40	16,10	14,70	15,52	14,71	15,82	18,52	19,04	21,17
04	21,31	21,20	19,91	18,15	15,85	14,46	15,25	14,48	15,56	18,28	18,79	20,93
05	21,05	20,94	19,66	17,91	15,60	14,22	14,98	14,24	15,31	18,04	18,53	20,68
06	20,88	20,69	19,41	17,68	15,37	13,97	14,73	14,00	15,06	17,88	18,44	20,57
07	21,36	20,74	19,40	17,60	15,21	13,77	14,51	13,87	14,98	18,14	19,29	21,33
08	25,29	24,34	23,09	21,21	18,51	16,86	17,43	17,18	18,36	21,60	22,96	24,87
09	27,06	26,09	24,82	22,94	20,03	18,30	18,83	18,74	19,91	23,27	24,54	26,43
10	27,86	27,09	25,56	23,61	20,78	19,12	19,66	19,57	20,65	24,06	25,26	27,02
11	28,32	27,82	26,08	24,27	21,57	19,96	20,54	20,44	21,32	24,54	25,74	27,33
12	28,62	28,27	26,66	24,89	22,28	20,67	21,36	21,29	22,03	25,10	26,11	27,50
13	28,92	28,69	27,23	25,36	22,85	21,25	22,06	21,95	22,70	25,63	26,57	27,84
14	29,27	28,98	27,63	25,75	23,27	21,70	22,61	22,44	23,19	25,97	26,92	28,12
15	29,37	29,05	27,73	25,87	23,41	22,05	22,88	22,68	23,44	25,94	27,02	28,10
16	29,27	28,75	27,47	25,74	23,30	22,13	22,83	22,61	23,38	25,53	26,74	27,88
17	28,91	28,14	26,94	25,37	22,87	21,87	22,57	22,33	22,95	24,99	26,16	27,55
18	28,20	27,61	26,37	24,79	22,30	21,47	22,16	21,82	22,31	24,44	25,57	27,13
19	25,53	25,08	23,76	22,05	19,57	18,52	19,20	18,81	19,48	21,98	22,96	24,59
20	24,11	23,65	22,38	20,63	18,16	16,98	17,67	17,24	18,00	20,71	21,55	23,22
21	23,57	23,11	21,86	20,10	17,63	16,47	17,15	16,69	17,46	20,23	21,01	22,70
22	23,18	22,75	21,50	19,73	17,28	16,13	16,78	16,31	17,08	19,89	20,64	22,34
23	22,85	22,47	21,19	19,41	16,98	15,85	16,46	16,00	16,77	19,60	20,32	22,04
24	22,55	22,17	20,91	19,12	16,72	15,58	16,17	15,71	16,49	19,33	20,03	21,77

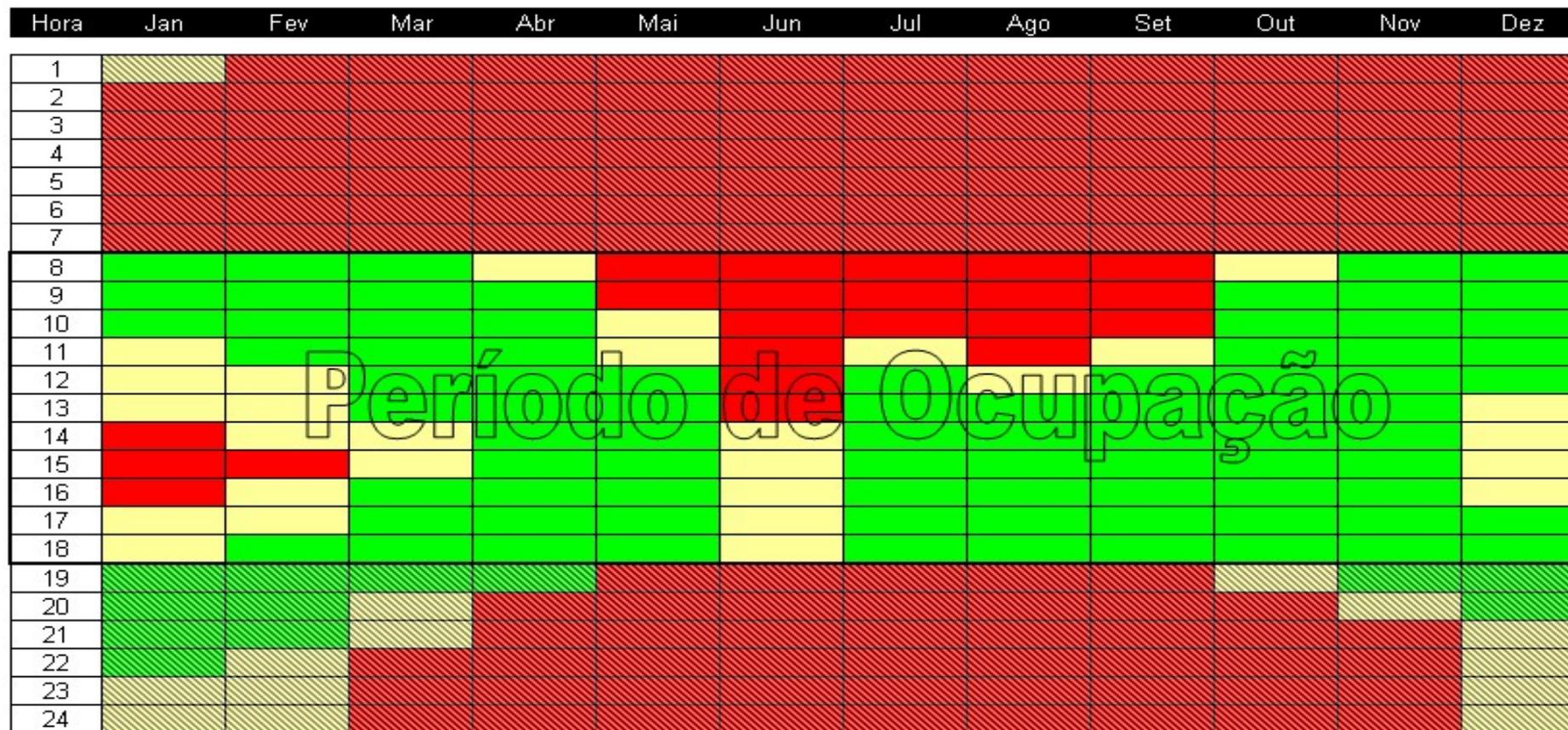


Figura 30 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sudeste na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

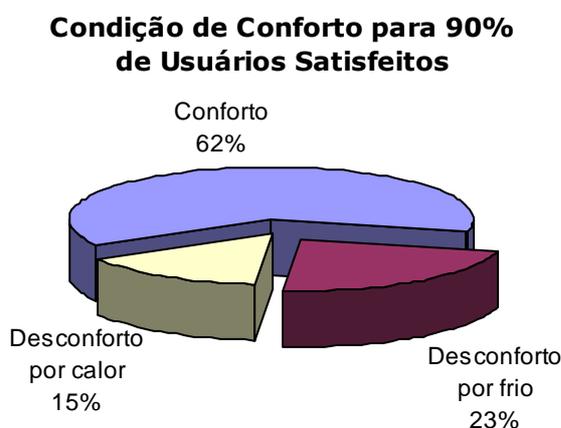


Figura 31 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sudeste

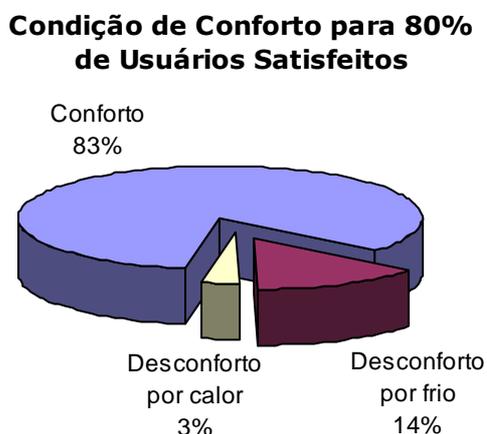


Figura 32 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sudeste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação norte sudeste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 38% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 23%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 15% das horas do ano e está localizado nos meses de dezembro a março.

O período de conforto para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 69% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 83% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 14% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 3%.

6.1.3.5 – Área com Orientação Sul (S)

A simulação da área com orientação sul apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 11 - Média Horária da Temperatura Operativa para Área com Orientação Sul

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	21,99	21,91	20,62	18,88	16,60	15,18	16,05	15,19	16,32	18,92	19,47	21,54
02	21,72	21,64	20,36	18,62	16,34	14,94	15,78	14,94	16,06	18,68	19,20	21,30
03	21,47	21,38	20,10	18,37	16,09	14,71	15,52	14,70	15,79	18,45	18,94	21,06
04	21,21	21,12	19,85	18,13	15,84	14,46	15,25	14,47	15,54	18,21	18,69	20,82
05	20,95	20,86	19,60	17,89	15,59	14,22	14,99	14,23	15,29	17,98	18,43	20,57
06	20,76	20,61	19,36	17,66	15,36	13,97	14,74	13,99	15,03	17,79	18,28	20,42
07	20,94	20,56	19,24	17,51	15,17	13,77	14,50	13,82	14,89	17,85	18,57	20,74
08	24,39	23,78	22,52	20,87	18,36	16,81	17,39	16,95	18,02	20,97	21,91	23,92
09	25,90	25,32	24,04	22,44	19,86	18,22	18,73	18,44	19,49	22,47	23,39	25,30
10	26,77	26,37	24,97	23,32	20,73	19,10	19,63	19,41	20,38	23,42	24,26	26,01
11	27,59	27,33	25,81	24,17	21,55	19,96	20,54	20,39	21,22	24,24	25,10	26,62
12	28,23	28,03	26,53	24,83	22,27	20,67	21,36	21,25	21,97	24,96	25,82	27,14
13	28,71	28,56	27,13	25,32	22,85	21,26	22,07	21,94	22,67	25,53	26,38	27,63
14	29,10	28,88	27,56	25,75	23,29	21,75	22,66	22,47	23,19	25,90	26,77	27,96
15	29,24	28,96	27,67	25,88	23,45	22,11	22,95	22,73	23,46	25,87	26,90	28,00
16	29,19	28,67	27,42	25,75	23,33	22,19	22,89	22,65	23,39	25,47	26,67	27,84
17	28,88	28,08	26,90	25,37	22,89	21,90	22,61	22,35	22,95	24,93	26,14	27,55
18	28,18	27,57	26,32	24,77	22,30	21,48	22,17	21,82	22,29	24,38	25,55	27,12
19	25,43	25,00	23,69	22,02	19,57	18,52	19,20	18,80	19,45	21,90	22,86	24,51
20	23,97	23,55	22,30	20,59	18,15	16,99	17,68	17,22	17,97	20,62	21,42	23,09
21	23,43	23,01	21,78	20,07	17,62	16,48	17,16	16,67	17,42	20,14	20,88	22,57
22	23,04	22,66	21,42	19,69	17,27	16,14	16,78	16,30	17,05	19,80	20,51	22,21
23	22,72	22,38	21,12	19,38	16,98	15,85	16,47	15,99	16,74	19,51	20,19	21,91
24	22,42	22,08	20,84	19,09	16,71	15,59	16,18	15,70	16,46	19,25	19,90	21,65

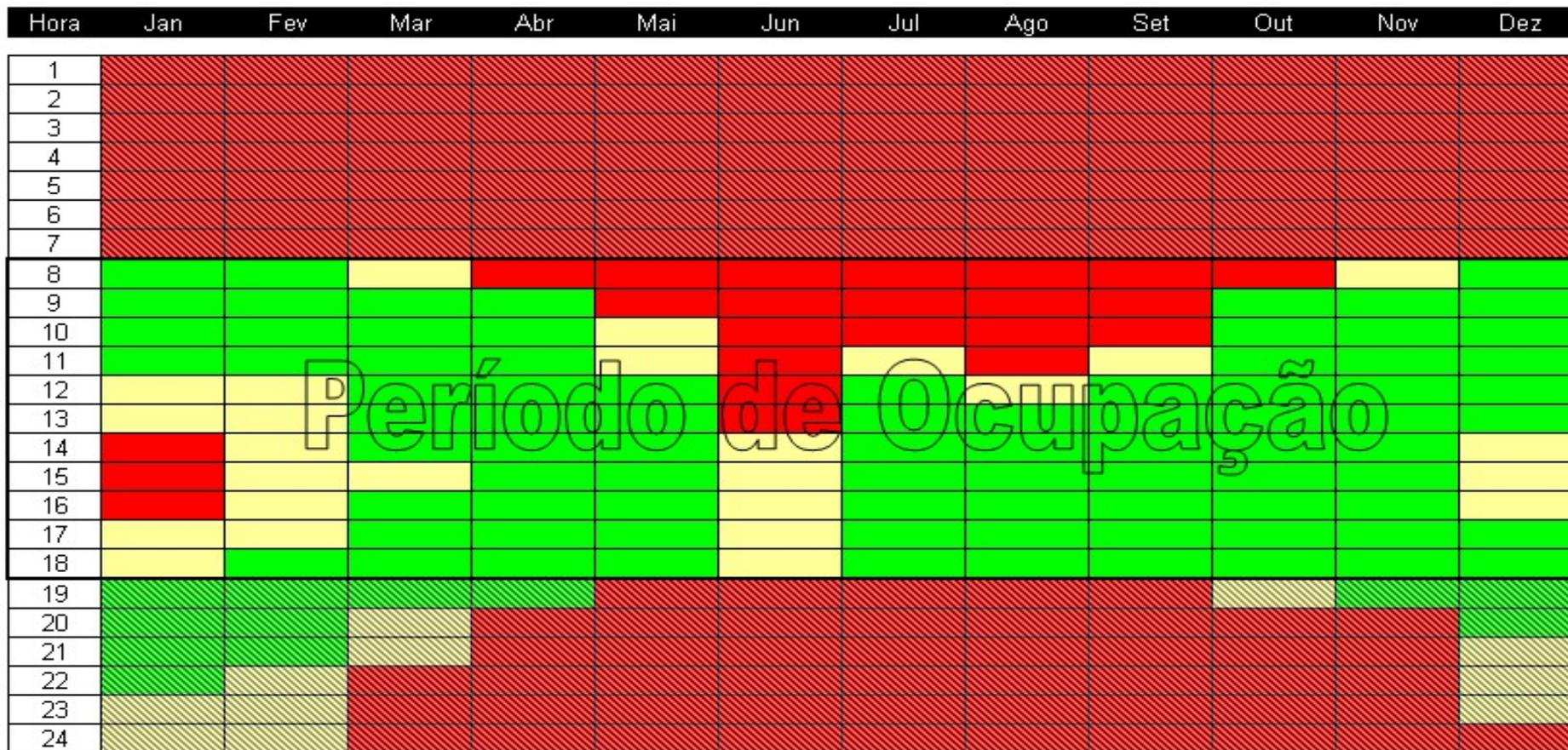


Figura 33 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sul na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

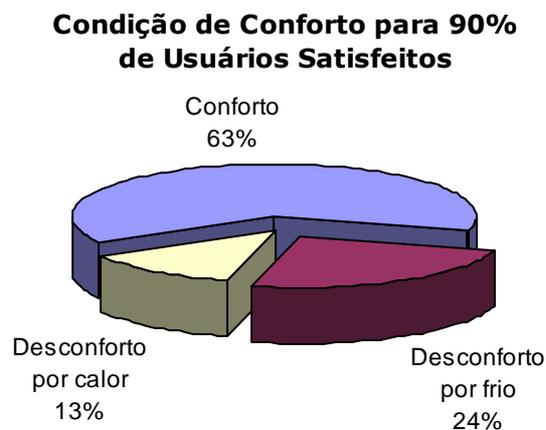


Figura 34 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sul

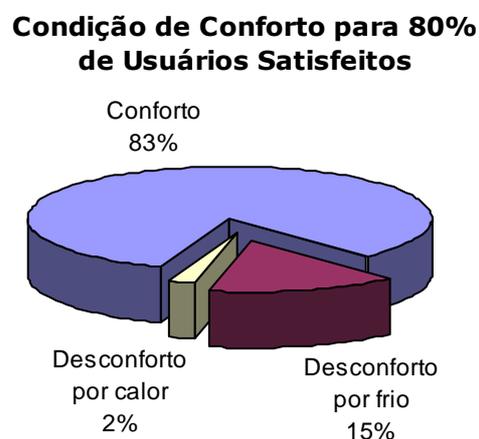


Figura 34 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sul

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação Sul.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 37% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 24%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 13% das horas do ano e está localizado nos meses de dezembro a março.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 63% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 83% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 15% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 2%.

6.1.3.6 – Área com Orientação Sudoeste (SW)

A simulação da área com orientação sudoeste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 12 - Média Horária da Temperatura Operativa para Área Sudoeste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,12	22,02	20,70	18,94	16,63	15,20	16,07	15,23	16,41	19,01	19,62	21,67
02	21,84	21,75	20,44	18,68	16,37	14,96	15,81	14,98	16,14	18,77	19,34	21,42
03	21,58	21,48	20,17	18,43	16,12	14,72	15,54	14,74	15,87	18,53	19,07	21,17
04	21,32	21,22	19,92	18,18	15,87	14,48	15,28	14,50	15,61	18,29	18,82	20,93
05	21,05	20,96	19,66	17,93	15,62	14,23	15,01	14,27	15,35	18,06	18,56	20,68
06	20,85	20,70	19,42	17,70	15,38	13,99	14,76	14,03	15,10	17,87	18,37	20,48
07	20,90	20,62	19,30	17,55	15,19	13,78	14,53	13,85	14,95	17,90	18,49	20,59
08	24,26	23,80	22,56	20,90	18,38	16,82	17,40	16,98	18,07	21,01	21,83	23,71
09	25,82	25,36	24,08	22,47	19,88	18,23	18,75	18,46	19,54	22,51	23,38	25,15
10	26,76	26,41	25,01	23,35	20,75	19,12	19,66	19,43	20,42	23,46	24,29	25,95
11	27,60	27,37	25,85	24,20	21,59	20,00	20,58	20,43	21,27	24,28	25,14	26,61
12	28,24	28,07	26,58	24,89	22,33	20,74	21,44	21,32	22,05	25,00	25,86	27,15
13	28,75	28,60	27,18	25,39	22,92	21,34	22,16	22,03	22,75	25,58	26,49	27,74
14	29,33	29,01	27,62	25,81	23,34	21,81	22,74	22,54	23,27	26,09	27,18	28,32
15	29,76	29,33	27,90	26,01	23,50	22,16	23,01	22,83	23,72	26,34	27,67	28,53
16	29,88	29,18	27,87	26,11	23,48	22,27	23,01	22,95	23,90	26,04	27,57	28,44
17	29,53	28,69	27,38	25,79	23,06	22,00	22,77	22,69	23,45	25,35	26,90	28,09
18	28,60	27,96	26,58	24,94	22,37	21,52	22,25	21,95	22,50	24,56	25,99	27,46
19	25,72	25,26	23,86	22,12	19,62	18,56	19,25	18,89	19,58	22,05	23,18	24,74
20	24,18	23,74	22,43	20,68	18,19	17,02	17,72	17,30	18,09	20,76	21,67	23,27
21	23,61	23,17	21,89	20,15	17,66	16,50	17,19	16,74	17,53	20,27	21,10	22,73
22	23,20	22,80	21,52	19,77	17,31	16,16	16,82	16,36	17,15	19,91	20,71	22,35
23	22,86	22,50	21,22	19,44	17,01	15,87	16,50	16,04	16,83	19,62	20,37	22,04
24	22,55	22,19	20,93	19,15	16,74	15,61	16,21	15,75	16,55	19,35	20,07	21,77

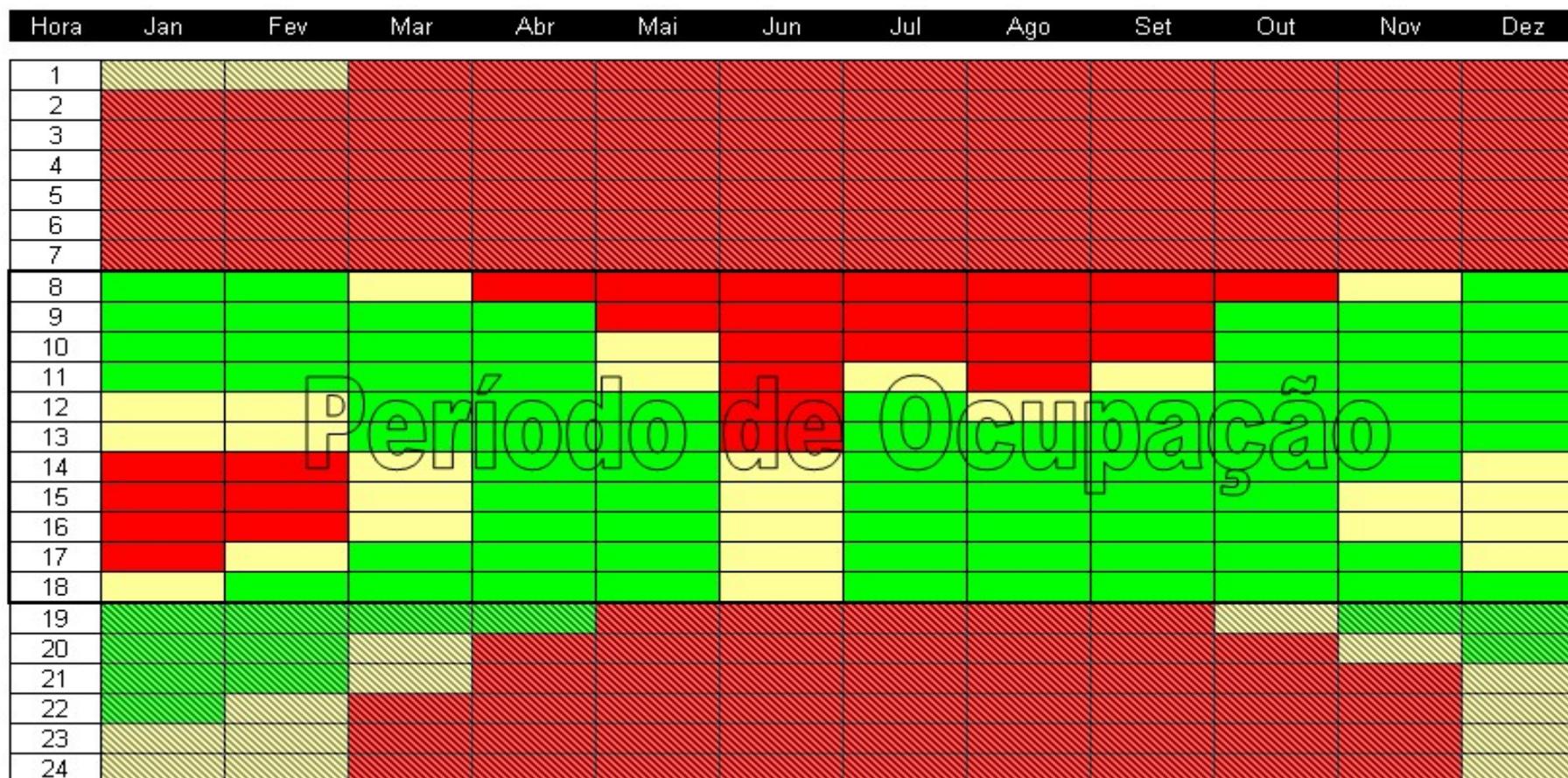


Figura 36 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação sudoeste na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

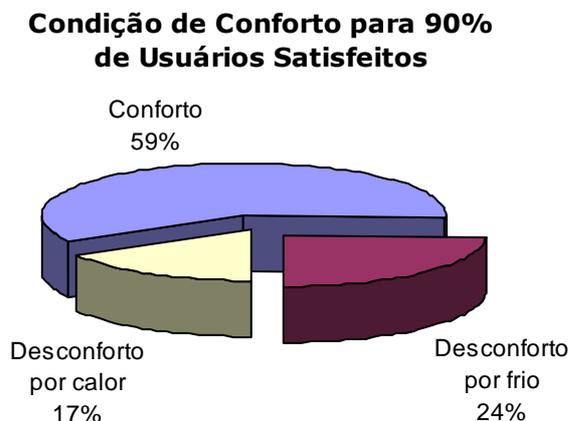


Figura 37 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Sudoeste

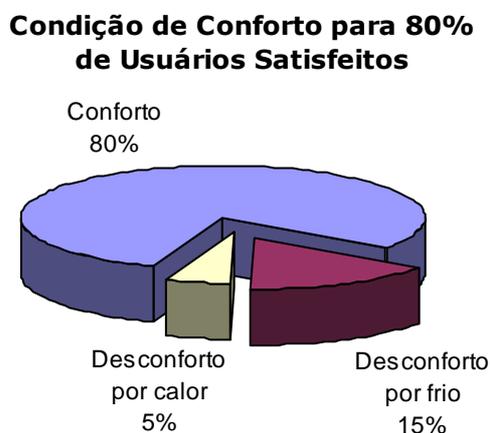


Figura 38 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Sudoeste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação sudoeste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 41% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 24%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 17% das horas do ano e está localizado nos meses de novembro a março.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 59% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 80% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 15% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 5%.

6.1.3.7 – Área com Orientação Oeste (W)

A simulação da área com orientação oeste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 13 - Média Horária da Temperatura Operativa para Área com orientação Oeste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,17	22,11	20,82	19,14	16,80	15,38	16,29	15,47	16,64	19,14	19,70	21,72
02	21,89	21,83	20,55	18,86	16,53	15,14	16,02	15,21	16,36	18,89	19,41	21,47
03	21,63	21,56	20,28	18,60	16,27	14,89	15,74	14,95	16,08	18,65	19,14	21,22
04	21,36	21,29	20,02	18,35	16,02	14,64	15,47	14,71	15,81	18,40	18,88	20,97
05	21,10	21,03	19,76	18,09	15,76	14,39	15,19	14,46	15,55	18,16	18,62	20,72
06	20,89	20,77	19,51	17,85	15,52	14,14	14,93	14,21	15,28	17,97	18,43	20,52
07	20,94	20,68	19,40	17,70	15,32	13,93	14,69	14,03	15,13	18,00	18,55	20,63
08	24,29	23,84	22,64	21,02	18,48	16,93	17,52	17,12	18,21	21,08	21,88	23,73
09	25,85	25,39	24,16	22,60	19,99	18,35	18,87	18,60	19,67	22,58	23,42	25,17
10	26,78	26,45	25,10	23,50	20,89	19,26	19,80	19,59	20,56	23,54	24,33	25,97
11	27,62	27,41	25,94	24,35	21,72	20,13	20,73	20,59	21,42	24,36	25,18	26,63
12	28,26	28,12	26,66	25,01	22,44	20,85	21,56	21,46	22,18	25,08	25,91	27,16
13	28,81	28,70	27,31	25,61	23,12	21,56	22,38	22,27	23,04	25,87	26,68	27,82
14	29,53	29,34	28,04	26,55	23,92	22,53	23,51	23,38	24,15	26,70	27,55	28,51
15	30,03	29,73	28,52	27,09	24,44	23,32	24,29	24,23	24,97	26,97	28,07	28,73
16	30,14	29,53	28,49	27,14	24,41	23,37	24,28	24,30	24,97	26,54	27,91	28,61
17	29,71	28,98	27,82	26,49	23,60	22,57	23,50	23,52	24,17	25,65	27,13	28,21
18	28,71	28,13	26,80	25,26	22,63	21,80	22,59	22,34	22,85	24,72	26,12	27,53
19	25,81	25,39	24,06	22,41	19,86	18,82	19,57	19,23	19,90	22,21	23,30	24,81
20	24,26	23,86	22,61	20,96	18,43	17,29	18,03	17,64	18,40	20,92	21,78	23,33
21	23,68	23,27	22,05	20,40	17,88	16,75	17,47	17,05	17,82	20,42	21,20	22,78
22	23,26	22,90	21,67	20,00	17,50	16,39	17,08	16,65	17,42	20,06	20,80	22,40
23	22,92	22,60	21,35	19,67	17,19	16,09	16,75	16,32	17,08	19,76	20,46	22,09
24	22,61	22,28	21,06	19,36	16,92	15,81	16,44	16,01	16,78	19,47	20,16	21,81

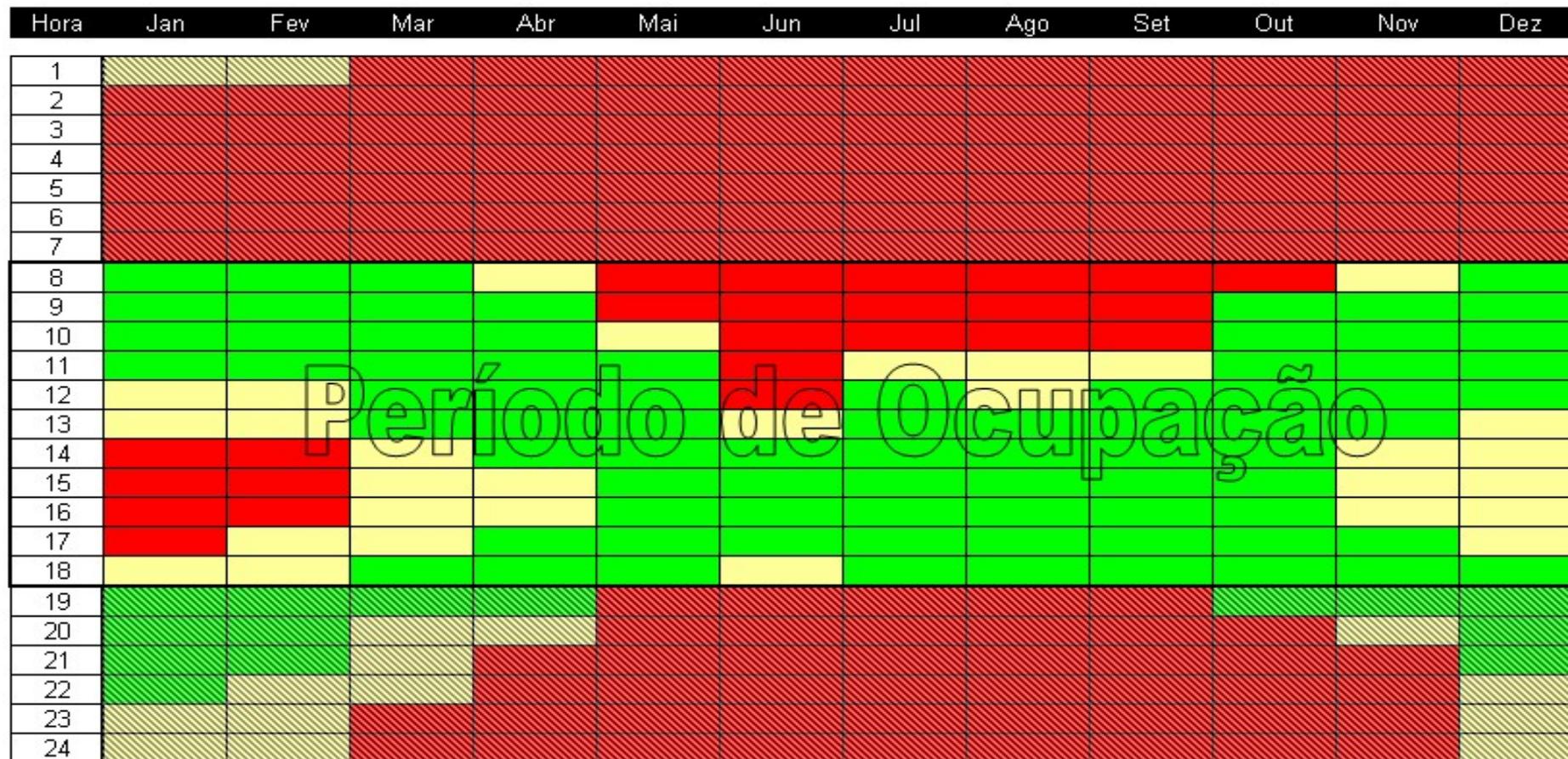


Figura 39 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação oeste na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

Condição de Conforto para 90% de Usuários Satisfeitos

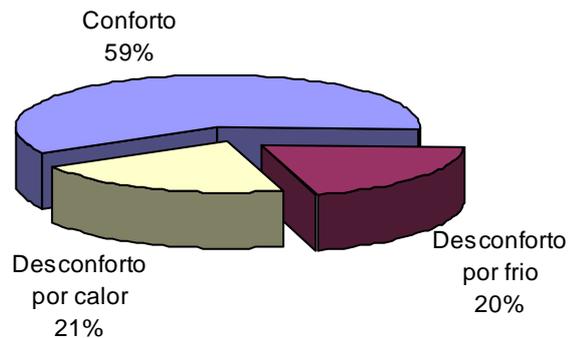


Figura 40 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Oeste

Condição de Conforto para 80% de Usuários Satisfeitos

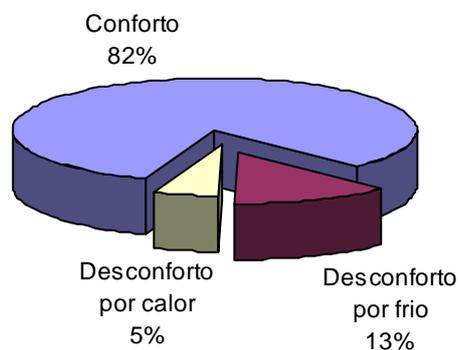


Figura 41 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Oeste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação oeste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 41% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 20%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 21% das horas do ano e está localizado nos meses de novembro a abril.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 59% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 82% das horas do período de ocupação no ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 13% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 5%.

6.1.3.8 – Área com Orientação Noroeste (NW)

A simulação da área com orientação noroeste apresentou a seguinte estimativa das temperaturas operativas:

Tabela 14 - Média Horária da Temperatura Operativa para Orientação Noroeste

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	22,09	22,07	20,85	19,26	16,97	15,62	16,55	15,67	16,75	19,14	19,62	21,62
02	21,82	21,80	20,58	18,98	16,70	15,37	16,26	15,40	16,46	18,90	19,34	21,37
03	21,56	21,53	20,31	18,72	16,43	15,11	15,98	15,14	16,18	18,65	19,08	21,13
04	21,30	21,26	20,05	18,46	16,17	14,85	15,69	14,88	15,91	18,41	18,82	20,89
05	21,04	21,00	19,79	18,20	15,90	14,59	15,40	14,63	15,64	18,17	18,56	20,63
06	20,83	20,74	19,54	17,96	15,66	14,33	15,13	14,38	15,37	17,97	18,38	20,45
07	20,90	20,66	19,42	17,80	15,46	14,11	14,89	14,19	15,22	18,02	18,53	20,58
08	24,29	23,85	22,69	21,11	18,59	17,06	17,67	17,24	18,29	21,12	21,89	23,72
09	25,87	25,42	24,22	22,69	20,10	18,47	19,00	18,72	19,75	22,62	23,45	25,18
10	26,80	26,47	25,16	23,59	21,00	19,42	19,94	19,71	20,64	23,58	24,36	25,98
11	27,63	27,43	25,99	24,53	22,05	20,61	21,13	20,84	21,53	24,40	25,20	26,63
12	28,26	28,13	26,82	25,55	23,24	21,84	22,52	22,20	22,64	25,25	25,93	27,15
13	28,81	28,82	27,64	26,53	24,11	22,97	23,84	23,50	23,86	26,16	26,70	27,75
14	29,43	29,40	28,31	27,35	24,73	23,81	24,90	24,51	24,82	26,82	27,39	28,28
15	29,77	29,63	28,66	27,58	25,05	24,25	25,29	25,00	25,35	26,92	27,72	28,39
16	29,77	29,34	28,49	27,40	24,80	23,95	24,91	24,75	25,11	26,39	27,45	28,21
17	29,33	28,71	27,75	26,61	23,84	22,91	23,87	23,76	24,21	25,52	26,70	27,82
18	28,43	27,94	26,78	25,37	22,80	22,05	22,85	22,53	22,92	24,68	25,84	27,26
19	25,62	25,28	24,06	22,57	20,07	19,12	19,88	19,47	20,01	22,20	23,11	24,61
20	24,13	23,79	22,63	21,13	18,64	17,60	18,36	17,89	18,52	20,92	21,64	23,19
21	23,57	23,22	22,08	20,56	18,08	17,05	17,79	17,29	17,94	20,42	21,08	22,66
22	23,17	22,85	21,70	20,15	17,70	16,67	17,38	16,88	17,53	20,06	20,69	22,29
23	22,83	22,56	21,38	19,81	17,38	16,36	17,03	16,53	17,20	19,76	20,37	21,98
24	22,53	22,24	21,09	19,50	17,10	16,07	16,71	16,22	16,89	19,48	20,07	21,72



Figura 42 – Condição de conforto térmico de acordo com modelo adaptativo proposto na Ashrae 55- 2004, para edifícios de escritório com ventilação natural e orientação noroeste na cidade de São Paulo

Legenda:

- Período de conforto para 90% de usuários satisfeitos
- Extensão do período de conforto para 80% de usuários satisfeitos
- Desconforto tanto por calor quanto por frio

Condição de Conforto para 90% de Usuários Satisfeitos

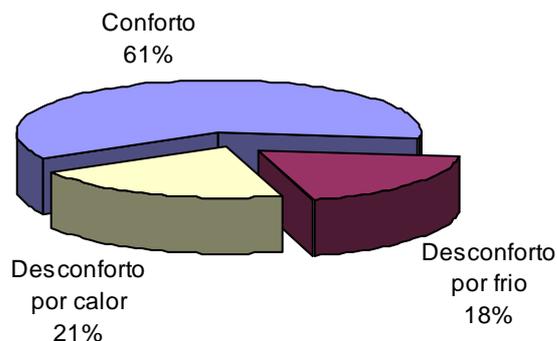


Figura 43 – Condição de conforto para 90% de usuários satisfeitos – Orientação Noroeste

Condição de Conforto para 80% de Usuários Satisfeitos

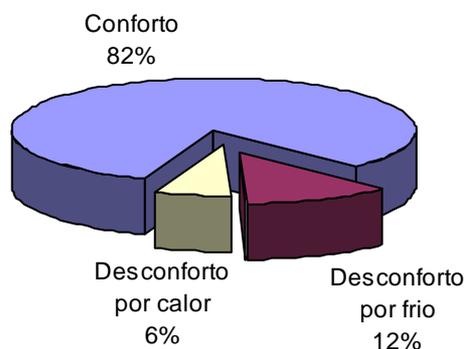


Figura 44 – Condição de conforto para 80% de usuários satisfeitos – Orientação Noroeste

A análise dos dados aponta uma grande faixa de temperaturas dentro da zona de conforto para a orientação noroeste.

Para 90% de usuários satisfeitos, o período em desconforto corresponde a 39% das horas ocupadas durante o ano, sendo que parte deste período, 18%, se deve ao frio.

O período em desconforto devido ao calor corresponde a de 21% das horas do ano e está localizado nos meses de novembro a abril.

O período de conforto, para 90% de usuários satisfeitos, corresponde a 61% das horas do ano.

Se o nível de exigência baixar para 80% de usuários satisfeitos, a faixa de conforto aumenta para 82% das horas do período de ocupação no

ano, sendo que, o desconforto por frio corresponde a 12% destas horas, e o desconforto por calor corresponde a 6%.

6.1.4 – Discussão

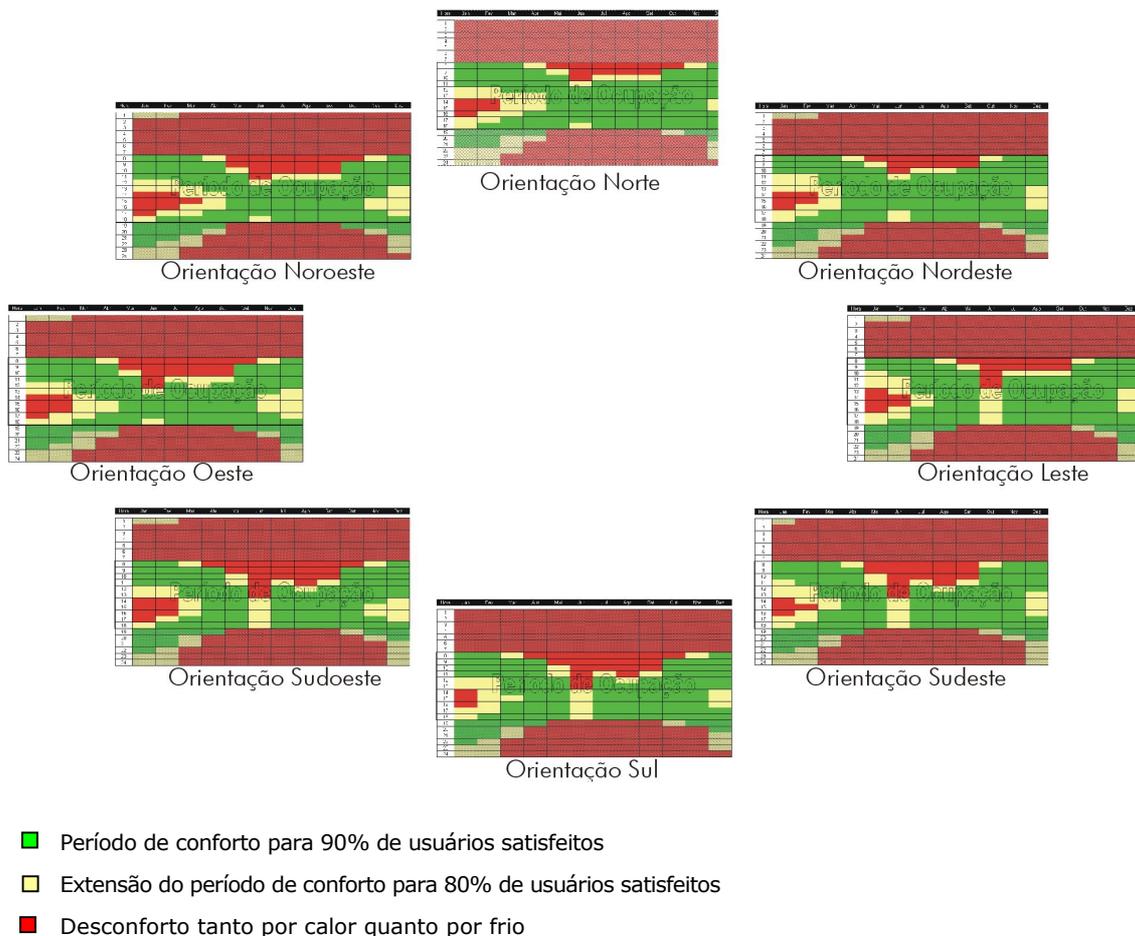


Figura 45 – Mapeamento da condição de conforto para as oito orientações

A análise do mapeamento de conforto de todas as orientações apresenta um perfil geral parecido, com um grande período na condição de conforto se consideramos 80% ou mesmo 90% de usuários satisfeitos. Isso demonstra que é real o potencial de uso da ventilação natural, para obtenção de conforto térmico, nos edifícios de escritórios em São Paulo.

- Desconforto por Frio para 90% de Usuários Satisfeitos:

Analisando o período de ocupação do edifício e considerando 90% de usuários satisfeitos, percebe-se que grande parte do período em desconforto se deve ao frio. As orientações que mais sofrem com este desconforto são as SE, S e SW.

O período em desconforto devido ao frio acontece:

- de março a novembro para as orientações S, e SW;
- de abril a novembro para as orientações W, NW e N e
- de abril a outubro para as orientações NE, E e SE.

Os horários em desconforto por frio ocorrem a partir das 8:00h.

Em março:

- até as 9:00h somente nas orientações S e SW.

Em abril:

- em todas as orientações neste mesmo horário.

Em maio:

- até as 10:00h para as orientações N, NE e E;
- até as 11:00h para as orientações W e NW e
- até as 12:00h nas orientações SE, S e SW.

Em junho, o desconforto devido ao frio aumenta, ocorrendo:

- até as 12:00h nas orientações N e NE;
- até as 13:00h nas orientações W e NW e
- durante todo o dia nas demais orientações.

Em julho:

- até as 11:00h para as orientações N, NE e E e
- até as 12:00h para as orientações SE, S, SW, W e NW.

Em agosto:

- até as 11:00h nas orientações N e NE e E;

- até as 12:00h na orientação NW; e
- até as 13:00h para as orientações SE, S, SW e W.

Em setembro:

- até as 10:00h para NW;
- até as 11:00h para N e NE e E;
- até as 12:00 para SE, S, SW e W.

Em outubro:

- em todas as orientações somente no primeiro horário.

Em novembro:

- no primeiro horário, para as orientações SW, W, NW e N.

É interessante notar que esta estimativa foi feita considerando as janelas totalmente abertas, portanto a condição de conforto poderia ser obtida se os usuários pudessem controlar a abertura, evitando a entrada de ar frio de acordo com a sua vontade. Uma outra forma de adaptação poderia ser a alteração da vestimenta. Assim, o período em conforto aumentaria consideravelmente.

- Desconforto por Calor para 90% de Usuários Satisfeitos:

Com relação ao calor, as orientações SW, W e NW são as que apresentam os maiores períodos de desconforto, enquanto as SE e S são as que apresentam os menores períodos.

Os horários em desconforto devido ao calor ocorrem em sua maior parte no período da tarde.

Em novembro:

- das 14:00h às 16:00h nas orientações SW e NW;
- das 14:00 às 17:00h na orientação W.

Em dezembro:

- das 14:00h às 16:00h na orientação N;

- das 14:00h às 17:00 na orientação S;
- das 13:00h às 17:00h nas orientações NE, E e SE;
- das 14:00h às 18:00h na orientação SW e
- das 13:00h às 18:00h nas orientações W e NW.

Em de janeiro:

- das 12:00h até as 18:00h para as orientações S, SW, W, NW e N;
- das 11:00h até as 18:00h nas orientações NE e SE;
- das 10:00h até as 18:00h na orientação E.

Em fevereiro:

- das 12:00h até as 18:00h para as orientações S, SW, W, NW e N e;
- das 11:00h até as 18:00h nas orientações NE, E e SE.

Em março:

- das 15:00h as 16:00h na orientação S;
- das 14:00h as 16:00h nas orientações E e SE;
- das 13:00h as 17:00h nas orientações N, NE e SW e
- das 13:00h as 18:00h nas orientações W e NW.

Em abril:

- das 15:00h as 17:00h na orientação W;
- das 14:00h as 17:00h nas orientações NW e N.

Concluindo, considerando-se 90% de usuários satisfeitos, o período de conforto se estende de maio a outubro, ou seja, por 6 meses do ano para todas as orientações se for descartado o período em desconforto devido ao frio. Nestes meses o edifício poderia operar durante todo o período de ocupação sem um sistema de ar condicionado em funcionamento.

Quando se baixa a exigência de conforto de 90% de usuários satisfeitos para 80%, aumenta-se, consideravelmente, o período de

conforto. Neste caso, o período de conforto se estende de março a dezembro ou 10 meses do ano.

- Desconforto por Frio para 80% de Usuários Satisfeitos:

O desconforto por frio para 80% de usuários satisfeitos ocorre:

Em abril:

- até as 9:00h para as orientações S e SW.

Em maio:

- até as 9:00h para as orientações N, NE e E;
- até as 10:00h para SE, S, SW, W e NW.

Em junho:

- até as 11:00h para as orientações N e NE;
- até as 12:00h para a orientação NW;
- até as 13:00h para E e W;
- até as 14:00h para SE, S e SW.

Em julho:

- até as 10:00h para as orientações N e NE e E;
- até as 11:00h para a orientação SE, S, SW, W e NW.

Em agosto:

- até as 10:00h para as orientações N e NE;
- até as 11:00h para as orientações W e NW e
- até as 12:00h para SE, S e SW.

Em setembro:

- até as 10:00h para as orientações N, NE e E;
- até as 11:00h para as orientações SE, S, SW, W e NW.

Em outubro:

- No primeiro horário para as orientações S, SW, W, NW e N.

- Desconforto por Calor para 80% de Usuários Satisfeitos:

O desconforto por calor para 80% de usuários satisfeitos ocorre:

Em janeiro:

- das 14:00h as 17:00h nas orientações N, NE, SE e S;
- das 13:00h as 17:00 para orientação E e;
- das 14:00h as 18:00h nas orientações SW, W e NW.

Em fevereiro:

- das 15:00h as 16:00h na orientação SE;
- das 14:00h as 16:00h nas orientações N, NE e E;
- das 14:00h as 18:00h nas orientações SW, W e NW e

Em março:

- somente ocorre na orientação NW das 15:00h às 16:00h.

Os resultados apontam que as melhores orientações para se evitar o uso de ar condicionado são a SE e S e as piores SW, W e NW.

As condições de conforto fora do período de ocupação demonstram que o edifício se mantém aquecido por longos períodos após a ocupação nos meses de dezembro a fevereiro, sendo até à 01:00h para as orientações N, E, SE e S e até às 02:00h para as orientações SW, W, NW e NE.

Os resultados obtidos com as simulações feitas no EnergyPlus permitiram uma avaliação quantitativa da possibilidade de uso da ventilação natural nos edifícios de escritórios, porém não ofereceram subsídios para uma análise mais detalhada.

Desta forma, apesar das temperaturas internas apresentarem uma grande faixa de conforto térmico, não sabe-se o fluxo de ar gerado provoca estratificação na temperatura interna, de forma a gerar desconforto aos usuários localizados em algumas partes do pavimento, ou se gera velocidades muito altas que possam incomodar ou mesmo impedir as atividades no ambiente.

A segunda parte desta pesquisa foi feita com o objetivo de se aprofundar a investigação sobre o uso da ventilação natural em ambientes de escritório e discutir condições localizadas de conforto dos usuários.

6.2 - Simulações com CFX

6.2.1 - Parâmetros Usados nas Simulações com o CFX

As simulações com CFX foram feitas após as simulações com EnergyPlus e uma primeira análise de seus resultados. Conforme visto, é possível conforto térmico com o uso da ventilação natural, em todas as orientações do edifício, nos meses de maio a outubro. Esta parte do trabalho procurou explorar de que forma a ventilação natural estaria acontecendo neste período. Para isso, escolheu-se o mês de outubro para análise por ser o mais quente entre os meses apontados como confortáveis.

Foram consideradas duas opções de implantação do modelo, para uma mesma direção de incidência do vento, de forma a se avaliar o fluxo em todas as orientações do edifício. A figura 46 mostra as duas implantações do edifício consideradas nas simulações.

Neste trabalho, considerou-se que esta direção de incidência do vento seria "sul" pois, de acordo com o banco de dado IWECC, é a direção de vento predominante nos meses de maio a outubro. A velocidade de referência considerada foi de 2,3 m/s, valor que corresponde à média mensal neste período.

Para temperatura inicial no pavimento, adotou-se o valor de 25°C que corresponde à média das temperaturas operativas durante o período de ocupação em todas as orientações durante o mês de outubro. As temperaturas de todas as paredes internas e externas também foram consideradas como sendo 25°C.

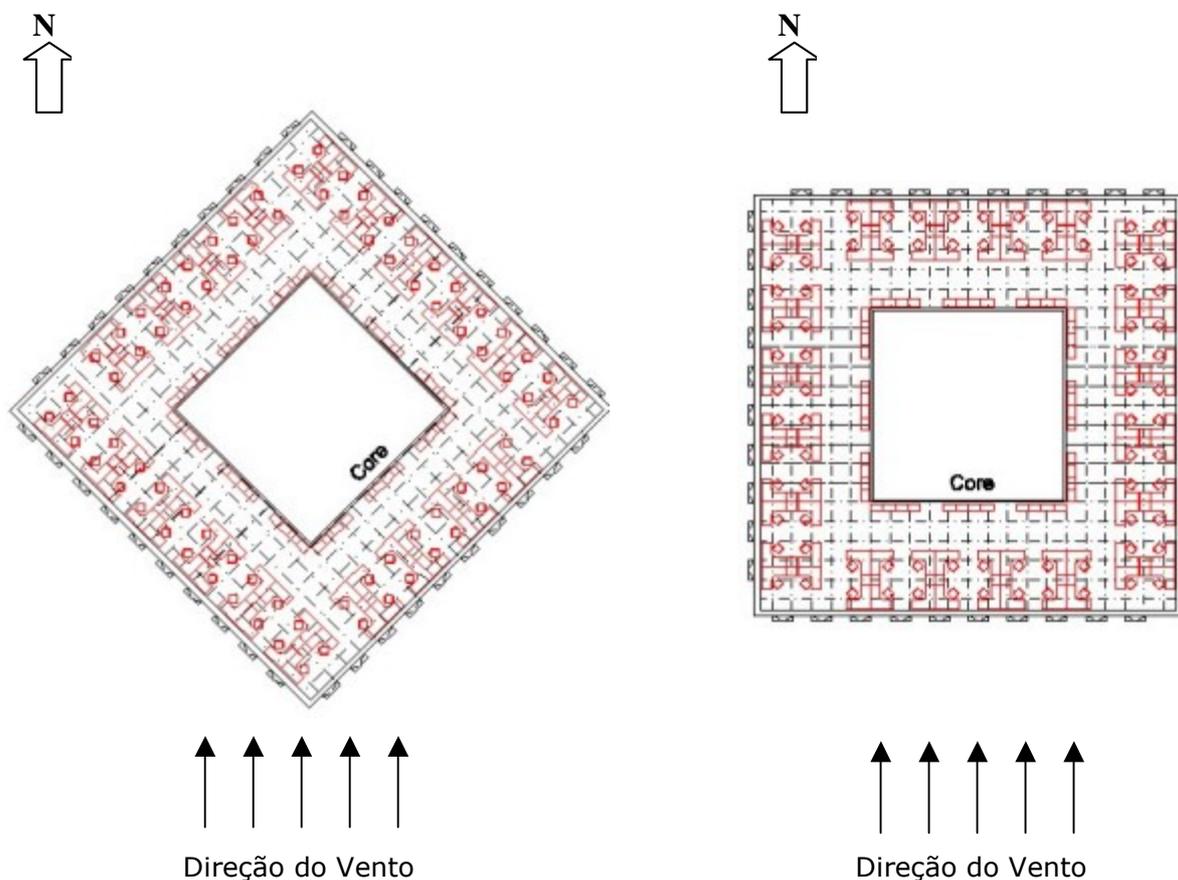


Figura 46 – Implantações do Modelo para simulação no CFX de acordo com a direção de incidência do vento

A primeira etapa da simulação foi a modelagem do edifício. Para uma simulação CFD a modelagem deve ser completa e a mais simplificada possível. Objetos muito pequenos devem ser omitidos bem como devem-se evitar distâncias muito pequenas entre os mesmos a fim de simplificar a geração da malha e a simulação como um todo.

Nesta etapa do trabalho, considerou-se o edifício com os seus 20 andares, 75 metros de altura, e o detalhamento de um pavimento-tipo localizado no 10º andar com layout completo (mesas, armários), equipamentos (computadores), pessoas sentadas, iluminação artificial e janelas do tipo maxim-ar abertas (figuras 47 e 48).

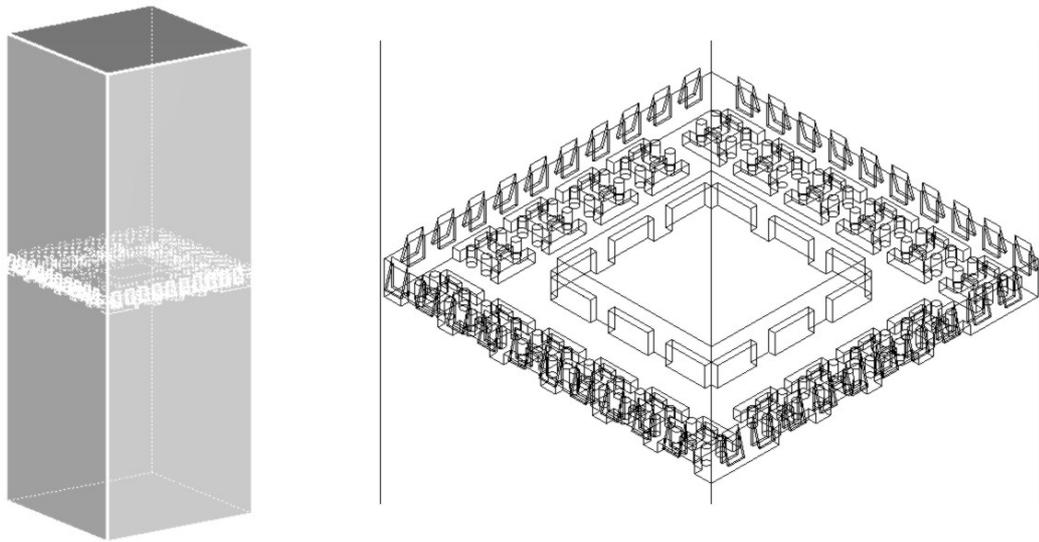


Figura 47 - Modelagem do edifício com 20 andares e detalhamento do pavimento-tipo localizado no 10º andar

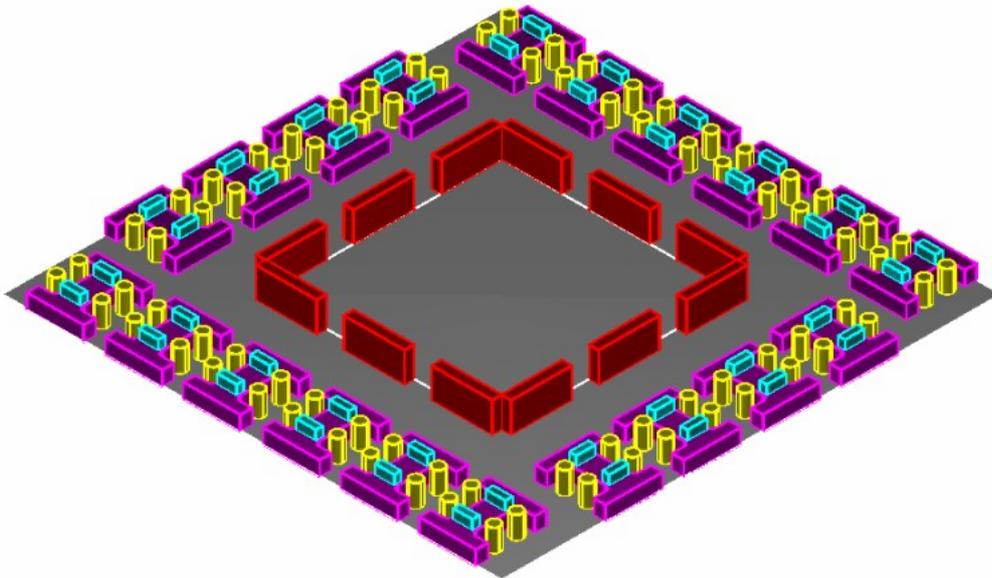


Figura 48 – Modelagem do layout do pavimento-tipo

Um dos principais elementos de um modelo para simulação CFD é o domínio, que corresponde ao volume do espaço para o qual o escoamento será resolvido (CÓSTOLA, 2006). No domínio, serão definidas condições de contorno e será gerada uma malha onde as equações do fluxo serão resolvidas.

Existem duas opções de forma para o domínio: o de base octogonal, e o de base retangular. Cada um deles têm suas vantagens. O domínio de base octogonal permite aproveitar a modelagem para simulações em diferentes direções do vento enquanto o de base retangular exige modelagens independentes para isso. Porém, neste trabalho, preferiu-se trabalhar com o domínio de base retangular por ele apresentar um volume menor e desta forma possibilitar um refinamento melhor na malha. As dimensões adotadas no domínio seguem as orientações de Cost (2004) apresentadas em Costóla (2006) e estão mostradas na figura 49.

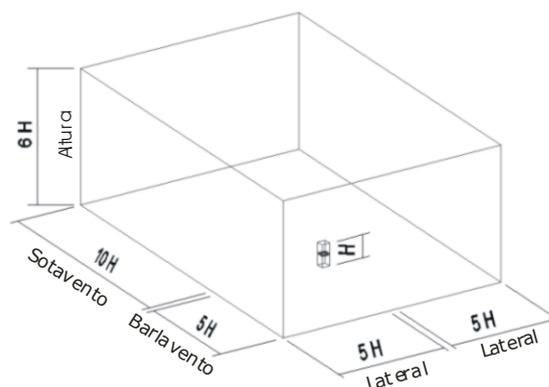


Figura 49 – Dimensão do domínio, sendo H (altura do edifício) = 75m

Ainda, no que se refere ao domínio, a determinação das condições de contorno é determinante na geração do fluxo de ar. A figura 50 apresenta as condições de contorno adotadas.

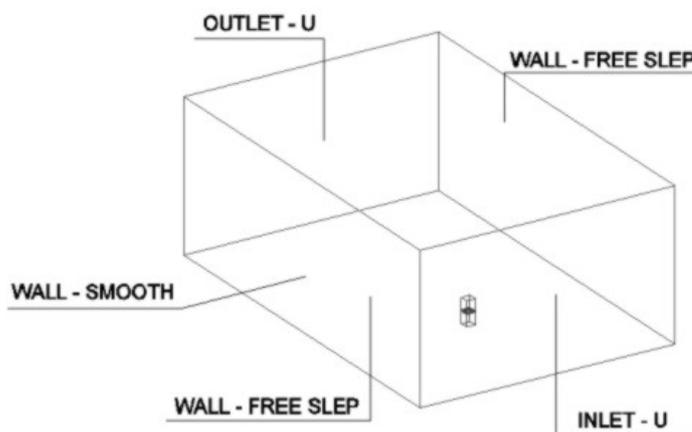


Figura 50 – Condições de contorno adotadas.

A malha bem elaborada é fundamental em uma simulação CFD, pois as soluções das equações do fluxo são realizadas nos seus pontos. A malha é composta de células tridimensionais de tamanhos e formas variados. No momento da sua geração, é possível estipular os valores máximos e mínimos desejados, sendo que posteriormente, ainda é possível o refinamento em partes específicas, julgando necessário. Quanto mais refinada a malha, maiores as chances da simulação alcançar bons resultados. Porém, na medida que se refina a malha, aumenta-se a demanda computacional. Assim, a elaboração da malha deve ser feita, considerando-se estes dois parâmetros.

Neste trabalho adotaram-se as mesmas características de malha para as duas opções de implantação do edifício, com elementos com comprimentos máximos de aresta de 32 e mínimos de 0,125m. Foram colocados prismas, refinamentos da malha com este formato, apenas em torno das partes que geram calor como as pessoas, computadores e forro (devido à iluminação). A malha gerada atingiu a quantidade de 2.300.000 elementos. Os detalhes da malha aplicada podem ser vistos na figura 51.

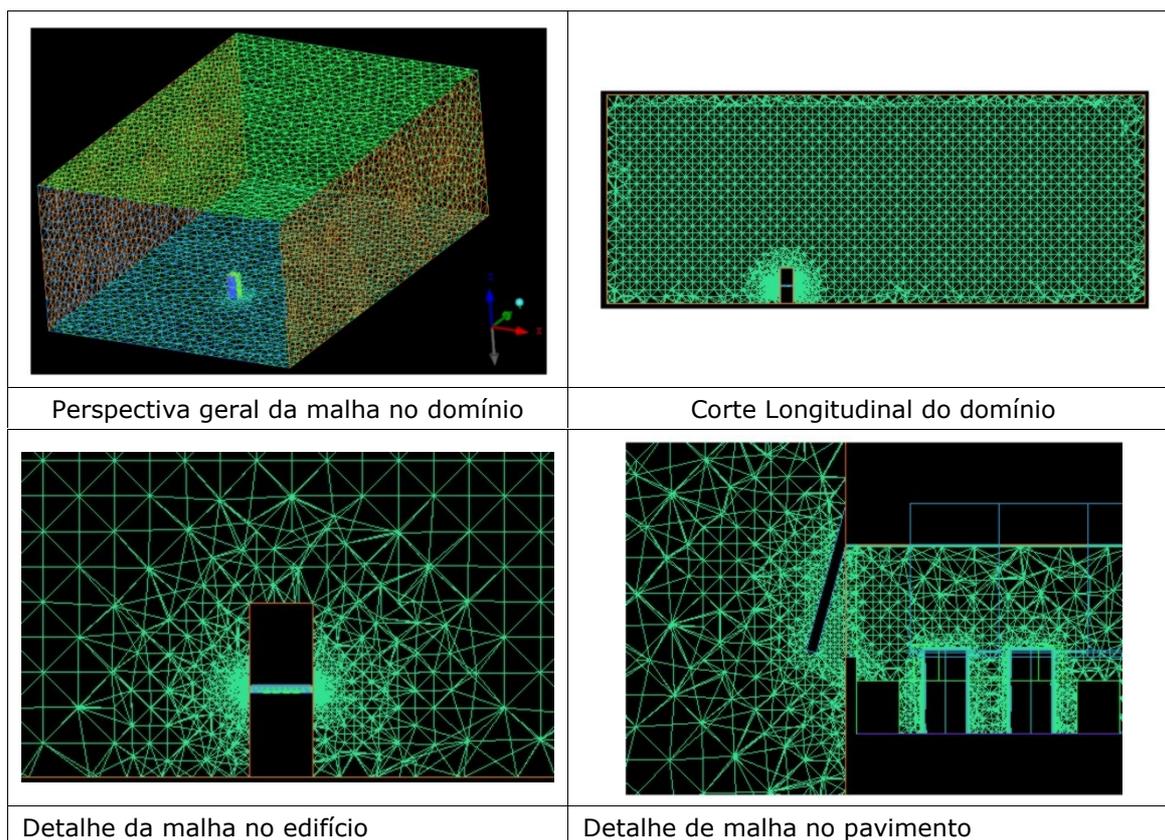


Figura 51 – Detalhes da malha aplicada

As simulações foram feitas, considerando-se o efeito da temperatura, opção buoyant, e adotando-se o ar a 25°C como fluido. As outras opções de fluido disponíveis no software são: Air at STP, que corresponde a um fluido genérico e um gás ideal.

O modelo de turbulência adotado foi o "k-Epsilon". Trata-se do modelo mais validado e comumente usado nas aplicações de engenharia, devido, principalmente, à sua baixa demanda computacional. O modelo "k-Epsilon" é de primeira ordem, isto é, resolve duas equações de fluxo enquanto modelos mais sofisticados, como os de segunda ordem, resolvem seis equações e tratam a turbulência separadamente em cada direção. Modelos mais sofisticados não puderam ser usados neste trabalho devido às suas altas exigências computacionais, além de aumentarem o tempo de processamento em cerca de quatro vezes.

Outra parte muito importante em uma simulação CFD é a definição das "Boundary Conditions", ou condições de fronteira. Trata-se da especificação das propriedades ou condições das superfícies existentes no domínio. São as "boundary conditions" que produzem diferentes soluções para uma dada geometria e determinam a modelagem física.

As "boundary conditions" adotadas consideram a entrada de ar como "inlet", a saída "outlet" e todas as demais partes como "wall", sendo as laterais e teto do domínio com escorregamento e todas as outras sem escorregamento e sem rugosidade.

A temperatura adotada nas superfícies, tais como paredes internas e externas, piso e mobiliário, foi de 25°C, sem escorregamento e sem rugosidade, sendo que as superfícies correspondentes às pessoas, computadores e iluminação (forro) foram consideradas fontes de calor, com intensidades correspondentes às especificadas no item 5.1 que trata da elaboração do modelo.

As simulações de CFD são programadas para atingir certos níveis de resíduos ou parar, após um determinado número de iterações, caso a convergência estipulada não seja alcançada.

A solução de uma simulação de CFD é feita de maneira interativa, na qual os cálculos são refeitos sucessivas vezes, e o resultado do cálculo anterior alimenta o seguinte. Diz-se que a simulação converge quando as diferenças entre os resultados de etapas de cálculos sucessivas tendem a diminuir (CÓSTOLA, 2006).

O nível de resíduos deve ser atingido para se considerar que a simulação convergiu. Neste trabalho definiu-se o nível máximo de resíduos em 10^{-4} e máximo de 500 iterações.

O manual de uso do CFX recomenda que 10^{-4} seja o valor máximo de resíduos para que uma simulação seja considerada satisfatória (CFX, 2003). Valores superiores a isso apontam que os resultados da simulação deixam de ser confiáveis, servindo apenas para se ter uma idéia geral do fluxo de ar.

As simulações foram feitas em um computador do LABAUT FAU-USP, com processador Pentium 4 de 3.2 GHz e 2 GB de memória RAM.

Todos os detalhes sobre os parâmetros das simulações no CFX podem ser vistos no Anexo C.

6.2.2 - Tratamento dos Dados de Saída do CFX

Análise dos resultados gerados foi feita no módulo Post Processor do CFX.

Foram criados planos horizontais correspondentes às alturas das pernas, troncos e cabeças dos usuários sentados e em pé e um plano vertical que corta, longitudinalmente, o domínio, passando pelo edifício em uma das aberturas.

A seguir, a descrição dos planos analisados:

P1 – Corte horizontal a 20 cm do piso. Altura correspondente às pernas dos usuários;

P2 – Corte horizontal a 90 cm do piso. Altura correspondente aos troncos dos usuários sentados;

- P3 – Corte horizontal a 120 cm do piso. Altura correspondente às cabeças dos usuários sentados e aos troncos dos usuários em pé;
- P4 – Corte horizontal a 160 cm do piso. Altura correspondente às cabeças dos usuários em pé;
- P5 – Corte horizontal a 200 cm do piso;
- P6 - Corte vertical longitudinal ao domínio;
- P7 - Corte vertical perpendicular às fachadas do edifício, passando pelas aberturas.

Para cada um dos planos, foram solicitados ao software a geração de imagens com os vetores e contornos das velocidades do ar e os contornos das temperaturas.

A análise dos resultados foi, novamente, baseada no modelo adaptativo proposto pela Ashrae 55 (2004). Foram verificadas se as temperaturas internas, principalmente nas áreas próximas das pessoas, estariam dentro da faixa de conforto estipulada para 90% de usuários satisfeitos. Considerando o mês de outubro, com média mensal das temperaturas externas de 22°C, a temperatura operativa deve estar entre 22°C e 27°C, para atender esta condição.

A análise das velocidades também seguiu os critérios do índice adaptativo proposto pela Ashrae 55 (2004). A norma não estabelece limites de velocidades confortáveis, considerando que, os usuários têm a possibilidade de controlar a abertura das janelas, e desta forma, regular a velocidade do ar. Neste trabalho, somente serão consideradas desconfortáveis, velocidades internas acima de 1,5 m/s, de acordo com o limite máximo adotado no monograma de temperatura efetiva, apresentado na figura 3, página 25 deste trabalho. Velocidades maiores causariam tanto distúrbio no ambiente que impediriam as atividades no escritório devido a problemas práticos, tais como vôo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, entre outros.

A análise dos resultados foi feita na tela do computador para facilitar a visualização das nuances da escala de cores. Os arquivos com as imagens dos resultados estão disponíveis no cd, Anexo D.

Para facilitar a descrição dos resultados, os conjuntos de mesas foram numerados e o sentido da incidência do vento, no pavimento, foi padronizado conforme mostra a figura 52.

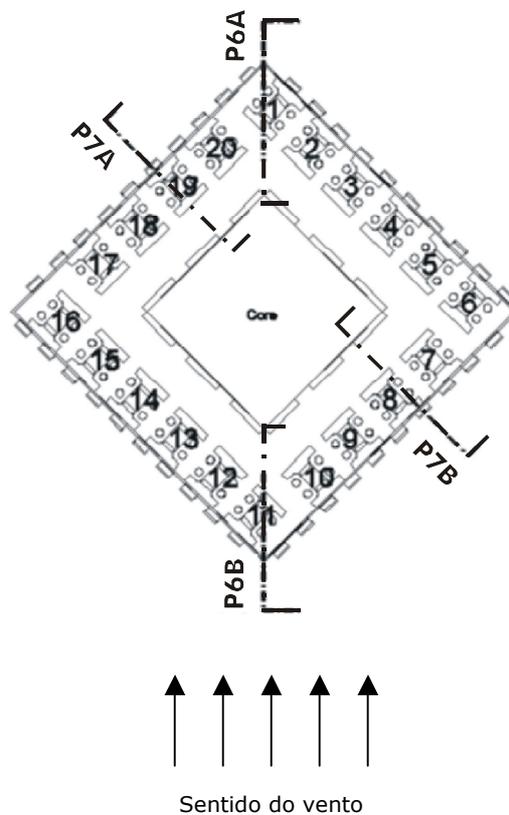


Figura 52 – Numeração das mesas, sentido de incidência do vento e marcação dos cortes verticais

6.2.3 – Resultados

A primeira simulação, com o edifício rotacionado 45° em relação ao domínio, foi bem sucedida e atingiu o nível de resíduos estipulado com 328 iterações.

Porém, a segunda, com o edifício implantado paralelo ao domínio, não atingiu os níveis de resíduos estipulados ao fim das 500 iterações, já com níveis de resíduos estabilizados da ordem de 10^{-3} , portanto, não pode ser considerada convergente e com resultados satisfatórios.

O provável motivo da falta de convergência da segunda simulação é a qualidade da malha. Apesar das duas simulações terem sido feitas com malhas com as mesmas características, para o primeiro caso a malha estava adequada e para o segundo caso, não estava.

No caso da primeira simulação, o fluxo de ar é mais simples com uma definição clara das aberturas que funcionam como entrada de ar e das que funcionam como saída.

No caso da segunda simulação, o fluxo de ar se complica na medida que as aberturas das fachadas laterais funcionam, tanto como entrada quanto como saída de ar. A figura 53 mostra o fluxo de ar gerado com esta implantação do edifício, e dá boas indicações do que acontece no pavimento. Porém, com valores não confiáveis para serem analisados.

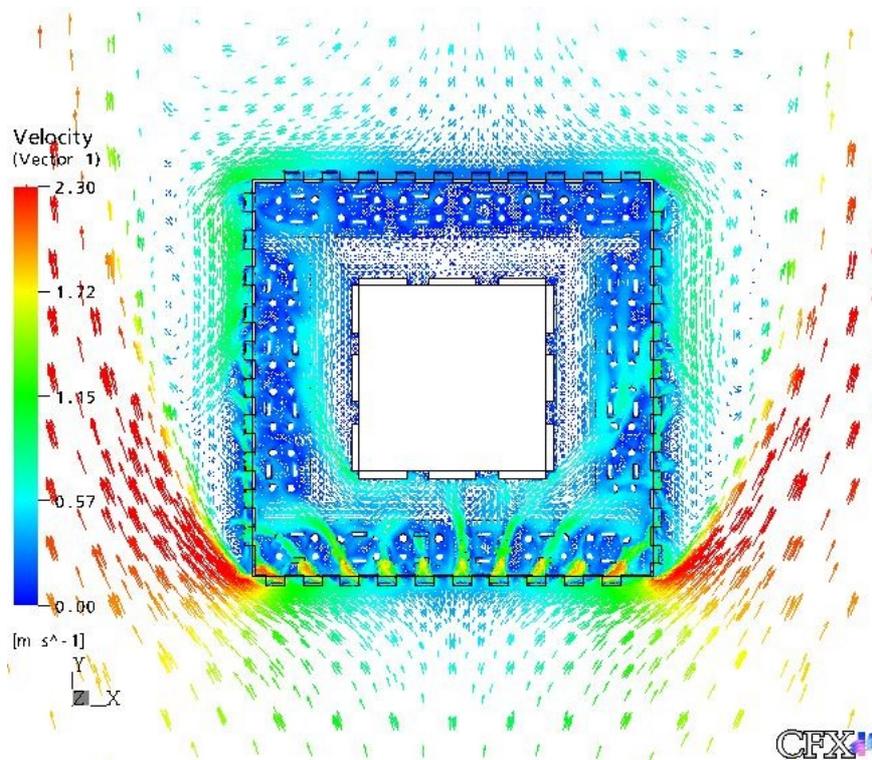


Figura 53 – Idéia geral do fluxo de ar para implantação do edifício paralela ao domínio. Plano horizontal a 120 cm do piso do pavimento.

Para melhorar a qualidade da malha, foi feito um refinamento que implicou em um aumento significativo na quantidade de elementos. A malha de 2.300.000 elementos passou a ter aproximadamente 4.400.000, o que impossibilitou o processamento no computador disponível. Uma solução para isso seria fazer o processamento em paralelo, utilizando a capacidade de mais de um computador, porém isso não foi possível durante o período disponível para simulações neste trabalho.

Desta forma, neste trabalho, somente serão considerados os resultados da simulação com o edifício implantado a 45° em relação ao domínio. A seguir, serão apresentadas as figuras com os resultados obtidos.

- Resultados Obtidos em P1:

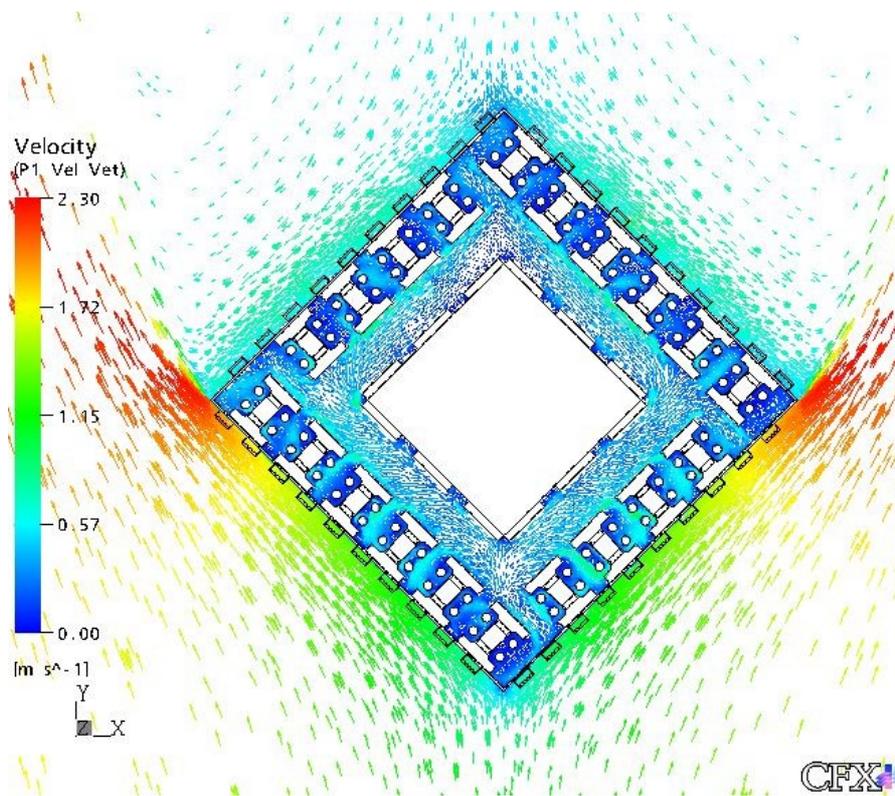


Figura 54 – Vetores de velocidade no plano P1 - 20cm do piso



Figura 55 – Perfil de temperaturas no plano P1 - 20cm do piso

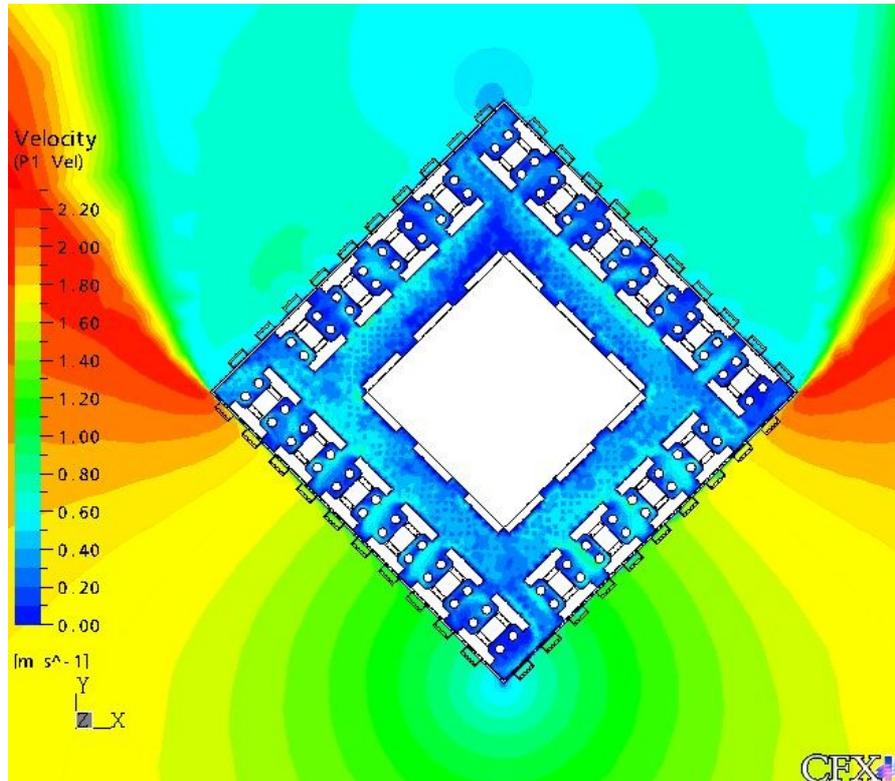


Figura 56 – Perfil de velocidades no plano P1 - 20cm do piso

Os resultados da simulação mostram que, na altura 20cm acima do piso, a temperatura se mantém na faixa entre 25 a 26°C, praticamente ao longo de todo o pavimento, com regiões ao redor das pessoas com até 27°C e desta forma estaria dentro da faixa de conforto para 90% de usuários satisfeitos.

Neste plano, as velocidades se mantêm baixas, de 0 a 0,3 m/s, ao redor do core, aumentando ligeiramente à medida que se aproxima das mesas para até 0,6 m/s, voltando a baixar nas áreas próximas às paredes externas e, entre as pessoas e as mesas, apontando áreas com ar parado. Em nenhuma parte aparecem velocidades consideradas altas.

- Resultados Obtidos em P2:

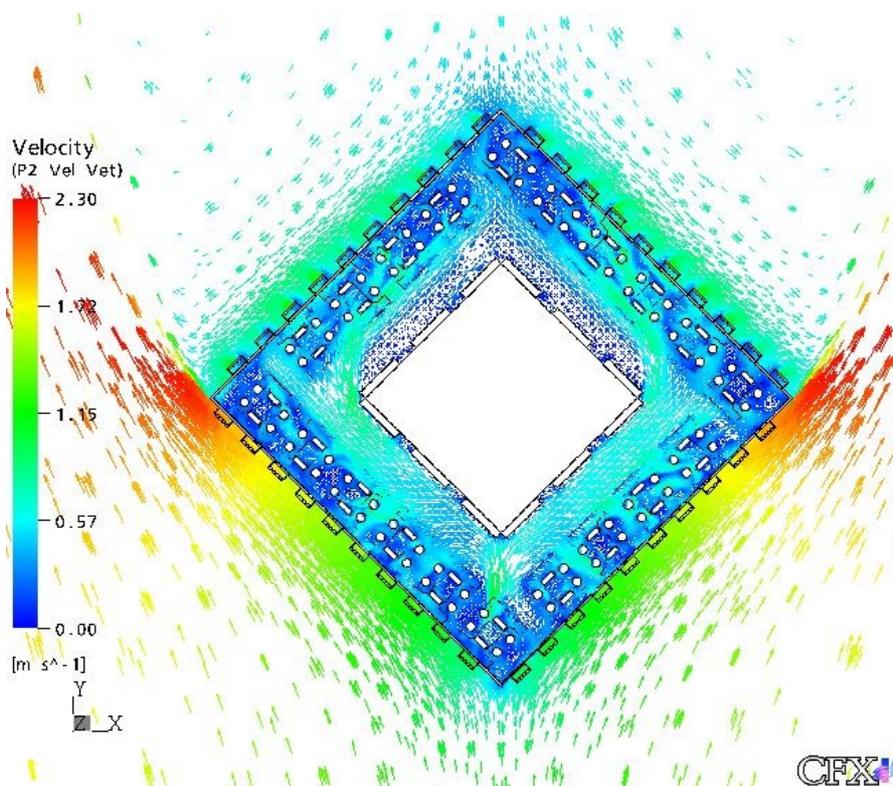


Figura 57 – Vetores de velocidade no plano P2 - 90cm do piso

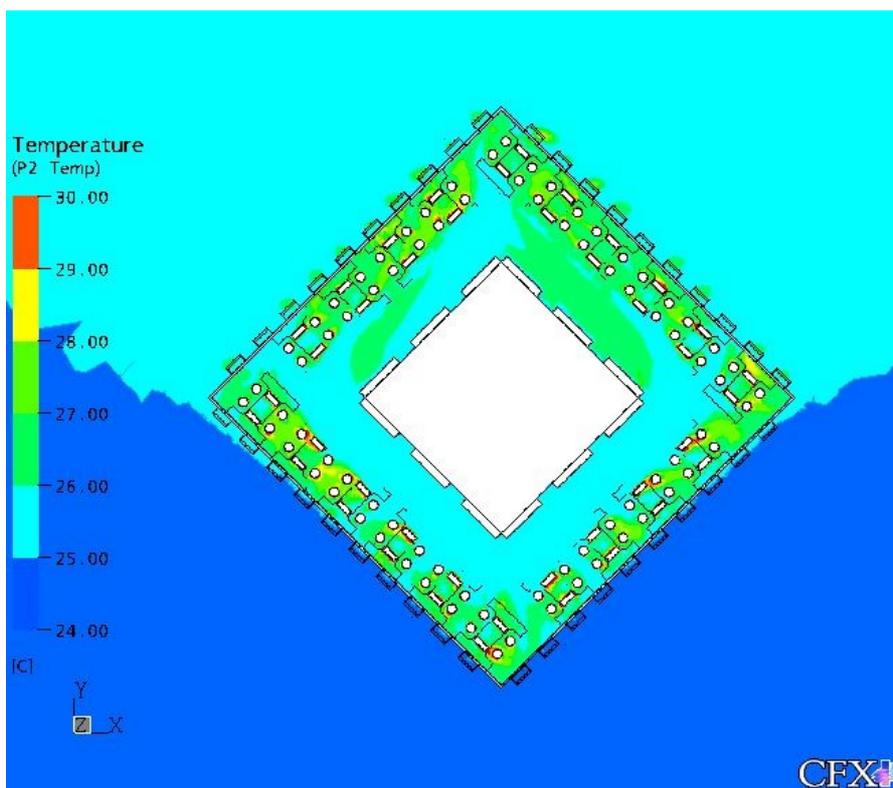


Figura 58 – Perfil de temperaturas no plano P2 - 90cm do piso

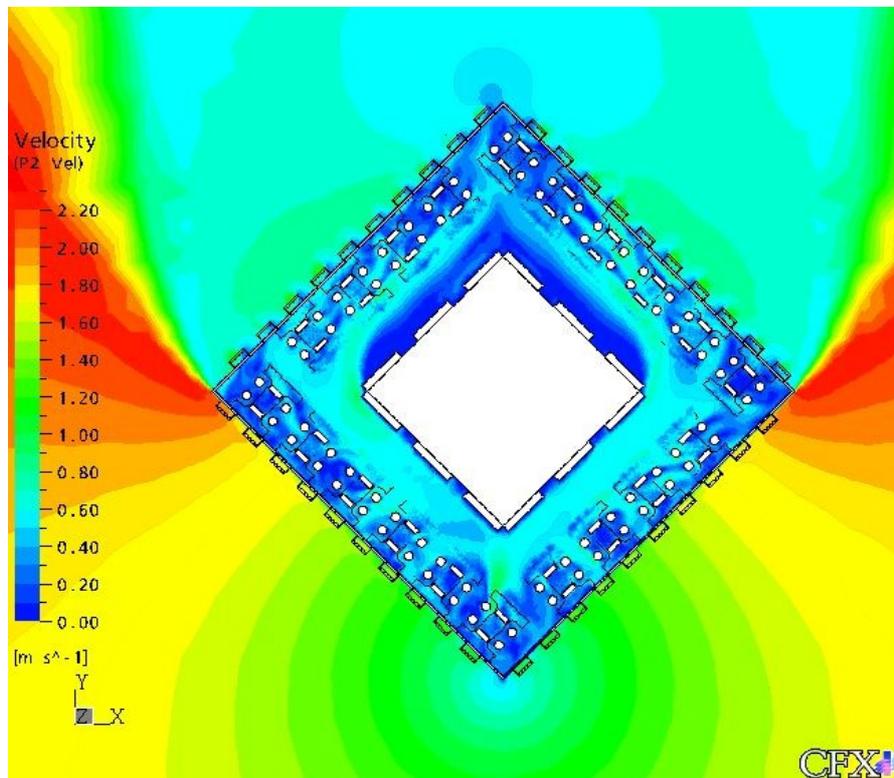


Figura 59 – Perfil de velocidades no plano P2 - 90cm do piso

No plano a 90 cm do piso, as temperaturas se mantêm, em grande parte do pavimento, entre 25 a 26°C, aumentando para até 27°C, na região das mesas e no corredor próximo ao conjunto de mesas de 2 a 5 da orientação nordeste. Em alguns casos, chegam a até 28°C ao redor das pessoas e mais de 30°C, na superfície dos computadores. Estas temperaturas mais elevadas se devem a geração de calor pelas próprias pessoas e computadores, podendo ser consideradas temperaturas superficiais.

A velocidade do ar aumenta, em todo o pavimento, em relação ao plano P1. Aparecem velocidades de 0,5 a 0,7m/s nos corredores e nas mesas próximas. As velocidades mais baixas ocorrem nas áreas próximas dos corredores dos conjuntos de mesas de 18 a 20 e de 1 a 4, coincidindo com a faixa de temperaturas mais altas, e nas mesas próximas das paredes em todo pavimento. Próximo à mesa 11 aparece uma área de velocidade superior a 1m/s. Em nenhum ponto aparecem velocidades de 1,5m/s ou superiores. É interessante notar que até a altura deste plano as janelas não são interceptadas.

- Resultados Obtidos em P3:

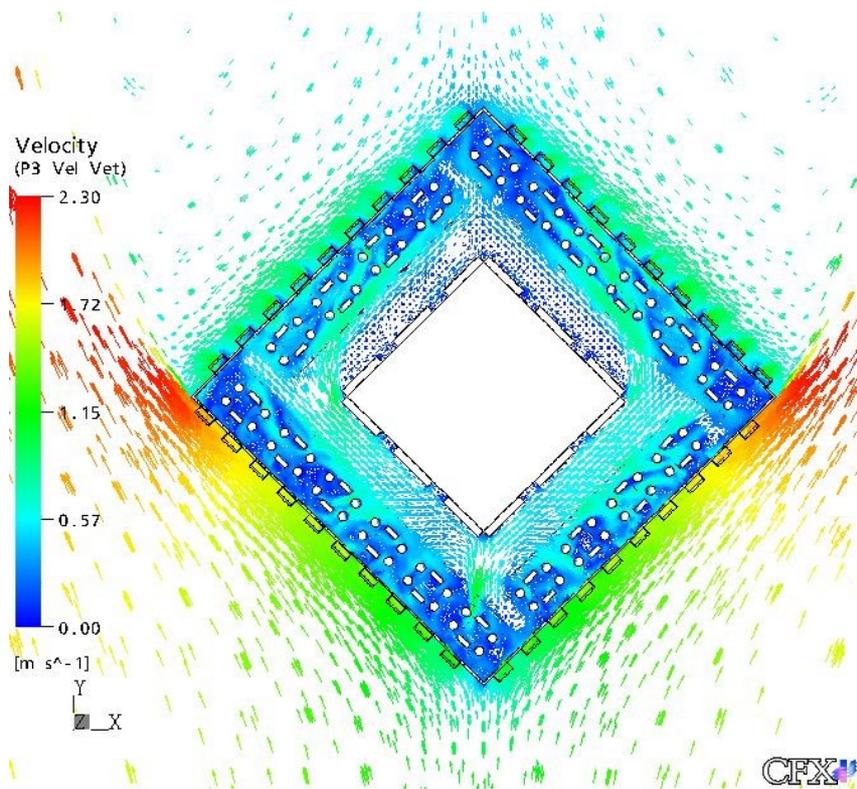


Figura 60 – Vetores de velocidade no plano P3 - 120cm do piso

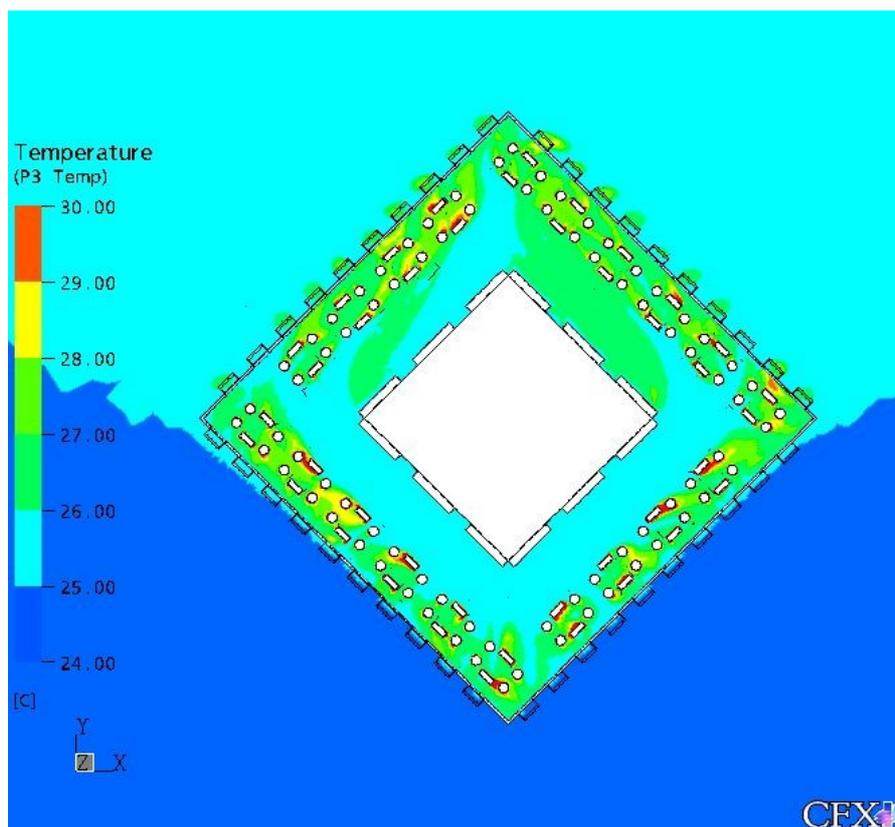


Figura 61 – Perfil de temperaturas no plano P3 - 120cm do piso

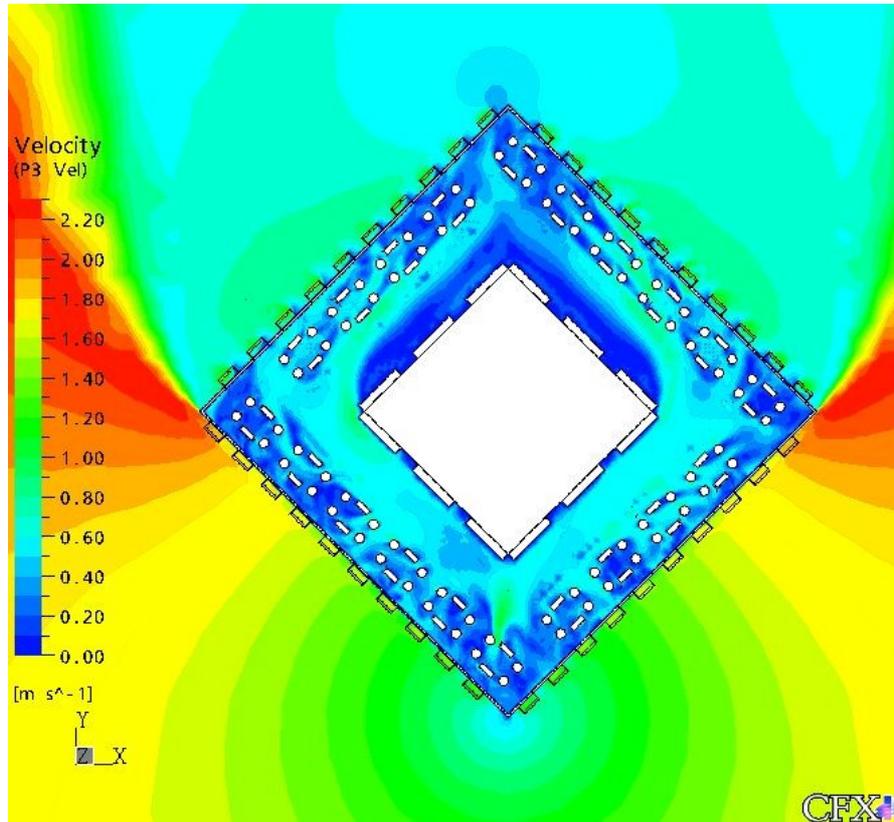


Figura 62 – Perfil de velocidades no plano P3 - 120cm do piso

No plano a 120 cm do piso, as temperaturas continuam, em parte do pavimento, entre 25 e 26°C mas aumenta a faixa até 27°C na região das mesas e corredores próximos aos conjuntos de mesas de 17 a 20 e de 1 a 4, chegando a 28°C ao redor das pessoas e mais de 30°C, na superfície dos computadores.

As velocidades do ar se alteram um pouco em relação ao plano P2. A velocidade aumenta nos corredores próximos aos conjuntos de mesas de 7 a 16, aparecendo velocidades de até 0,8m/s e ainda mais altas nos cantos do core. No corredor próximo aos conjuntos de mesas de 17 a 5, também aparece um aumento considerável na velocidade, chegando a até 0,9, próximo ao conjunto de mesas 4, com pontos com mais de 1m/s. A alta velocidade na área próxima do conjunto de mesas 11, é reforçada e poderia incomodar com velocidades próximas dos 1,5m/s.

Neste plano, as janelas já são interceptadas e altas velocidades, acima de 1m/s, aparecem junto delas, mas sem atingirem as pessoas.

- Resultados Obtidos em P4:

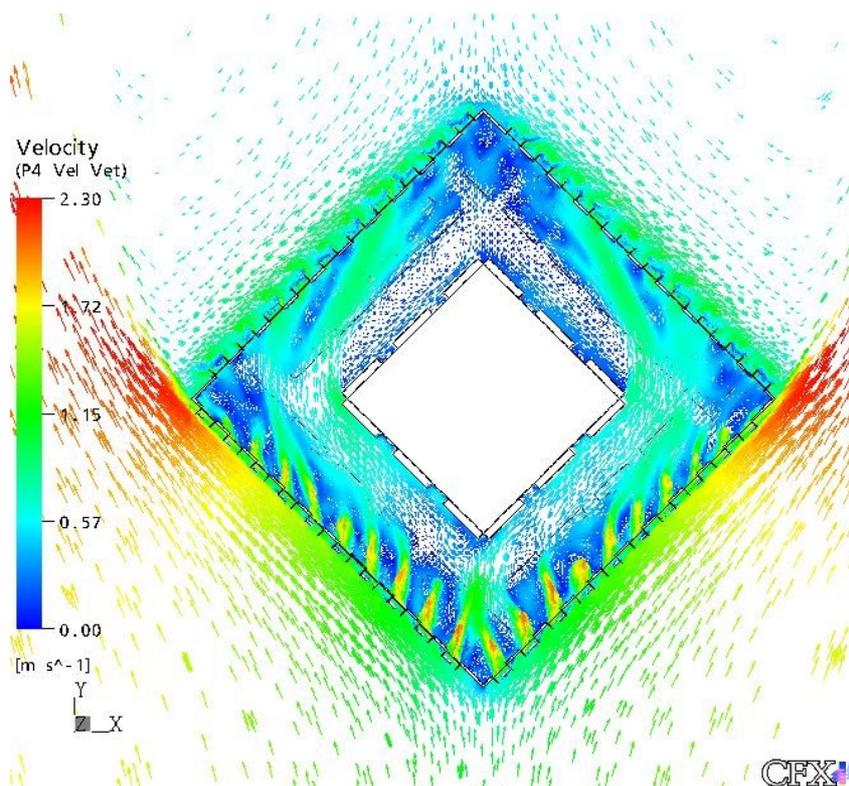


Figura 63 – Vetores de velocidade no plano P4 (160cm do piso)

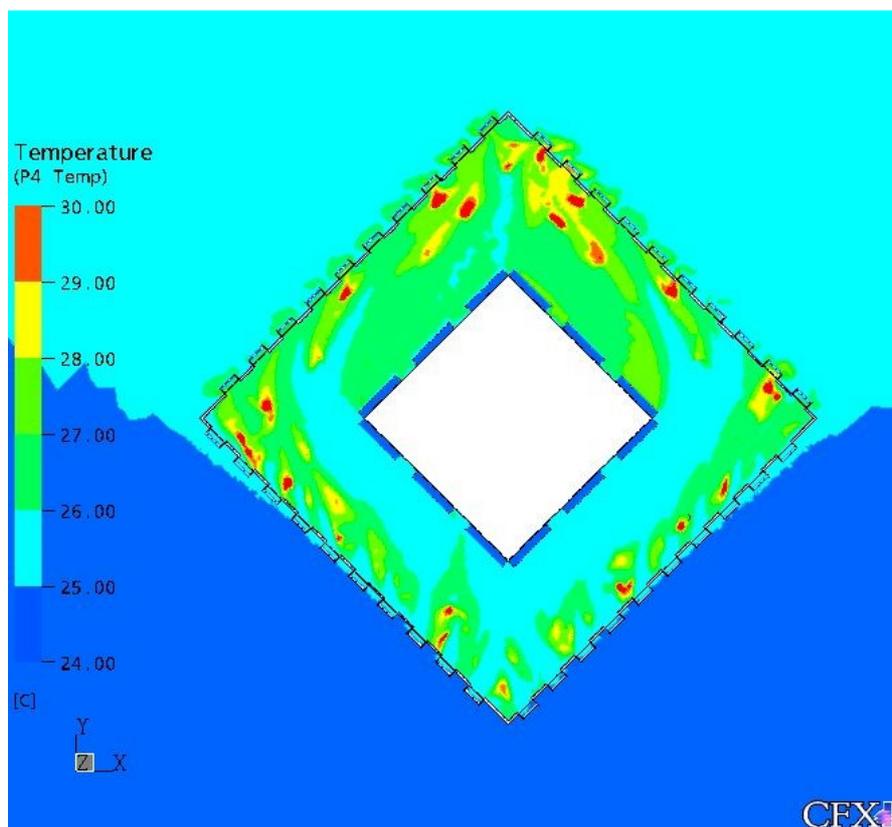


Figura 64 – Perfil de temperaturas no plano P4 (160cm do piso)

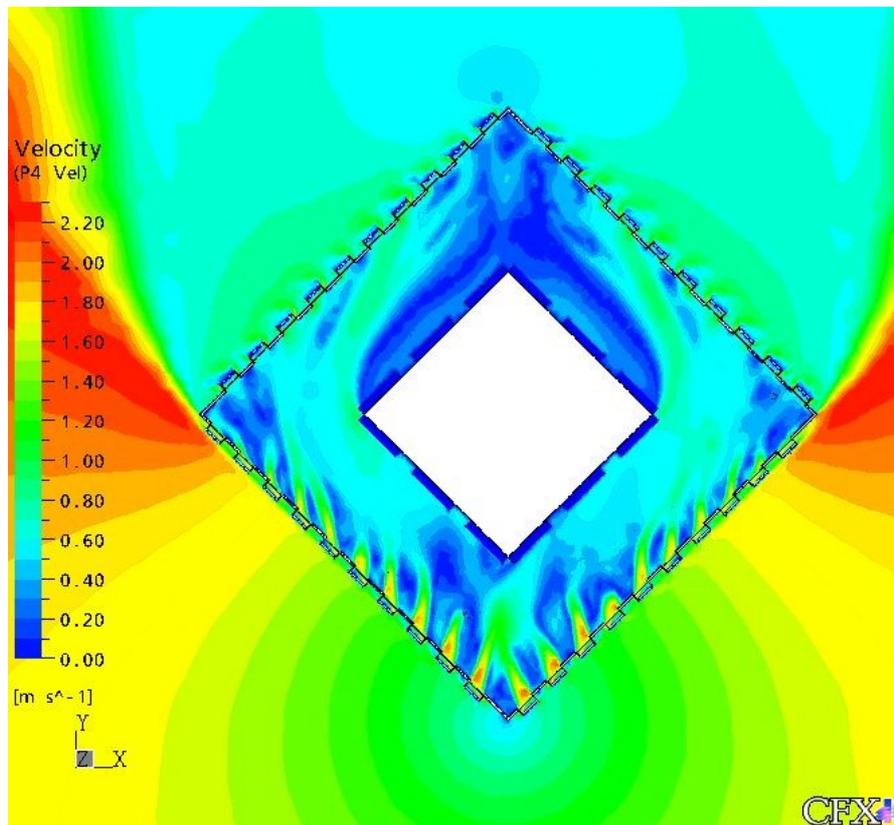


Figura 65 – Perfil de velocidades no plano P4 (160cm do piso)

No plano a 160cm do piso, novamente o perfil de temperatura não se altera, mantendo-se, em parte do pavimento, entre 25 e 26°C e aumentando para até 27°C na região dos corredores e conjunto de mesas de 18 a 20 e de 1 a 4. Aparecem alguns pontos mais quentes devido ao calor gerado pelos computadores mas, este plano não atinge pessoas sentadas.

Com relação à velocidade, se destaca um grande aumento nas áreas próximas às aberturas do sentido de entrada do vento, com velocidades acima de 1,6 m/s. Mantém-se a alta velocidade junto ao canto do core com até 0,9 m/s e também a área com velocidades acima de 1,5m/s junto ao conjunto de mesas 1. Neste plano, verificam-se pontos importantes de desconforto devido a altas velocidades internas.

- Resultados Obtidos em P5:

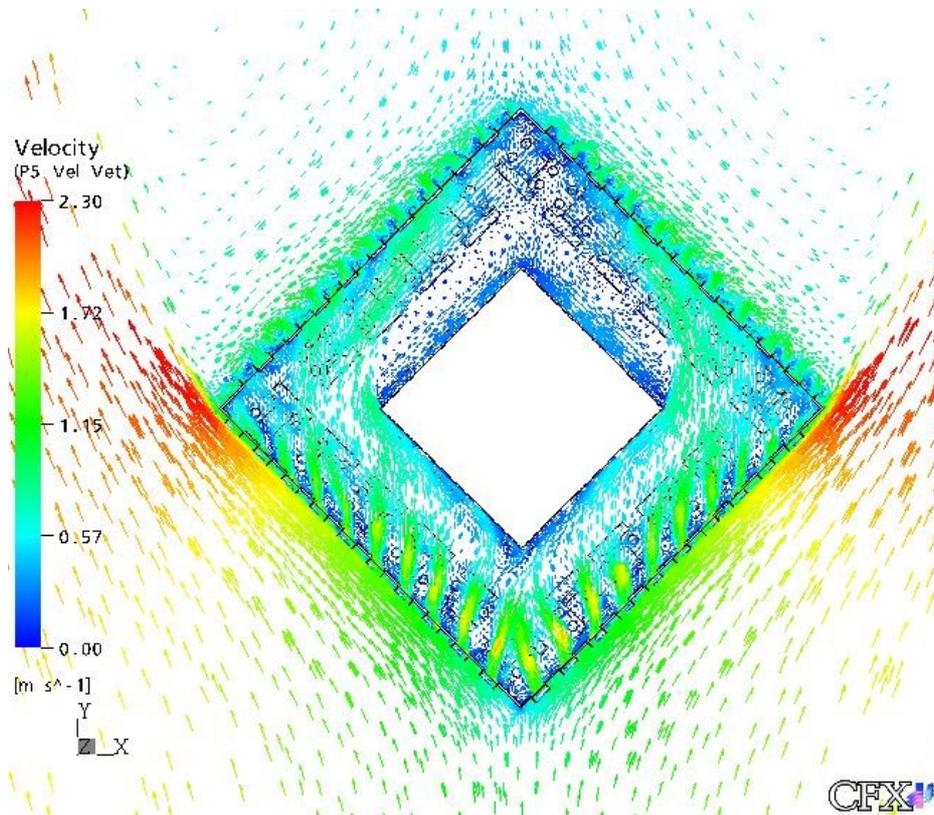


Figura 66 – Vetores de velocidade no plano P5 (200cm do piso)

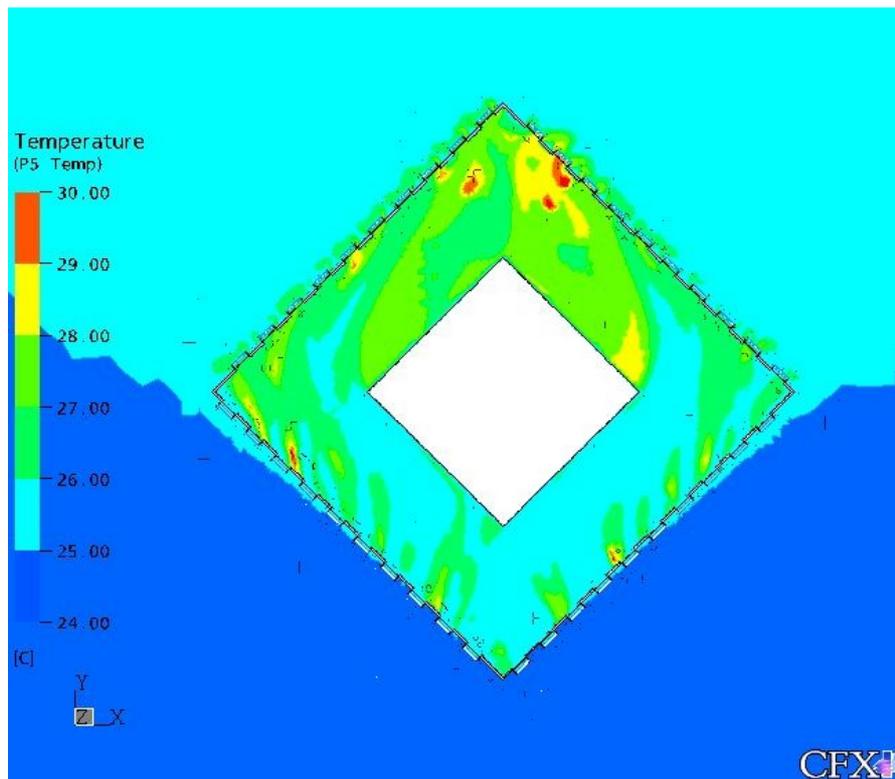


Figura 67 – Perfil de temperaturas no plano P4 (200cm do piso)

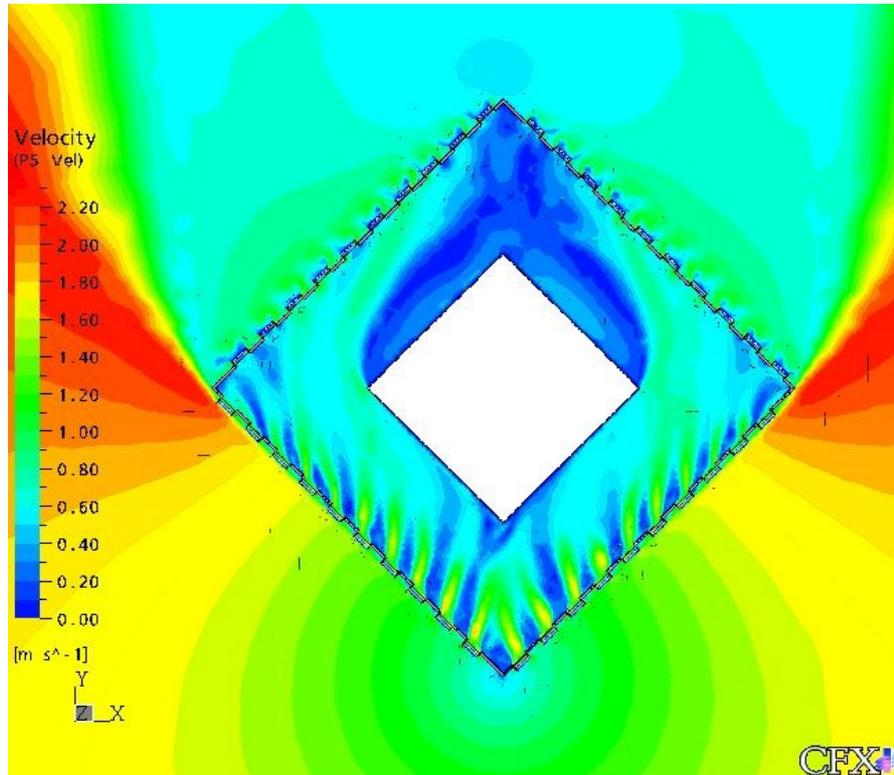


Figura 68 – Perfil de velocidades no plano P4 (200cm do piso)

No plano a 200cm do piso, a temperatura se mantém em parte do pavimento entre 25 e 26°C nas áreas voltadas para as orientações sudeste e sudoeste, sentido de entrada do ar, e aumenta para 27°C e até 28°C nas áreas voltadas para as orientações noroeste e nordeste. Este plano não atinge pessoas e já se aproxima do forro com calor gerado pela iluminação.

A velocidade diminui nas aberturas próximas da entrada do ar, mas ainda se mantém alta, acima de 1,5 m/s. Percebe-se também uma grande área com baixas velocidades nas áreas com orientação nordeste e noroeste.

Observação: A figura 52, na página 139, mostra a localização dos cortes feitos pelos planos P6 e P7.

- Resultados Obtidos em P6:

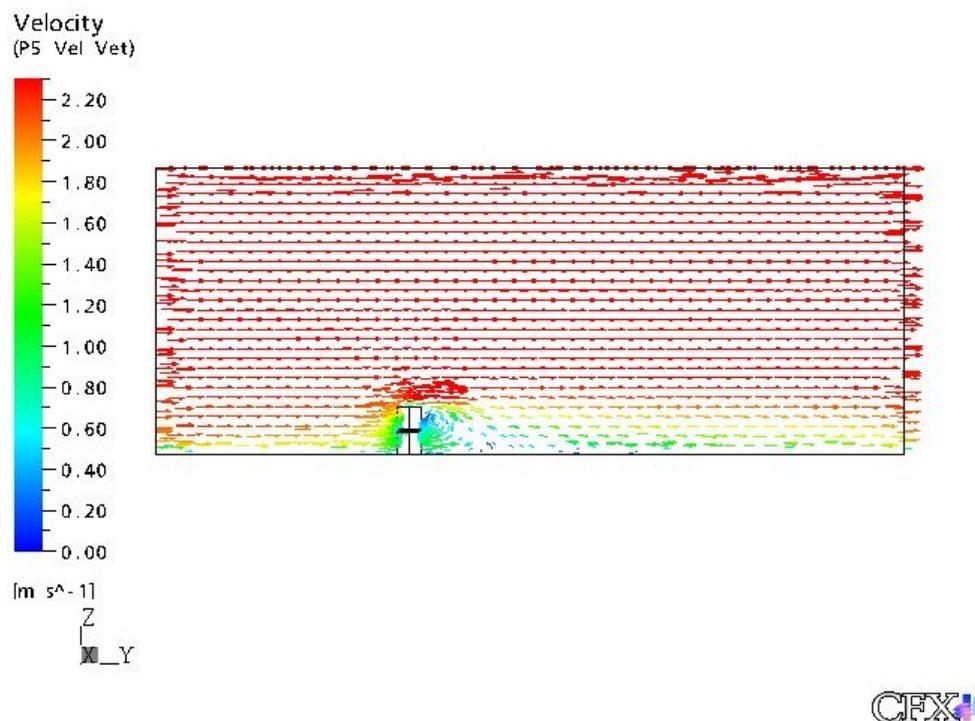


Figura 69 – Corte vertical longitudinal no domínio com vetores de velocidades

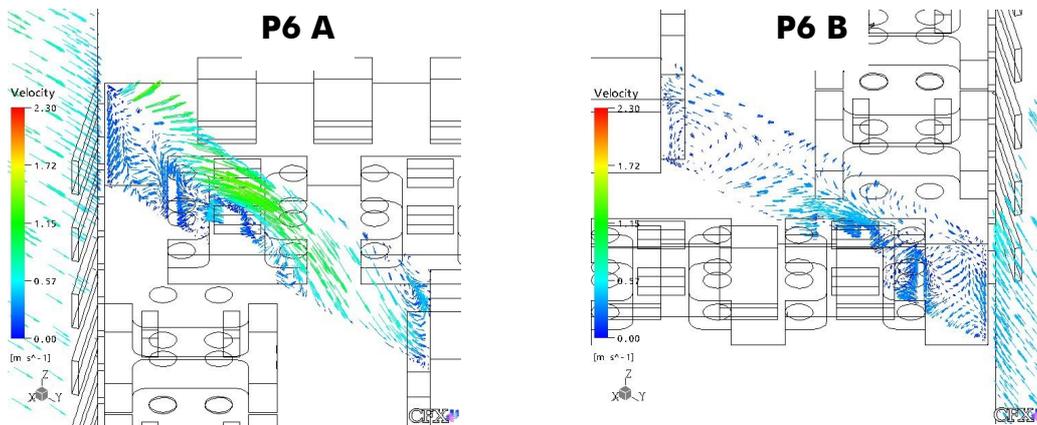


Figura 70 – Vetores de velocidade no interior do edifício

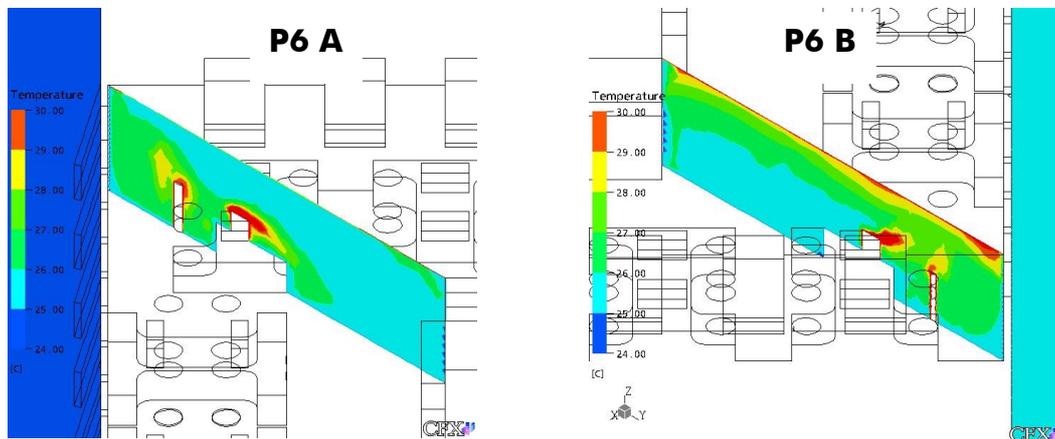


Figura 71 – Perfil de temperatura no interior do edifício

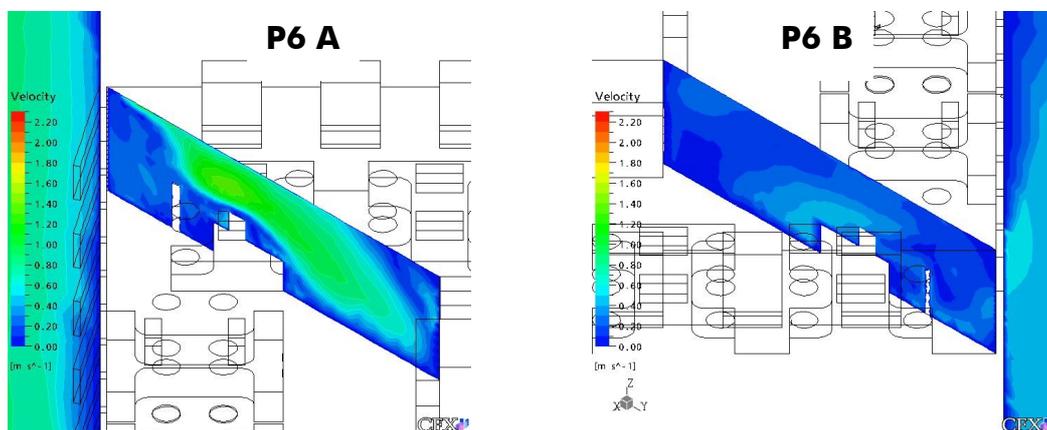


Figura 72 – Perfil de velocidade no interior do edifício

- Resultados Obtidos em P7:

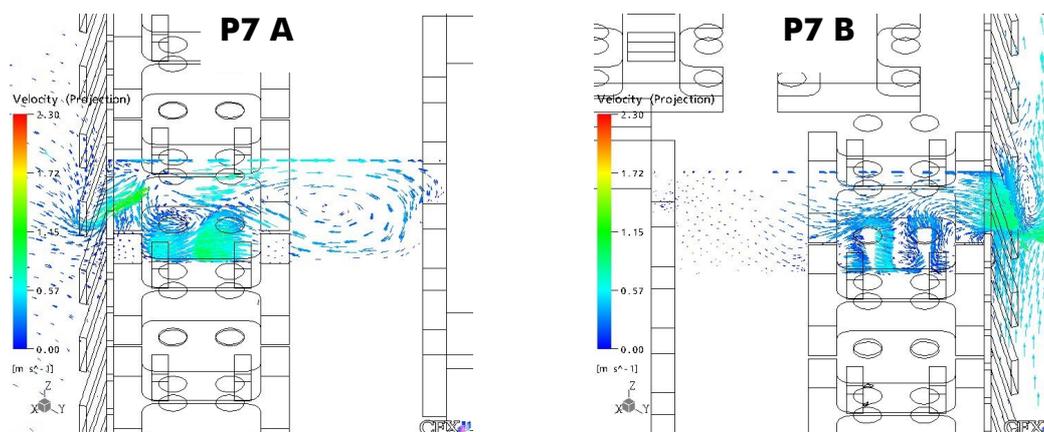


Figura 73 – Vetores de velocidade no plano perpendicular as fachadas

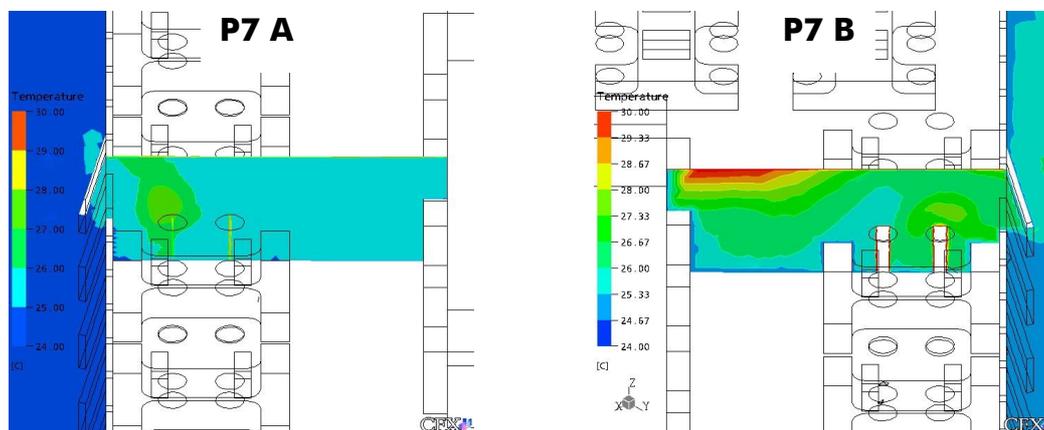


Figura 74 – Perfil de temperatura no plano perpendicular as fachadas

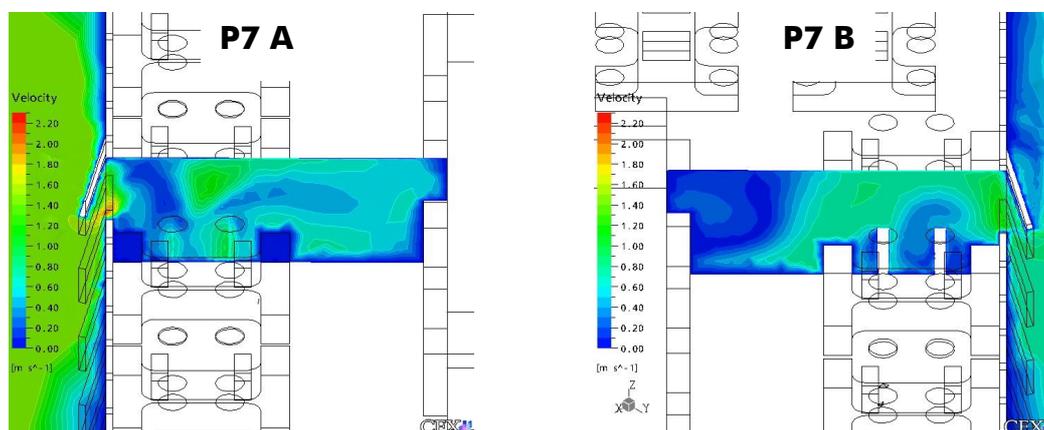


Figura 75 – Perfil de velocidade no plano perpendicular as fachadas

Os cortes verticais, junto às entradas de ar, apontam que a temperatura aumenta imediatamente após a entrada no ambiente para até 26°C e varia até 27°C. Temperaturas mais altas são encontradas somente bem próximas às superfícies das pessoas e dos computadores.

Os vetores de velocidades mostram que as aberturas direcionam o fluxo de ar para cima, e ele atinge o forro com velocidades que variam de 0,5 a mais de 1,5m/s enquanto algumas áreas baixas permanecem sem movimento do ar.

Na área junto à saída de ar, percebe-se mais claramente a estratificação da temperatura de 26°C a 29°C junto ao forro.

As áreas do pavimento, próximas às aberturas de saída, têm velocidades em torno de 0,6 m/s, aumentando, consideravelmente, à medida que se aproxima dos caixilhos.

6.2.4 – Discussão

Com relação à temperatura, a simulação apresenta uma faixa de variação relativamente pequena, de 25°C a 27°C, no pavimento como um todo chegando a 28°C nas áreas próximas às pessoas e mais altas, acima de 30°C, nas superfícies dos computadores. Também são percebidas altas temperaturas bem próximas do forro devido ao calor gerado pela iluminação artificial. Estas temperaturas quando analisadas, de acordo com o índice adaptativo não apontariam desconforto em nenhuma área do pavimento durante o mês de outubro, considerando que as temperaturas altas ao redor das pessoas são a própria temperatura da pele.

A simulação com o CFX mostra uma distribuição do fluxo de ar relativamente boa, com poucos pontos de “ar parado”. O ar sem velocidade aparece somente em algumas áreas baixas do pavimento, correspondentes à altura das pernas dos usuários, não interferindo na percepção de conforto, e também em áreas junto aos armários voltados para as fachadas a sotavento.

Os corredores voltados para as fachadas a sotavento apresentam baixas velocidades de ar. Neste modelo, esta área junto ao core não tem usuários, mas, caso tivesse, seria interessante a adoção de uma estratégia para aumento da velocidade, como por exemplo, ventiladores de mesa com controle individual, para aumentar a velocidade de acordo com a preferência dos usuários. Estas baixas velocidades se devem à existência do volume do core que gera uma área de sombra para ventilação. Provavelmente, caso este volume estivesse dividido e distribuído no pavimento, a distribuição do fluxo de ar seria melhor.

Com relação às velocidades, para a altura das pessoas sentadas e para altura do plano de trabalho, não se percebe ocorrência de altas velocidades do ar que pudessem interferir nas atividades nas áreas próximas às mesas. A exceção é a área do conjunto de mesas 11 onde percebe-se altas velocidades do ar e necessidade de regulação do fluxo.

Porém, quando se consideram alturas maiores, no pavimento, a velocidade do ar aumenta consideravelmente, à medida que a área de abertura das janelas vai diminuindo. Velocidades do ar com os valores obtidos poderiam causar desconforto para pessoas em pé, em diversos pontos, principalmente, nas áreas próximas das fachadas.

Os resultados obtidos reforçam a tese da teoria adaptativa de que a chave para conforto térmico, em ambientes ventilados naturalmente, está no controle e liberdade de atuação do usuário no ambiente.

Neste aspecto, a tipologia de janela tem um papel muito importante. Fica claro que, um edifício de escritórios, para ter condições de operar com a ventilação natural precisa de um projeto de fachadas com aberturas que permitam regulação para controle da vazão e das velocidades internas do ar

Os caixilhos do tipo maxim-ar que foram adotados na modelagem deste edifício, e que são normalmente usados nos edifícios de escritório, oferecem pouca ou nenhuma opção de regulação. Normalmente sua abertura é fixada em um ângulo máximo e, ou a janela está totalmente aberta ou está fechada.

Seria interessante a aplicação de tipologias de esquadrias que permitissem regulação de abertura e evitassem o aumento das velocidades de forma tão acentuada. Existem diversas opções de esquadrias que podem ser consideradas mais eficientes sob este ponto de vista, mas que não são usadas em edifício de escritórios principalmente por motivos de segurança. Porém, soluções criativas podem ser aplicadas, desde simples esquadrias com vãos mais favoráveis, seja pela forma ou pela área de passagem do ar, ou composições com palhetas reguláveis ou até mesmo as sofisticadas fachadas duplas ventiladas.



7 Conclusão

7.1 – Considerações Finais

Este trabalho procurou demonstrar as possibilidades de uso da ventilação natural do ponto de vista do conforto térmico, fazendo a análise das temperaturas internas e também uma exploração de como estaria acontecendo em edifícios com os padrões atuais de ocupação e de arquitetura.

Os softwares de simulação foram ferramentas fundamentais para que os objetivos propostos fossem alcançados. As simulações com o EnergyPlus permitiram estimar com facilidade o desempenho térmico das diversas orientações do edifício. O software, apesar de não ter uma interface amigável, oferece a oportunidade de avaliação dos mais diversos parâmetros físicos do edifício, com grande confiabilidade. É bastante eficiente na avaliação térmico-energética em fases avançadas de projeto, quando já se tem conhecimento detalhado dos materiais, da ocupação e dos sistemas que serão usados.

As simulações com CFX mostram como o uso de uma ferramenta CFD pode ajudar no projeto de ventilação. Os resultados ajudam a comprovar fenômenos conhecidos e já esperados, mas também a identificar problemas e pontos de melhoria no projeto. Apesar das simulações serem complexas e trabalhosas, seus resultados permitem uma estimativa visual e confiável, bastante útil para o desenvolvimento de projeto, desde seus estágios iniciais, até a verificação final de desempenho, dependendo dos dados de entrada disponíveis.

Os resultados das simulações com EnergyPlus, comparados com o índice proposto pela Ashrae 55 - 2004, demonstraram grandes possibilidades de utilização da ventilação natural para redução das temperaturas internas em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo, em todas as orientações.

Foram encontradas temperaturas consideradas altas, mas que, ao serem analisadas sob o enfoque de um índice adaptativo, são apontadas como confortáveis.

Para conforto térmico de 90% dos usuários durante todo o ano, a ventilação natural poderia ser usada dos meses de maio a outubro, ou seja, durante seis meses do ano, desde que os usuários pusessem regular as aberturas, nos períodos de desconforto devido ao frio ou alterar a sua vestimenta. Para 80% de usuários satisfeitos este período aumenta para dez meses, de março a dezembro.

Uma boa estratégia seria a combinação ventilação natural com uso de sistemas mecânicos ou mesmo do ar condicionado, sistema conhecido por ventilação híbrida ou modo-mixto. Desta forma, seria possível aproveitar ao máximo o potencial existente de uso de uma tecnologia passiva, dentro das suas limitações, e ainda manter o conforto térmico nos períodos onde não for suficiente.

A simulação com o CFX demonstra que, a estratificação de temperaturas no pavimento mantém as temperaturas nas áreas com ocupação em uma faixa aceitável, para 90% de usuários satisfeitos, mesmo quando se avalia o mês mais quente do período apontado como confortável.

As velocidades do ar apesar de não causarem desconforto para pessoas sentadas e distúrbio no plano de trabalho, necessitam de dispositivos de controle para serem consideradas adequadas.

Nas áreas com baixas velocidades poderiam ser incorporados sistemas de ventilação mecânica com controle individual para incrementar a ventilação caso o usuário desejasse. Para as áreas e alturas do pavimento com altas velocidades, a adoção de esquadrias com possibilidade de regulação de vazão e velocidade resolveria o problema.

Fica claro que, um edifício de escritórios, para ter condições de operar com a ventilação natural de forma satisfatória, precisa de um projeto de ventilação muito bem elaborado. Isso implica em características diferenciadas de layout e de projeto arquitetônico, principalmente no que se refere às fachadas e caixilharia.

7.2 - Novos Temas para Desenvolvimento Futuro

Este trabalho tratou da ventilação natural em edifícios de escritórios do ponto de vista do conforto térmico, porém, outros aspectos relacionados ao uso da ventilação natural, em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo, ainda precisam ser investigados.

A questão acústica é um destes aspectos, devido aos altos níveis de ruído encontrados em muitas das regiões onde mais se constroem edifícios deste tipo em São Paulo.

A qualidade interna do ar é um outro aspecto, devido à possibilidade da poluição existente na cidade prejudicar a qualidade do ar no interior dos escritórios.

Do ponto de vista do conforto térmico este trabalho ainda abre uma série de possibilidades.

O índice proposto pela teoria adaptativa de conforto condiciona o uso da ventilação natural à liberdade de vestimenta e ao controle do ambiente pelos usuários, porém, ainda não está bem definido esse controle. Afinal, em que circunstâncias os usuários se sentem no controle do ambiente? Quais características o ambiente precisa ter para isso?

Também seria interessante se investigar o que acontece em momentos de calma, ou seja, quando não se tem o vento. O movimento convectivo do ar seria suficiente para gerar velocidades e vazão suficientes para obtenção de conforto? De que forma ele poderia ser incrementado?

Uma outra opção seria investigar as limitações causadas pelos períodos de ventos muito fortes ou a ventilação natural em andares altos onde o vento é naturalmente mais forte. Como a ventilação natural poderia ser aproveitada nestes casos, sem causar desconforto ou prejudicar a realização das atividades no edifício?

A caixilharia também é um assunto importante relacionado à ventilação natural. Hoje, a grande maioria dos edifícios de escritórios usa as janelas do tipo maxim-ar, quando não é completamente estanque. Nesta

pesquisa investigou-se esta tipologia com dimensões e ângulo de abertura fixos. Poderiam ser analisadas as diferenças encontradas com diferentes dimensões e regulagens de abertura. Mas, principalmente, poderiam ser investigadas outras tipologias de aberturas e suas configurações em um pavimento. Neste aspecto abre-se um leque imenso de possibilidades de investigação, como estudo do fluxo do ar interno com as mais diversas tipologias de aberturas.

Assim, a possibilidade de uso da ventilação natural em edifícios de escritórios, ainda que combinada com um sistema artificial de resfriamento, é real, mas ainda é necessário muita pesquisa para que se possa aproveitar da melhor maneira os benefícios que podem ser obtidos com a sua utilização.



Referências Bibliográficas

ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). Manual de Portas e Janelas de Alumínio. <http://www.abal.org.br/hotsites/portas1/Manual.htm>

ABESCO, Boletim de Eficiência Energética 90/02, 25/10/2006 (Mala direta eletrônica)

ALLARD, F.; GHIAUS, C.; MANSOURI, Y. Natural Ventilation for Health, Comfort and Energy Efficiency. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5 a 7 de novembro de 2003 Curitiba/PR. Anais do IV ENCAC. 2003, P5.

ALLARD, Francis. Natural Ventilation in Buildings – A Design Handbook. London, James e James.1998.

ALUCCI, Márcia P.; CARNEIRO, Claudia M.; BARING, João Gualberto. Implantação de Conjuntos Habitacionais: Recomendações para adequação climática de acústica. São Paulo: IPT, 1986

ALUCCI, Márcia Peinado. Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica; Procedimentos para o desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações. São Paulo, 1992. 225p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo

ANDRADE, C. M.; Avaliação da Ocupação Física em Escritórios Utilizando Métodos Quali-quantitativos: o Caso da Editora Abril em São Paulo [Dissertação de Mestrado]. São Paulo, FAUUSP, 2003.

ANDRADE, C. M.; Avaliação de Desempenho em Edifícios de Escritórios: O ambiente de Trabalho como Meio para o Bem-Estar Produtivo. [Tese de Doutorado]. São Paulo, FAUUSP, 2005.

ANVISA. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/> Agência Nacional de Vigilância Sanitária (acesso em setembro de 2005)

ASHRAE - International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) Users Manual and CD-ROM, Atlanta: ASHRAE, 2001

ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Ashrae - 2004.

ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta: ASHRAE, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS , NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades; Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; PARTE 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10821: Caixilho para edificação - Janela. Rio de Janeiro. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6401: Instalações centrais de ar condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro. 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9077: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro. 2001.

BAHIA, Sergio R.; GUEDES, Paula A.; THOMÉ, Mabele R.; NADALUTTI LA ROVERE, Ana Lúcia (Coords.). Modelo para Elaboração de Código de Obras e Edificações. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997

BEN 2006. Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional - ano base 2005. In:

http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=10780 (acesso em janeiro de 2007).

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO Christhina. Introdução à Ventilação Natural. Maceió, EdUFAL, 2005.

BOERSTRA, S.R.; KURVERS. Office buildings design in the Netherlands: Sealed Windows & Air-conditioning, unavoidable or not? In: <http://www.binnenmilieu.nl/hb97-win-art.htm> (acesso em maio de 2003).

BRAGER, G. S., DE DEAR, R. Thermal adaptation in the built environment: a literature review, *Energy Buildings* 27 (1998) 83-96.

BRAGER, G. S., DE DEAR, R. Uma norma para ventilação natural, *Revista Climatização* (Março 2001) 44-54.

BRAGER, G. S., PALIAGA, G., DE DEAR, R. Operable Windows, Personal Control, and Occupant Comfort, *Ashrae RP – 1161. ASHRAE Transactions*, 2004, vol 110, Part 2, 17 – 35.

BRAGER, S.G., DE DEAR, R. Thermal adaptation in the built environment: a literature review, *Energy Buildings* 27 (1998) 83-96.

BRE Environmental Design Manual (1994). Building Research Establishment, Garston.

CFX 5 User Guide, AEA Technology, Computational Fluid Dynamics Services, Harwell Laboratory, Oxfordshire, UK, 2003.

CIB (Conseil International du Bâtiment) and Sustainable Construction. AGENDA 21 on Sustainable Construction. CIB Publication 237. www.cibworld.nl. (acesso em setembro de 2003)

CIBSE BRIEFING 8 (2003) Reducing emissions through energy efficiency – Key issues to address in designing and operating buildings. London, The Chartered Institution of Building Services Engineering

CLARK, G. Passive Cooling Systems. Chapter 6 of *Passive Cooling*. Cook, J. (Ed.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1989).

COOK, J. The State of Passive Cooling. Chapter 1 of *Passive Cooling*. Cook, J. (Ed.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1989).

Referências Bibliográficas

COST. Cost Action 14: Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment. Bruxelas: COST, 2004.

CÓSTOLA, Daniel; Ventilação por Ação do Vento no Edifício: Procedimento para Quantificação. [Dissertação de Mestrado] São Paulo, FAUUSP 2006.

COTTING, René. Barriers to natural ventilation design of office buildings. First report of NatVent Project – Joule Programme. Switzerland, 1998.

CRAWLEY, B.D. et al. EnergyPlus: Creating a New Generation Building Energy Simulation Program. Energy and Building 33/4, 443-457.

DE DEAR, R., BRAGER, S.G., COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, Final Report – Ashrae RP – 884. March 1997.

DILONARDO, L F. S.P. Avaliação do Uso de Tecnologias Passivas Visando a Eficiência Energética em Edifícios de Escritórios. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo, FAUUSP, 2001.

DUTT, A.J., DE DEAR, R. and P. KRISHNAN. "Full scale and model investigation of ventilation and comfort in a building". In Preprints of the Eighth International Conference on Wind Engineering, London, Ontario Canada, July 1991, pp10.1-10.2.

EMMERICH, Steven J.; DOSL, W. Stuart; AXLEY, James W. Natural Ventilation Review and Plan for Design and Analysis Tools. NIST – National Institute of Standards and Technology, Technology Administration, U.S. Department of Commerce. 2001.

EPA. National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards, Code of Federal Regulation, 1987. U.S. E.P.A.

FANGER, O. Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering. Copenhagen, 1970. 244p.

FANGER, P.O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned building in warm climates. Energy and Buildings 34 (2002) 533-536.

FISK, W. J.; ROSENFELD, A. H. Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments. *Indoor Air* 1997;7: 158-172.

FLEURY, B. Ventilative Cooling. Paper presented at the workshop on Passive Cooling, 2-4 april 1990, Ispra. CEC, Joint Research Center (1990).

FOUNTAIN, M. et al. Locally Controlled Air Movement Preferred in Warm Isothermal Environments, *ASHRAE Transactions* 100 (1994), 937-952.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. 4. ed. São Paulo: Nobel. 2000.

FROTA, A. B. Ventilação Natural. São Paulo. 2000. 74p. (apostila de aula)

GAN, G. Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings* 31 (2000) 65-73..

Getting Started with EnergyPlus, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, USA, 2005

GIVONI, B. Man, Climate and Architecture. Applied Science Publishers LTD – 2ª edition, London, 1976.

GONÇALVES, J C. S.; A Sustentabilidade do Edifício Alto. Uma nova geração de edifícios altos e sua inserção urbana. [Tese de Doutorado]. São Paulo, FAUUSP, 2003.

GONÇALVES, J C. S.; Uma Nova Geração de Edifícios Altos de Escritório no Cenário Internacional: O Caso Da Nova Sede da Empresa *Swiss Re*, Londres. *Anais do Nutau* 2004.

HAGEL, A. P. L. A. Análise Computacional da Demanda Energética de Climatização de Edifício. [Projeto de Graduação]. Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 2005.

HATCH, M. Organization theory. New York: Oxford University Press, 1997.

HEINEN, Ricardo. Plantas no escritório melhoram a qualidade do ar e equilibram a umidade. São Paulo: *Office*, n 48, p 32-36, 1998.

HEISELBERG, P. et al. Impact of Open Windows on Room Air Flow and Thermal Confort, International Journal of Ventilation, vol 1 – nº 2, 91-100, 2002.

HEISELBERG, P. et al. Characteristics of Air Flow through Windows. Technical paper presented at the First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum'99, 09/1999, Sydney, Australia.

High Performance Commercial Building Façades. Building Technologies Program, Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley. In: <http://gaia.lbl.gov/hpbf/perfor.htm> (acesso em março 2005)

HOUGHTEN, F.C.; YAGLOU, C.P. Cooling effect on human beings produced by various air velocities. In: ASHVE Transactions, v. 30 , 1924.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, ISO 7730: Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra. 1994.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, ISO 7730: Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra. 2005.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, ISO 9920: Ergonomic estimation of the thermal characteristics of a clothing ensemble. Genebra. 1993.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo, PW Editores. 1997.

LEITE, B. C. C. Análise do Desempenho de Edifícios de Escritórios Automatizados Através da Avaliação Pós-Ocupação. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo, FAUUSP, 1997.

LEITE, B. C. C.; Sistema de Ar Condicionado com Insulflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação. [Tese de Doutorado]. São Paulo, POLIUSP, 2003.

LEITE, B. C. C.; Sistema de Ar Condicionado com Insulflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação. [Tese de Doutorado]. São Paulo, POLIUSP, 2003.

MANSOURI, Y., ALLARD, F.;MUSY, M. Building Envelope Design for natural ventilation, PLEA Conference, Toulouse, 2002.

MARCONDES, M. P. Double-skin facades in high-rise buildings in são paulo. a possible environmental efficient solution? Dissertação de mestrado, AA Graduate School MA Environment & Energy Studies, 2004.

MASCARÓ, Lúcia R. Energia na Edificação – Estratégias para Minimizar seu Consumo. São Paulo, Projeto, 1991.

MENDELL, M.J. at al. (1996). Elevated Sympton Prevalence Associated with Ventilation Type in Office Building. *Epidemiology*, 7 (6): 583 589.

OLESEN, B.W., PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EM ISO 7730, *Energy Buildings* 34 (2002) 537-549.

ORNSTEIN, S. W., et al. Avaliação Pós-Ocupação (Apo) Aplicada na Torre Norte do CENU – Centro Empresarial Nações Unidas, São Paulo - O Caso da Monsanto - Relatório Final - 2ª. Versão. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (NUTAU), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade de São Paulo (USP), International Building Performance Evaluation Project (IBPE), Setembro, 2003 (acesso restrito).

ORNSTEIN, S. W., et al. Avaliação Pós-Ocupação (Apo) Aplicada na Torre Norte do CENU – Centro Empresarial Nações Unidas, São Paulo - O Caso da Duke Energy - Relatório Final. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (NUTAU), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade de São Paulo (USP), International Building Performance Evaluation Project (IBPE), Novembro, 2003 (acesso restrito).

ORNSTEIN, S. W., et al. Avaliação Pós-Ocupação (Apo) Aplicada na Torre Norte do CENU – Centro Empresarial Nações Unidas, São Paulo - O Caso da

Referências Bibliográficas

Direct TV - Relatório Final. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (NUTAU), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade de São Paulo (USP), International Building Performance Evaluation Project (IBPE), Março, 2004 (acesso restrito).

ORNSTEIN, Sheila; Roméro , Marcelo. Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído. São Paulo, Livros Studio Nobel, 1992.

PIRRÓ, L F. S.; O Impacto das Envolventes Verticais no Desempenho Energético de Edifícios de Escritórios. [Tese de Doutorado]. São Paulo, FAUUSP, 2005.

PRATA, Alessandra Rodrigues. Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano. [Tese de Doutorado] São Paulo, FAUUSP 2005.

PRATA, Alessandra Rodrigues; Uma Ferramenta Computacional de Avaliação da Ventilação Natural em Projetos Arquitetônicos.[Dissertação de Mestrado]. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, 1988.

PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. (Janeiro 1991) . Manual de Conservação de Energia Elétrica – Prédios Públicos e Comerciais. Rio de Janeiro. 2ª Edição.

ROHLES, F.H.; KONZ, S.A.; JONES, B.W. Ceiling fans as extenders of the summer comfort envelope. ASHRAE Transactions, v.89, part 1, 1983.

ROMÉRO, Marcelo de A., GONÇALVES, Joana Carla Soares,DILONARDO, Lúcia. A Evolução da Arquitetura e dos Aspectos Energéticos dos Edifícios de Escritórios nos Últimos 30 Anos na Cidade de São Paulo. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, V ENCAC, 1999, Fortaleza. CD-ROM e Caderno de Resumos.Fortaleza: ANTAC, 1999.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade (ed). (1999). Avaliação energética e comportamental - Edifício Birmann 21. São Paulo NUTAU - FAUUSP.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade. Arquitetura comportamento & energia. São Paulo FAUUSP. 1997.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade. DILONARDO, Lúcia et al.I. Trabalho publicado nos anais do ENCAC'99 – Salvador, Bahia, 1999.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; et al. (1993). Consumo de Energia em Escritórios de Arquitetura: um Balanço da Situação no município de São Paulo. In: Sinopse nº 20. São Paulo. LRAV-FAUUSP, p.30-36.

ROMÉRO, Thiago. Choque Térmico. Agência FAPESP - 28/06/2006 (Mala direta eletrônica)

RORIZ, Maurício; BASSI, Ademir. (1982). ARQUITROP: Software para simulação do desempenho térmico de edificações. São Paulo, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.

ROULET, C; GERMANO, M; ALLARD, F; GHIAUS, C. Potential for Natural Ventilation in Urban Context: An Assessment Method. In: Proceedings: Indoor Air 2002

RUAS, A C.; Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software. [Tese de Doutorado]. Campinas - SP, UNICAMP, 2002.

RUAS, A. C., Avaliação de Conforto Térmico, Contribuição à Aplicação Prática das Normas Internacionais. Fundacentro. São Paulo 2001.

RUAS, A. C., Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho. Fundacentro. São Paulo 1999.

RUAS, Álvaro César; LABAKI, Lucila Chebel. Ventilação do Ambiente e o Conforto Térmico. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11 a 14 de novembro de 2001 São Pedro/SP. Anais do IV ENCAC. Lucila C. Labaki, Maurício Roriz (edits.). São Pedro/SP; ANTAC; 2001, P72.

SCHEATZLE, D.G.; WU, H.; YELLOTT, J. Extending the summer comfort envelope with ceiling fans in hot, arid climates. ASHRAE Transactions, v. 95, part 1, 1989.

SOMEKH, Nadia. A Cidade Vertical e o Urbanismo Modernizador. São Paulo, Studio Nobel, 1997.

STRAND, R. K. et al., "Energy Plus: A new-generation energy analysis and calculation engine for building design", Association of Collegiate Schools of Architecture Technology Conference, Cambridge, MA, July, 2000.

STRAND, R. K., "Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE Loads Toolkit and Energy Plus", Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, August 13-15, pp. 43-50. 2001

SZOKOLAY, S.V. Environmental Science Handbook for Architects and Builders. Lancaster: Construction Press, 1980. 532 p.

TANABE, S.; KIMURA, K. Thermal comfort requirements under hot and humid conditions. In: Proceedings of the First ASHRAE for East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Singapore, 1987.

TOFTUM, J., Air Movement – Good or Bad?, Indoor Air 2004; 14 (Suppl 7):40-45

TOLEDO, Alexandre Márcio; Ventilação Natural e Conforto Térmico em Dormitórios. [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre, UFRGS, 2001.

URBVENT Brochure. Natural Ventilation in Urban Areas – Potential assessment and optimal façade design. Summary of the project and description of the main results. Brochure prepared by BBRI (Belgian Building Research Institute), 2004.

WINKELMANN, F. C. Modeling Windows in EnergyPlus, Seventh International IBPSA Conference; Rio de Janeiro, Brazil; August 13-15, 2001

YAGLOU, C.P. ; MILLER, W.E. Effective temperature with clothing. In: ASHVE Transactions, 31: 89 - 99, 1925.

YANG, T. CFD and field testing of a naturally ventilated full-scale building. Nottingham. Tese (Doutorado) - School of Civil Engineering, The University of Nottingham, 2004.



Glossário

AR CONDICIONADO - Expressão utilizada para designar sistemas de resfriamento ou condicionamento do ar.

CONFORTO TÉRMICO - Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas de um ambiente (ABNT, NBR 15220) ou o estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE 55, 1992), outras definições no capítulo 2.

CONSUMO - Quantidade de energia elétrica utilizada em um determinado intervalo de tempo. A unidade padrão no Sistema Internacional de consumo é o quilowatt-hora (kWh) e seus múltiplos (ROMÉRO, 1997).

CONSUMO DESAGREGADO - Consumo desagregado ou consumo desagregado por usos finais é a parcela do consumo total utilizada em um determinado uso final como, por exemplo, a iluminação artificial, equipamentos de escritórios, elevadores, etc (PIRRO, 2005).

DESCONFORTO LOCAL - Estado físico no qual a densidade do fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo (ABNT, NBR 15220).

ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR EXTERIOR - Elementos colocados sobre a fachada dos edifícios e funcionam como quebra-sóis, ou brises (PIRRO, 2005).

ENVELOPE DO EDIFÍCIO - É composto pelas suas fachadas e também pela sua cobertura.

ÍNDICE DE RESISTENCIA TÉRMICA DE VESTIMENTAS (Ir em clo) - Resistência térmica da vestimenta à troca de calor sensível por condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa da roupa (ABNT, NBR 15220).

INTENSIDADE DE TURBULENCIA - A intensidade de turbulência do vento é a relação da flutuação da velocidade em relação à velocidade média. Quanto maior a intensidade da turbulência maior será a influência sobre a transferência de calor por convecção.

MODELO ADAPTATIVO DE CONFORTO TÉRMICO - índice que relaciona a temperatura interna de projeto ou a faixa de temperatura interna aceitável com parâmetros climatológicos ou meteorológicos (ASHRAE 55, 2004).

NEUTRALIDADE TÉRMICA - Estado físico no qual a densidade do fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo (ABNT, NBR 15220).

NORMA TÉCNICA - Texto aprovado por Comitê Representativo, junto a uma Associação Nacional de Normas Técnicas (ABNT, NBR 15220).

POTÊNCIA - É a potência nominal de entrada de um equipamento de utilização. Sua unidade é o W (Watt) ou o kW (kilo-Watt) (ABNT, NBR 15220).

PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS – Propriedades específicas dos materiais, tais como: condutibilidade térmica, densidade, calor específico, coeficiente de absorção, emissividade (PIRRÓ, 2005).

REGULAMENTOS ENERGÉTICOS – Ou legislação energética são mecanismos legais em forma de Decretos-Leis voltados à eficiência energética nos edifícios. Podem ser municipais, estaduais ou federais (PIRRÓ, 2005).

SENSAÇÃO TÉRMICA – O sentimento consciente normalmente graduado nas categorias: muito frio, frio, levemente frio, neutro, levemente quente, calor, muito calor (ASHRAE 55, 2004).

TAXA DE INFILTRAÇÃO (V_i em m^3/s) – Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas não intencionais (ABNT, NBR 15220).

TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR (N_v em renovações/hora) – Número de trocas de ar de um ambiente por unidade de tempo (ABNT, NBR 15220).

TAXA DE VENTILAÇÃO (V_{ar} em m^3/s) – Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais (ABNT, NBR 15220).

TAXA METABÓLICA (TM em W/m^2) – Taxa de produção de energia do corpo (ABNT, NBR 15220).

TECNOLOGIAS ATIVAS – São sistemas complementares às tecnologias passivas que consomem energia para o seu funcionamento. Como exemplo cita-se a iluminação artificial, o resfriamento artificial do ar ou a ventilação artificial (PIRRÓ, 2005).

TECNOLOGIAS PASSIVAS – São elementos que constituem o edifício e podem contribuir para o seu desempenho térmico e luminoso, sem, entretanto, consumir energia elétrica ou equivalente. Como exemplos de tecnologias passivas citam-se as envoltentes opacas, os envidraçados, a ventilação natural, a inércia térmica, o amortecimento térmico, entre outros (ROMÉRO, 1997).

TEMPERATURA DE BULBO SECO (T_{bs} em $^{\circ}C$) – Temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica (ABNT, NBR 15220).

TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (T_{bu} em $^{\circ}C$) – Temperatura à qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, por meio de um processo isobárico de saturação adiabática. (Pode ser medida por um termômetro cujo bulbo está embutido em uma mecha embebida em água destilada, sobre o qual atua um exaustor de ar, tornando forçada a convecção entre a mecha e o ar) (ABNT, NBR 15220).

TEMPERATURA DO AR (T_{ar} em $^{\circ}C$) – Temperatura do ar ao redor do indivíduo (ASHRAE 55, 2004).

TEMPERATURA DO AR MÉDIA EXTERNA MENSAL ($T_{a\ ex}$ em $^{\circ}C$) – Para uso no modelo adaptativo proposto pela Ashrae 55, 2004, esta temperatura será a

média aritmética da média diária das mínimas e da média diária das máximas temperaturas de bulbo seco para o mês em questão (ASHRAE 55, 2005).

TEMPERATURA EFETIVA (T_{ef} em °C) – Temperatura operativa de um ambiente com 50% de umidade relativa que resulta na mesma troca total de calor do corpo humano que em um ambiente real (ABNT, NBR 15220).

TEMPERATURA NEUTRA (T_n em °C) – Temperatura operativa para a qual o corpo humano encontra-se em neutralidade térmica (ABNT, NBR 15220).

TEMPERATURA OPERATIVA (T_o em °C) – Temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário, no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme. (ABNT, NBR 15220).

TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA (T_{rm} em °C) – Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme (ABNT, NBR 15220).

UMIDADE ABSOLUTA DO AR (U_A em g vapor/kg ar seco) – Quociente da massa de vapor d'água (em gramas) pela massa de ar seco (em quilogramas) (ABNT, NBR 15220).

UMIDADE RELATIVA DO AR (U_R em %) – Quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica (ABNT, NBR 15220).

VELOCIDADE DO AR (V_{ar} em m/s) – Taxa de movimento do ar em um ponto, sem se considerar a direção (ASHRAE 55, 2004).

WWR – Abreviatura das palavras na língua inglesa window wall ratio, que indica o coeficiente entre as áreas de envoltentes transparentes e envoltentes opacas (PIRRÓ, 2005)



Anexos

Anexo A – Banco Climático IWEC para São Paulo

Statistics for BRA Sao.Paulo_IWEC

Location -- SAO PAULO - BRA
 {S 23° 37'} {W 46° 39'} {GMT -3.0 Hours}
 Elevation -- 803m above sea level
 Standard Pressure at Elevation -- 92043Pa
 Data Source -- IWEC Data

WMO Station 837800

- Using Design Conditions from "Climate Design Data 2005 ASHRAE Handbook"

- If the design condition source is ASHRAE, the design conditions are carefully generated from a period of record (typically 30 years) to be representative of that location and

- be suitable for use in heating/cooling load calculations. If the source is not ASHRAE, please consult the referenced source for the reasoning behind the data.

Design Stat	Coldest month	HDB 99.6%	HDB 99%	Hm-DP 99.6%	Hm-HR 99.6%	Hm-MCDB 99.6%	Hm-DP 99%	Hm-HR 99%
Hm-MCDB 99%	CMn-WS .4%	CMn-MCDB .4%	CMn-WS 1%	CMn-MCDB 1%	MCWS-99.6%DB	PCWD-99.6%DB		
Units {}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{m/s}	{°C}	{m/s}
Heating	7	8.8	10	3.9	5.5	18.4	5.8	6.3
							17.4	7.9
							19.7	6.8
							17.7	2.3
								180

Design Stat	Hottest month	HMn-DB Range	CDB .4%	CMCWB .4%	CDB 1%	CMCWB 1%	CDB 2%	CMCWB 2%	ECWB .4%
EMCDB .4%	ECWB 1%	EMCDB 1%	ECWB 2%	EMCDB 2%	MCWS-.4%DB	PCWD-.4%DB	D DP .4%	D HR .4%	D HR .4%
D MCDB .4%	D DP 1%	D HR 1%	D MCDB 1%	D DP 2%	D HR 2%	D MCDB 2%	Ent .4%	MCDB .4%	
Ent 1% MCDB 1%	Ent 2% MCDB 2%								
Units {}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{m/s}
	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{deg}
	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}
Cooling	2	8.3	32	20.3	31	20.4	30	20.4	23.2
	22.1	18.5	25.3	21.2	17.5	24.3	21	17.2	24
									73.5
									27.6
									71.2
									27.1
									69.2
									26.7
									22.6
									27.1
									22.1
									26.7
									2.9
									300

Design Stat	X WS 1%	X WS 2.5%	X WS 5%	X Max WB	X Max DB	X Min DB	Sdev Max DB	Sdev Min DB
Units {m/s}	{m/s}	{m/s}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}	{°C}
Extremes	7.4	6.3	5.5	28.2	34.3	5.8	0.9	2.5

- Monthly Statistics for Dry Bulb temperatures °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	34.0	32.0	31.2	31.7	29.5	35.0	29.0	32.0	32.0	32.0	32.0	34.0
Day:Hour	25:15	4:13	7:15	3:15	2:15	4:15	22:17	31:14	15:15	26:16	5:14	4:14
Minimum	15.9	17.7	16.0	11.0	11.5	10.7	9.0	8.0	10.0	12.0	14.0	14.0
Day:Hour	1:06	23:21	30:05	19:05	30:03	13:06	30:07	4:07	2:06	22:05	2:04	22:05
Daily Avg	23.4	23.1	21.9	20.5	18.0	16.9	17.4	17.2	17.6	19.6	20.9	22.3

- Maximum Dry Bulb temperature of 35.0°C on Jun 4
 - Minimum Dry Bulb temperature of 8.0°C on Aug 4

Anexos

- Average Hourly Statistics for Dry Bulb temperatures °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	21.1	21.2	20.1	18.7	16.6	15.3	15.5	14.9	15.8	17.6	18.5	20.9
1:01- 2:00	21.0	21.0	19.8	18.6	16.4	15.2	15.3	14.8	15.5	17.6	18.3	20.7
2:01- 3:00	20.9	20.7	19.6	18.4	16.2	14.7	15.0	14.5	15.2	17.3	18.3	20.5
3:01- 4:00	20.5	20.6	19.5	18.2	15.8	14.4	14.6	14.4	15.1	17.2	18.1	20.2
4:01- 5:00	20.5	20.2	19.2	17.9	15.7	13.9	14.3	13.8	14.8	17.0	17.9	19.7
5:01- 6:00	20.7	20.1	19.2	17.8	15.5	13.7	14.4	13.8	14.6	17.2	18.0	20.0
6:01- 7:00	21.7	20.7	19.9	18.4	15.6	13.8	14.2	13.9	14.8	17.7	18.9	20.4
7:01- 8:00	22.6	21.8	20.5	19.2	16.4	14.5	14.8	14.7	15.7	18.4	19.9	21.5
8:01- 9:00	23.8	23.0	21.8	20.4	17.4	15.4	15.8	15.8	16.7	19.8	21.0	22.5
9:01-10:00	25.1	24.9	23.1	21.6	18.7	17.0	17.4	17.6	18.2	21.1	22.3	23.6
10:01-11:00	26.4	26.0	24.2	23.1	20.0	18.2	19.0	19.2	19.4	22.3	23.8	24.4
11:01-12:00	26.8	26.8	25.1	23.5	20.8	19.2	20.2	20.5	20.7	23.3	24.7	25.1
12:01-13:00	27.4	27.3	25.9	24.2	21.7	19.9	21.3	21.3	21.5	23.9	25.3	25.7
13:01-14:00	27.4	27.2	26.0	24.5	21.8	20.6	21.9	22.0	22.0	23.8	25.4	25.4
14:01-15:00	26.9	26.8	25.6	24.1	21.7	21.0	21.8	21.6	22.0	22.9	25.0	25.0
15:01-16:00	26.5	25.4	24.4	23.5	21.0	20.6	21.0	21.1	21.3	21.7	23.6	24.2
16:01-17:00	25.3	24.1	23.3	22.3	19.8	19.7	20.6	20.2	20.0	21.0	22.4	23.8
17:01-18:00	23.7	23.7	22.4	21.2	18.5	18.6	19.1	18.9	18.7	19.9	21.5	23.0
18:01-19:00	23.0	23.0	21.6	20.4	17.8	17.9	18.4	17.8	18.0	19.2	20.6	22.2
19:01-20:00	22.7	22.4	21.1	19.9	17.2	17.3	17.8	17.1	17.3	19.0	20.0	21.7
20:01-21:00	22.3	22.1	20.8	19.5	17.1	16.9	17.3	16.6	16.8	18.7	19.8	21.3
21:01-22:00	22.0	22.5	20.7	19.2	16.9	16.5	16.7	16.3	16.5	18.4	19.5	21.0
22:01-23:00	21.7	22.0	20.4	19.0	16.8	16.0	16.3	15.7	16.2	18.2	19.2	20.8
23:01-24:00	21.5	21.2	20.3	18.9	16.7	15.7	15.7	15.5	15.9	17.8	19.1	20.8
Max Hour	14	13	14	14	14	15	14	14	14	13	14	13
Min Hour	5	6	5	6	6	6	7	6	6	5	5	5

- Monthly Statistics for Extreme temperatures °C

#Days	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Max >= 32	5	4				1		1	2	1	2	2
Max <= 0												
Min <= 0												
Min <=-18												

- Monthly Statistics for Dew Point temperatures °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	22.0	22.7	23.0	22.0	18.7	18.0	21.0	17.0	19.0	23.0	24.0	25.0
Day:Hour	15:17	13:18	5:16	1:16	6:15	6:13	4:18	29:16	20:16	27:17	15:17	8:13
Minimum	9.0	12.0	10.0	0.7	9.5	7.0	4.0	-1.2	2.0	11.5	4.0	11.9
Day:Hour	27:15	23:06	28:11	21:12	31:18	16:13	27:17	21:15	11:14	23:03	4:14	14:12
Daily Avg	18.5	18.7	17.7	15.9	13.8	12.8	12.7	11.2	12.7	16.3	15.9	17.5

- Maximum Dew Point temperature of 25.0°C on Dec 8
- Minimum Dew Point temperature of -1.2°C on Aug 21

- Monthly Statistics for Relative Humidity %

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Day:Hour	2:22	8:20	9:07	11:24	14:01	1:14	1:21	10:23	5:19	1:17	9:19	8:14
Minimum	23	38	41	16	37	30	31	19	17	36	19	31
Day:Hour	27:15	10:14	28:13	3:15	21:14	4:15	22:17	21:15	15:15	26:16	4:14	7:15
Daily Avg	76	78	79	77	78	79	76	72	77	83	76	76

- Average Hourly Relative Humidity %

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	86	88	87	87	84	87	87	81	85	90	85	82
1:01- 2:00	86	88	88	88	85	88	88	82	86	90	85	84
2:01- 3:00	87	88	89	87	85	90	89	83	87	91	86	84
3:01- 4:00	88	89	89	88	87	91	90	84	88	92	87	85
4:01- 5:00	88	91	90	89	86	93	91	86	90	93	87	86
5:01- 6:00	87	90	90	89	86	92	90	86	90	91	86	86
6:01- 7:00	82	89	87	88	86	92	91	88	89	90	82	82
7:01- 8:00	78	83	83	84	84	89	87	84	85	87	78	78
8:01- 9:00	73	77	76	79	79	84	82	78	79	80	74	73
9:01-10:00	67	69	70	72	75	77	75	71	71	76	69	68
10:01-11:00	63	65	65	65	68	72	67	63	65	70	62	65
11:01-12:00	59	62	62	61	66	68	62	57	60	67	58	61
12:01-13:00	58	59	60	58	62	66	58	54	55	66	58	62
13:01-14:00	59	60	60	57	62	63	55	51	54	66	56	64
14:01-15:00	63	63	64	58	63	61	55	54	57	71	60	65
15:01-16:00	63	69	70	63	66	62	59	57	62	75	67	69
16:01-17:00	69	77	74	68	71	67	60	60	68	79	74	72
17:01-18:00	75	77	78	75	77	71	70	66	74	83	74	74
18:01-19:00	78	79	81	80	81	76	74	70	78	86	78	78
19:01-20:00	80	82	83	81	83	79	76	74	81	88	79	80
20:01-21:00	82	83	85	83	82	81	78	75	83	87	81	82
21:01-22:00	83	82	84	85	83	83	81	76	84	89	82	82
22:01-23:00	84	84	85	85	82	85	82	78	84	89	84	82
23:01-24:00	85	87	86	86	83	85	86	79	86	90	83	83
Max Hour	4	5	6	6	4	5	5	7	5	5	5	5
Min Hour	13	13	14	14	13	15	14	14	14	14	14	12

- Monthly Indicators for Precipitation/Moisture (kPa)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2.1	2.1	2.1	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.9	1.8	2.0

- Monthly Statistics for Wind Chill/Heat Index temperatures °C **

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Minimum WC							3	6				
Day:Hour							30:07	4:07				
Average WC							6	9				
Avg Del WC							3	0				
# Hours WC							5	7				

Anexos

Maximum HI	35	33	33	31	28		30	29	32	33	33
Day:Hour	25:14	15:16	7:15	1:14	4:16		30:15	23:15	27:15	30:17	8:13
Average HI	30	30	29	29	28		28	28	30	29	30
Avg Del HI	1	1	1	1	0		0	0	1	1	1
# Hours HI	128	122	64	46	13		7	3	56	23	91

- **WindChill/HeatIndex Temps -- statistics...only those different from Air Temps

- Monthly Wind Direction % {N=0 or 360,E=90,S=180,W=270}

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
North	35	41	15	28	20	53	34	26	27	30	35	23
NorthEast	7	8	3	6	6	8	9	6	3	7	3	8
East	8	6	8	8	13	6	17	13	9	4	5	9
SouthEast	9	21	21	10	11	13	7	14	13	27	10	25
South	16	7	47	30	34	9	19	35	39	21	37	18
SouthWest	5	1	2	9	7	0	7	2	5	1	4	0
West	2	6	1	3	3	1	1	1	1	2	1	1
NorthWest	18	9	3	7	6	9	7	3	1	9	4	15

- Monthly Statistics for Wind Speed m/s

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Maximum	8.7	17.0	25.2	27.8	10.3	15.4	8.2	7.7	8.2	9.3	8.2	10.3
Day:Hour	5:13	25:20	17:09	28:03	22:09	8:17	13:16	17:16	2:12	10:15	10:18	21:17
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Day:Hour	1:01	1:01	2:11	1:01	1:01	1:01	1:10	1:01	3:13	1:09	1:01	1:01
Daily Avg	2.6	1.7	3.0	2.6	2.6	1.6	2.5	2.4	2.5	2.3	2.4	3.4

- Maximum Wind Speed of 27.8 m/s on Apr 28

- Minimum Wind Speed of 0.0 m/s on Jan 1

- Monthly Statistics for Solar Radiation (Direct Normal, Diffuse, Global Horizontal) Wh/m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Direct Avg	2252	1706	1892	3012	2147	2541	2782	3206	2853	2231	2912	2460
Direct Max Day	8092	4359	5509	7113	6023	5001	5203	6679	7002	6778	8495	8350
Diffuse Avg	3406	3229	2933	2016	1888	1487	1522	1711	2208	2913	3017	3162
Global Avg	5132	4541	4248	4038	3175	2922	3172	3803	4275	4692	5286	5107

- Maximum Direct Normal Solar of 8495 Wh/m² on Nov 1

- Average Hourly Statistics for Direct Normal Solar Radiation Wh/m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:01- 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:01- 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:01- 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4:01- 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:01- 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:01- 7:00	35	3	0	0	0	0	0	0	0	19	96	81
7:01- 8:00	184	101	126	91	57	15	9	68	90	125	211	210
8:01- 9:00	276	170	260	272	188	154	123	204	189	244	294	296
9:01-10:00	311	197	301	375	280	283	241	338	295	298	342	308
10:01-11:00	257	202	246	447	325	371	381	412	366	321	364	313
11:01-12:00	244	190	185	404	347	385	441	449	404	291	317	298
12:01-13:00	205	188	136	389	256	398	448	466	388	283	309	296
13:01-14:00	206	190	144	362	218	377	443	454	378	245	289	234
14:01-15:00	191	168	178	293	230	318	372	397	364	208	281	157
15:01-16:00	171	122	182	244	182	197	246	294	245	143	225	130
16:01-17:00	117	135	115	133	65	43	78	123	134	53	140	100
17:01-18:00	53	41	20	1	0	0	0	0	0	1	44	40
18:01-19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:01-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:01-21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:01-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:01-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:01-24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max Hour	10	11	10	11	12	13	13	13	12	11	11	11
Min Hour	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Monthly Calculated "undisturbed" Ground Temperatures** °C

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.5 m	21.6	22.6	22.8	22.6	21.2	19.7	18.2	17.2	17.0	17.5	18.7	20.2
2.0 m	20.7	21.6	22.1	22.1	21.3	20.3	19.1	18.2	17.7	17.9	18.5	19.6
4.0 m	20.1	20.8	21.3	21.4	21.1	20.5	19.7	19.0	18.5	18.4	18.7	19.3

- **These ground temperatures should NOT BE USED in the GroundTemperatures object to compute building floor losses.

- The temperatures for 0.5 m depth can be used for GroundTemperatures:Surface.

- The temperatures for 4.0 m depth can be used for GroundTemperatures:Deep.

- Calculations use a standard soil diffusivity of 2.3225760E-03 {m**2/day}

- Monthly Heating/Cooling Degree Days/Hours

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
HDD base 10C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HDD base 18C	0	0	0	15	32	47	35	62	42	16	2	1
CDD base 10C	415	367	368	316	248	207	230	222	228	298	326	380
CDD base 18C	167	143	120	90	32	14	18	36	30	66	89	133
CDH base 20C	2609	2169	1658	1401	563	391	534	843	654	1144	1319	2052
CDH base 23C	1135	945	573	555	172	88	127	361	293	511	508	855
CDH base 27C	283	234	75	80	14	13	4	52	74	124	101	182

- 3607 annual cooling degree-days (10°C baseline)

- 0 annual heating degree-days (10°C baseline)

- 939 annual cooling degree-days (18°C baseline)

- 252 annual heating degree-days (18°C baseline)

- Climate type "Cfa" (Köppen classification)
- Humid subtropical (mild with no dry season, hot summer, lat. 20-35°S)

- Climate type "4A" (ASHRAE Standards 90.1-2004 and 90.2-2004 Climate Zone)
- Mixed - Humid, Probable Köppen classification=Cfa/Dfa, Humid Subtropical/Humid Continental (Warm Summer)

- Typical/Extreme Period Determination

- Summer is Jun:Aug
 - Extreme Summer Week (nearest maximum temperature for summer)
 - Extreme Hot Week Period selected: Jul 20:Jul 26, Maximum Temp= 35.00°C, Deviation=|16.393|°C
 - Typical Summer Week (nearest average temperature for summer)
 - Typical Week Period selected: Jul 27:Aug 2, Average Temp= 17.17°C, Deviation=| 0.053|°C

- Winter is Dec:Feb
 - Extreme Winter Week (nearest minimum temperature for winter)
 - Extreme Cold Week Period selected: Dec 22:Jan 5, Minimum Temp= 14.00°C, Deviation=| 6.269|°C
 - Typical Winter Week (nearest average temperature for winter)
 - Typical Week Period selected: Dec 8:Dec 14, Average Temp= 22.92°C, Deviation=| 0.074|°C

- Autumn is Sep:Nov
 - Typical Autumn Week (nearest average temperature for autumn)
 - Typical Week Period selected: Sep 15:Sep 21, Average Temp= 19.37°C, Deviation=| 0.066|°C

- Spring is Mar:May
 - Typical Spring Week (nearest average temperature for spring)
 - Typical Week Period selected: Apr 12:Apr 18, Average Temp= 20.12°C, Deviation=| 0.077|°C

Anexo B – Arquivo de saída “audit” do EnergyPlus

```

Processing Data Dictionary (Energy+.idd) File -- Complete
Maximum number of Alpha Args=      152
Maximum number of Numeric Args=    1800
Number of Object Definitions=       374
Number of Section Definitions=       3
Processing Input Data File (in.idf) -- Start
1  !-Generator IDFEditor 1.25 'current version of IDFEditor - less than 1 is a
beta
2
3  !-NOTE: All comments with '!' are ignored by the IDFEditor and are
generated automatically.
4  !-      Use '!' comments if they need to be retained when using the
IDFEditor.
5
6
7  !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION =====
8
9  VERSION,
10     1.2.3;                !- Version Identifier
11
12
13 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====
14
15 BUILDING,
16     Ed. Modelo,          !- Building Name
17     0,                   !- North Axis {deg}
18     Suburbs,             !- Terrain
19     0.04,                !- Loads Convergence Tolerance Value {W}
20     0.4,                 !- Temperature Convergence Tolerance Value
{deltaC}
21     FullInteriorAndExterior, !- Solar Distribution
22     25;                  !- Maximum Number of Warmup Days
23
24
25 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP IN HOUR =====
26
27 TIMESTEP IN HOUR,
28     6;                   !- Time Step in Hour
29
30
31 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: INSIDE CONVECTION ALGORITHM =====
32
33 INSIDE CONVECTION ALGORITHM,
34     Detailed;            !- InsideConvectionValue
35
36
37 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTSIDE CONVECTION ALGORITHM =====
38
39 OUTSIDE CONVECTION ALGORITHM,
40     Detailed;            !- OutsideConvectionValue
41
42
43 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SOLUTION ALGORITHM =====
44
45 SOLUTION ALGORITHM,
46     CTF;                 !- SolutionAlgo
47
48
49 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: AIRFLOW MODEL =====
50
51 Airflow Model,
52     Simple;              !- AirFlowModelValue
53
54
55 !-      ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE VOLUME CAPACITANCE MULTIPLIER =====
56
57 ZONE VOLUME CAPACITANCE MULTIPLIER,
58     1;                   !- Capacitance Multiplier
59
60

```

```
61 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUN CONTROL =====
62
63 RUN CONTROL,
64   No,                !- Do the zone sizing calculation
65   No,                !- Do the system sizing calculation
66   No,                !- Do the plant sizing calculation
67   No,                !- Do the design day simulations
68   Yes;              !- Do the weather file simulation
69
70
71 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD =====
72
73 RunPeriod,
74   1,                 !- Begin Month
75   1,                 !- Begin Day Of Month
76   12,                !- End Month
77   31,                !- End Day Of Month
78   UseWeatherFile,   !- Day Of Week For Start Day
79   No,                !- Use WeatherFile Holidays/Special Days
80   No,                !- Use WeatherFile DaylightSavingPeriod
81   No,                !- Apply Weekend Holiday Rule
82   No,                !- Use WeatherFile Rain Indicators
83   No,                !- Use WeatherFile Snow Indicators
84   1;                 !- Number of years of simulation
85
86
87 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LOCATION =====
88
89 Location,
90   São Paulo,        !- LocationName
91   -23.37,           !- Latitude {deg}
92   -46.39,           !- Longitude {deg}
93   -3,               !- TimeZone {hr}
94   803;              !- Elevation {m}
95
96
97 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR =====
98
99 MATERIAL:REGULAR,
100  Ar,                !- Name
101  MediumRough,       !- Roughness
102  0.1,               !- Thickness {m}
103  0.02662,           !- Conductivity {W/m-K}
104  1.127,              !- Density {kg/m3}
105  1007,               !- Specific Heat {J/kg-K}
106  0.9,                !- Absorptance:Thermal
107  0.92,              !- Absorptance:Solar
108  0.92;              !- Absorptance:Visible
109
110 MATERIAL:REGULAR,
111  Bloco de concreto, !- Name
112  VeryRough,         !- Roughness
113  0.14,              !- Thickness {m}
114  0.91,               !- Conductivity {W/m-K}
115  1700,               !- Density {kg/m3}
116  1005,               !- Specific Heat {J/kg-K}
117  0.9,                !- Absorptance:Thermal
118  0.82,              !- Absorptance:Solar
119  0.82;              !- Absorptance:Visible
120
121 MATERIAL:REGULAR,
122  Gesso,              !- Name
123  Smooth,             !- Roughness
124  0.03,               !- Thickness {m}
125  0.35,               !- Conductivity {W/m-K}
126  750,                !- Density {kg/m3}
127  837,                !- Specific Heat {J/kg-K}
128  0.9,                !- Absorptance:Thermal
129  0.3,                !- Absorptance:Solar
130  0.3;                !- Absorptance:Visible
131
132 MATERIAL:REGULAR,
133  Lã de rocha,        !- Name
134  MediumRough,       !- Roughness
```

```

135    0.02,                !- Thickness {m}
136    0.04,                !- Conductivity {W/m-K}
137    190,                 !- Density {kg/m3}
138    754,                 !- Specific Heat {J/kg-K}
139    0.5,                 !- Absorptance:Thermal
140    0.3,                 !- Absorptance:Solar
141    0.3;                 !- Absorptance:Visible
142
143 MATERIAL:REGULAR,
144     Granito,             !- Name
145     VeryRough,          !- Roughness
146     0.03,               !- Thickness {m}
147     3.5,                !- Conductivity {W/m-K}
148     2700,               !- Density {kg/m3}
149     837,                !- Specific Heat {J/kg-K}
150     0.4,                !- Absorptance:Thermal
151     0.3,                !- Absorptance:Solar
152     0.3;                 !- Absorptance:Visible
153
154 MATERIAL:REGULAR,
155     Concreto celular,   !- Name
156     VeryRough,          !- Roughness
157     0.1,                !- Thickness {m}
158     0.083,              !- Conductivity {W/m-K}
159     430,                 !- Density {kg/m3}
160     963,                 !- Specific Heat {J/kg-K}
161     0.85,               !- Absorptance:Thermal
162     0.5,                !- Absorptance:Solar
163     0.5;                 !- Absorptance:Visible
164
165 MATERIAL:REGULAR,
166     Suporte Carpete,    !- Name
167     MediumSmooth,       !- Roughness
168     0.022,              !- Thickness {m}
169     0.1211,             !- Conductivity {W/m-K}
170     593,                 !- Density {kg/m3}
171     2510,               !- Specific Heat {J/kg-K}
172     0.9,                !- Absorptance:Thermal
173     0.78,               !- Absorptance:Solar
174     0.78;               !- Absorptance:Visible
175
176 MATERIAL:REGULAR,
177     Concreto,           !- Name
178     MediumRough,        !- Roughness
179     0.15,               !- Thickness {m}
180     1.75,               !- Conductivity {W/m-K}
181     2400,               !- Density {kg/m3}
182     1005,               !- Specific Heat {J/kg-K}
183     0.9,                !- Absorptance:Thermal
184     0.65,               !- Absorptance:Solar
185     0.65;               !- Absorptance:Visible
186
187 MATERIAL:REGULAR,
188     Espaço de ar 7,     !- Name
189     MediumRough,        !- Roughness
190     0.07,               !- Thickness {m}
191     0.02662,            !- Conductivity {W/m-K}
192     1127,               !- Density {kg/m3}
193     1007,               !- Specific Heat {J/kg-K}
194     0.9,                !- Absorptance:Thermal
195     0.92,               !- Absorptance:Solar
196     0.92;               !- Absorptance:Visible
197
198 MATERIAL:REGULAR,
199     Espaço de ar 12,    !- Name
200     MediumRough,        !- Roughness
201     0.12,               !- Thickness {m}
202     0.02662,            !- Conductivity {W/m-K}
203     1127,               !- Density {kg/m3}
204     1007,               !- Specific Heat {J/kg-K}
205     0.9,                !- Absorptance:Thermal
206     0.92,               !- Absorptance:Solar
207     0.92;               !- Absorptance:Visible
208

```

```
209 MATERIAL:REGULAR,
210     Espaço de ar 47,           !- Name
211     MediumRough,             !- Roughness
212     0.47,                    !- Thickness {m}
213     0.02662,                 !- Conductivity {W/m-K}
214     1127,                    !- Density {kg/m3}
215     1007,                    !- Specific Heat {J/kg-K}
216     0.9,                     !- Absorptance:Thermal
217     0.92,                    !- Absorptance:Solar
218     0.92;                    !- Absorptance:Visible
219
220
221 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:REGULAR-R =====
222
223 MATERIAL:REGULAR-R,
224     Carpete de Nylon,        !- Name
225     Rough,                   !- Roughness
226     0.367,                   !- Thermal Resistance {m2-K/W}
227     0.9,                     !- Absorptance:Thermal
228     0.75,                    !- Absorptance:Solar
229     0.75;                    !- Absorptance:Visible
230
231
232 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:WINDOWGLASS =====
233
234 MATERIAL:WINDOWGLASS,
235     Vidro,                    !- Name
236     SpectralAverage,         !- Optical Data Type
237     ,                         !- Name of Window Glass Spectral Data Set
238     0.0084,                  !- Thickness {m}
239     0.21,                    !- Solar Transmittance at Normal Incidence
240     0.33,                    !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Front
Side
241     0.14,                    !- Solar Reflectance at Normal Incidence: Back
Side
242     0.3,                     !- Visible Transmittance at Normal Incidence
243     0.29,                    !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Front
Side
244     0.16,                    !- Visible Reflectance at Normal Incidence: Back
Side
245     0.33,                    !- IR Transmittance at Normal Incidence
246     0.38,                    !- IR Hemispherical Emissivity: Front Side
247     0.38,                    !- IR Hemispherical Emissivity: Back Side
248     0.0493;                  !- Conductivity {W/m-K}
249
250
251 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION =====
252
253 CONSTRUCTION,
254     Parede Externa,          !- Name
255     Granito,                 !- Outside Layer
256     Espaço de ar 7,          !- Layer #2
257     Concreto celular,        !- Layer #3
258     Gesso;                   !- Layer #4
259
260 CONSTRUCTION,
261     Parede de ar,            !- Name
262     Ar;                       !- Outside Layer
263
264 CONSTRUCTION,
265     ParedeInterna,           !- Name
266     Gesso,                   !- Outside Layer
267     Bloco de concreto,        !- Layer #2
268     Gesso;                   !- Layer #3
269
270 CONSTRUCTION,
271     Forro,                   !- Name
272     Concreto,                !- Outside Layer
273     Gesso;                   !- Layer #2
274
275 CONSTRUCTION,
276     Piso,                    !- Name
277     Concreto,                !- Outside Layer
278     Espaço de ar 12,         !- Layer #2
```

```

279     Carpete de Nylon;           !- Layer #3
280
281 CONSTRUCTION,
282     Janela,                     !- Name
283     Vidro;                      !- Outside Layer
284
285
286 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE =====
287
288 ZONE,
289     Zona Norte,                !- Zone Name
290     0,                          !- Relative North (to building) {deg}
291     0,                          !- X Origin {m}
292     0,                          !- Y Origin {m}
293     0,                          !- Z Origin {m}
294     1,                          !- Type
295     1,                          !- Multiplier
296     2.7,                        !- Ceiling Height {m}
297     0,                          !- Volume {m3}
298     Simple;                     !- Zone Inside Convection Algorithm
299
300
301 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACEGEOMETRY =====
302
303 SurfaceGeometry,
304     UpperLeftCorner,            !- SurfaceStartingPosition
305     ClockWise,                 !- VertexEntry
306     relative;                  !- CoordinateSystem
307
308
309 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:HEATTRANSFER =====
310
311 Surface:HeatTransfer,
312     Parede Core,               !- User Supplied Surface Name
313     WALL,                      !- Surface Type
314     ParedeInterna,            !- Construction Name of the Surface
315     Zona Norte,              !- InsideFaceEnvironment
316     ExteriorEnvironment,      !- OutsideFaceEnvironment
317     ,                          !- OutsideFaceEnvironment Object
318     NoSun,                    !- Sun Exposure
319     NoWind,                   !- Wind Exposure
320     0.5,                      !- View Factor to Ground
321     4,                        !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
322     0,                        !- Vertex 1 X-coordinate {m}
323     0,                        !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
324     2.7,                      !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
325     12.5,                    !- Vertex 2 X-coordinate {m}
326     0,                        !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
327     2.7,                      !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
328     12.5,                    !- Vertex 3 X-coordinate {m}
329     0,                        !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
330     0,                        !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
331     0,                        !- Vertex 4 X-coordinate {m}
332     0,                        !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
333     0;                        !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
334
335 Surface:HeatTransfer,
336     Parede Lateral Esquerda , !- User Supplied Surface Name
337     WALL,                      !- Surface Type
338     Parede de ar,             !- Construction Name of the Surface
339     Zona Norte,              !- InsideFaceEnvironment
340     ExteriorEnvironment,      !- OutsideFaceEnvironment
341     ,                          !- OutsideFaceEnvironment Object
342     NoSun,                    !- Sun Exposure
343     NoWind,                   !- Wind Exposure
344     0.5,                      !- View Factor to Ground
345     4,                        !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
346     0,                        !- Vertex 1 X-coordinate {m}
347     7,                        !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
348     2.7,                      !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
349     0,                        !- Vertex 2 X-coordinate {m}
350     0,                        !- Vertex 2 Y-coordinate {m}

```

```

351     2.7,                !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
352     0,                  !- Vertex 3 X-coordinate {m}
353     0,                  !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
354     0,                  !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
355     0,                  !- Vertex 4 X-coordinate {m}
356     7,                  !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
357     0;                  !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
358
359 Surface:HeatTransfer,
360     Parede Lateral Direita, !- User Supplied Surface Name
361     WALL,                !- Surface Type
362     Parede de ar,        !- Construction Name of the Surface
363     Zona Norte,         !- InsideFaceEnvironment
364     ExteriorEnvironment, !- OutsideFaceEnvironment
365     ,                    !- OutsideFaceEnvironment Object
366     SunExposed,          !- Sun Exposure
367     NoWind,              !- Wind Exposure
368     0.5,                 !- View Factor to Ground
369     4,                   !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
370     12.5,                !- Vertex 1 X-coordinate {m}
371     0,                   !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
372     2.7,                !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
373     12.5,                !- Vertex 2 X-coordinate {m}
374     7,                   !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
375     2.7,                !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
376     12.5,                !- Vertex 3 X-coordinate {m}
377     7,                   !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
378     0,                   !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
379     12.5,                !- Vertex 4 X-coordinate {m}
380     0,                   !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
381     0;                   !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
382
383 Surface:HeatTransfer,
384     Parede Externa,      !- User Supplied Surface Name
385     WALL,                !- Surface Type
386     Parede Externa,     !- Construction Name of the Surface
387     Zona Norte,         !- InsideFaceEnvironment
388     ExteriorEnvironment, !- OutsideFaceEnvironment
389     Janela,              !- OutsideFaceEnvironment Object
390     SunExposed,          !- Sun Exposure
391     WindExposed,         !- Wind Exposure
392     0.5,                 !- View Factor to Ground
393     4,                   !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
394     12.5,                !- Vertex 1 X-coordinate {m}
395     7,                   !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
396     2.7,                !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
397     0,                   !- Vertex 2 X-coordinate {m}
398     7,                   !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
399     2.7,                !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
400     0,                   !- Vertex 3 X-coordinate {m}
401     7,                   !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
402     0,                   !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
403     12.5,                !- Vertex 4 X-coordinate {m}
404     7,                   !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
405     0;                   !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
406
407 Surface:HeatTransfer,
408     Piso,                !- User Supplied Surface Name
409     FLOOR,               !- Surface Type
410     Piso,                !- Construction Name of the Surface
411     Zona Norte,         !- InsideFaceEnvironment
412     ExteriorEnvironment, !- OutsideFaceEnvironment
413     ,                    !- OutsideFaceEnvironment Object
414     NoSun,               !- Sun Exposure
415     NoWind,              !- Wind Exposure
416     1,                   !- View Factor to Ground
417     4,                   !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
418     0,                   !- Vertex 1 X-coordinate {m}
419     0,                   !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
420     0,                   !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
421     12.5,                !- Vertex 2 X-coordinate {m}

```

```

422     0,                !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
423     0,                !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
424     12.5,            !- Vertex 3 X-coordinate {m}
425     7,               !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
426     0,                !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
427     0,                !- Vertex 4 X-coordinate {m}
428     7,               !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
429     0;               !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
430
431 Surface:HeatTransfer,
432     Forro,            !- User Supplied Surface Name
433     CEILING,         !- Surface Type
434     Forro,           !- Construction Name of the Surface
435     Zona Norte,     !- InsideFaceEnvironment
436     ExteriorEnvironment, !- OutsideFaceEnvironment
437     ,                !- OutsideFaceEnvironment Object
438     NoSun,           !- Sun Exposure
439     NoWind,          !- Wind Exposure
440     0.5,             !- View Factor to Ground
441     4,               !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
442     0,                !- Vertex 1 X-coordinate {m}
443     7,               !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
444     2.7,            !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
445     12.5,           !- Vertex 2 X-coordinate {m}
446     7,               !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
447     2.7,            !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
448     12.5,           !- Vertex 3 X-coordinate {m}
449     0,                !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
450     2.7,            !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
451     0,                !- Vertex 4 X-coordinate {m}
452     0,                !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
453     2.7;            !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
454
455
456 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:HEATTRANSFER:SUB =====
457
458 Surface:HeatTransfer:Sub,
459     Janela,          !- User Supplied Surface Name
460     WINDOW,          !- Surface Type
461     Janela,          !- Construction Name of the Surface
462     Parede Externa, !- Base Surface Name
463     ,                !- OutsideFaceEnvironment Object
464     0.5,             !- View Factor to Ground
465     ,                !- Name of shading control
466     ,                !- WindowFrameAndDivider Name
467     1,               !- Multiplier
468     4,               !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
469     12.49,           !- Vertex 1 X-coordinate {m}
470     7,               !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
471     2.69,           !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
472     0.01,           !- Vertex 2 X-coordinate {m}
473     7,               !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
474     2.69,           !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
475     0.01,           !- Vertex 3 X-coordinate {m}
476     7,               !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
477     1.1,             !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
478     12.49,          !- Vertex 4 X-coordinate {m}
479     7,               !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
480     1.1;            !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
481
482
483 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPE =====
484
485 ScheduleType,
486     Any Number;     !- ScheduleType Name
487
488 ScheduleType,
489     Fraction,       !- ScheduleType Name
490     0.0 : 1.0,     !- range
491     CONTINUOUS;    !- Numeric Type
492
493 ScheduleType,

```

```
494     Temperature,           !- ScheduleType Name
495     -60:200,                !- range
496     CONTINUOUS;             !- Numeric Type
497
498 ScheduleType,
499     Control Type,           !- ScheduleType Name
500     0:4,                    !- range
501     DISCRETE;               !- Numeric Type
502
503 ScheduleType,
504     On/Off,                  !- ScheduleType Name
505     0:1,                     !- range
506     DISCRETE;               !- Numeric Type
507
508
509 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: DAYSCHEDULE =====
510
511 DAYSCHEDULE,
512     Pessoas semana,         !- Name
513     Any Number,             !- ScheduleType
514     0,                       !- Hour 1
515     0,                       !- Hour 2
516     0,                       !- Hour 3
517     0,                       !- Hour 4
518     0,                       !- Hour 5
519     0,                       !- Hour 6
520     0,                       !- Hour 7
521     1,                       !- Hour 8
522     1,                       !- Hour 9
523     1,                       !- Hour 10
524     1,                       !- Hour 11
525     1,                       !- Hour 12
526     1,                       !- Hour 13
527     1,                       !- Hour 14
528     1,                       !- Hour 15
529     1,                       !- Hour 16
530     1,                       !- Hour 17
531     1,                       !- Hour 18
532     0,                       !- Hour 19
533     0,                       !- Hour 20
534     0,                       !- Hour 21
535     0,                       !- Hour 22
536     0,                       !- Hour 23
537     0;                       !- Hour 24
538
539 DAYSCHEDULE,
540     Pessoas finde,         !- Name
541     Any Number,             !- ScheduleType
542     0,                       !- Hour 1
543     0,                       !- Hour 2
544     0,                       !- Hour 3
545     0,                       !- Hour 4
546     0,                       !- Hour 5
547     0,                       !- Hour 6
548     0,                       !- Hour 7
549     0,                       !- Hour 8
550     0,                       !- Hour 9
551     0,                       !- Hour 10
552     0,                       !- Hour 11
553     0,                       !- Hour 12
554     0,                       !- Hour 13
555     0,                       !- Hour 14
556     0,                       !- Hour 15
557     0,                       !- Hour 16
558     0,                       !- Hour 17
559     0,                       !- Hour 18
560     0,                       !- Hour 19
561     0,                       !- Hour 20
562     0,                       !- Hour 21
563     0,                       !- Hour 22
564     0,                       !- Hour 23
565     0;                       !- Hour 24
566
567 DAYSCHEDULE,
```

```
568 Equipamentos semana,      !- Name
569 Any Number,                !- ScheduleType
570 0,                          !- Hour 1
571 0,                          !- Hour 2
572 0,                          !- Hour 3
573 0,                          !- Hour 4
574 0,                          !- Hour 5
575 0,                          !- Hour 6
576 0,                          !- Hour 7
577 1,                          !- Hour 8
578 1,                          !- Hour 9
579 1,                          !- Hour 10
580 1,                          !- Hour 11
581 1,                          !- Hour 12
582 1,                          !- Hour 13
583 1,                          !- Hour 14
584 1,                          !- Hour 15
585 1,                          !- Hour 16
586 1,                          !- Hour 17
587 1,                          !- Hour 18
588 0,                          !- Hour 19
589 0,                          !- Hour 20
590 0,                          !- Hour 21
591 0,                          !- Hour 22
592 0,                          !- Hour 23
593 0;                           !- Hour 24
594
595 DAYSCHEDULE,
596 Equipamentos finde,        !- Name
597 Any Number,                !- ScheduleType
598 0,                          !- Hour 1
599 0,                          !- Hour 2
600 0,                          !- Hour 3
601 0,                          !- Hour 4
602 0,                          !- Hour 5
603 0,                          !- Hour 6
604 0,                          !- Hour 7
605 0,                          !- Hour 8
606 0,                          !- Hour 9
607 0,                          !- Hour 10
608 0,                          !- Hour 11
609 0,                          !- Hour 12
610 0,                          !- Hour 13
611 0,                          !- Hour 14
612 0,                          !- Hour 15
613 0,                          !- Hour 16
614 0,                          !- Hour 17
615 0,                          !- Hour 18
616 0,                          !- Hour 19
617 0,                          !- Hour 20
618 0,                          !- Hour 21
619 0,                          !- Hour 22
620 0,                          !- Hour 23
621 0;                           !- Hour 24
622
623 DAYSCHEDULE,
624 Iluminação semana,        !- Name
625 Any Number,                !- ScheduleType
626 0,                          !- Hour 1
627 0,                          !- Hour 2
628 0,                          !- Hour 3
629 0,                          !- Hour 4
630 0,                          !- Hour 5
631 0,                          !- Hour 6
632 0,                          !- Hour 7
633 1,                          !- Hour 8
634 1,                          !- Hour 9
635 1,                          !- Hour 10
636 1,                          !- Hour 11
637 1,                          !- Hour 12
638 1,                          !- Hour 13
639 1,                          !- Hour 14
640 1,                          !- Hour 15
641 1,                          !- Hour 16
```

```

642     1,                !- Hour 17
643     1,                !- Hour 18
644     0,                !- Hour 19
645     0,                !- Hour 20
646     0,                !- Hour 21
647     0,                !- Hour 22
648     0,                !- Hour 23
649     0;                !- Hour 24
650
651 DAYSCHEDULE,
652     Iluminação finde,    !- Name
653     Any Number,         !- ScheduleType
654     0,                  !- Hour 1
655     0,                  !- Hour 2
656     0,                  !- Hour 3
657     0,                  !- Hour 4
658     0,                  !- Hour 5
659     0,                  !- Hour 6
660     0,                  !- Hour 7
661     0,                  !- Hour 8
662     0,                  !- Hour 9
663     0,                  !- Hour 10
664     0,                  !- Hour 11
665     0,                  !- Hour 12
666     0,                  !- Hour 13
667     0,                  !- Hour 14
668     0,                  !- Hour 15
669     0,                  !- Hour 16
670     0,                  !- Hour 17
671     0,                  !- Hour 18
672     0,                  !- Hour 19
673     0,                  !- Hour 20
674     0,                  !- Hour 21
675     0,                  !- Hour 22
676     0,                  !- Hour 23
677     0;                !- Hour 24
678
679 DAYSCHEDULE,
680     Ventilação semana,   !- Name
681     Any Number,         !- ScheduleType
682     0,                  !- Hour 1
683     0,                  !- Hour 2
684     0,                  !- Hour 3
685     0,                  !- Hour 4
686     0,                  !- Hour 5
687     0,                  !- Hour 6
688     0,                  !- Hour 7
689     1,                  !- Hour 8
690     1,                  !- Hour 9
691     1,                  !- Hour 10
692     1,                  !- Hour 11
693     1,                  !- Hour 12
694     1,                  !- Hour 13
695     1,                  !- Hour 14
696     1,                  !- Hour 15
697     1,                  !- Hour 16
698     1,                  !- Hour 17
699     1,                  !- Hour 18
700     0,                  !- Hour 19
701     0,                  !- Hour 20
702     0,                  !- Hour 21
703     0,                  !- Hour 22
704     0,                  !- Hour 23
705     0;                !- Hour 24
706
707 DAYSCHEDULE,
708     Ventilação finde,    !- Name
709     Any Number,         !- ScheduleType
710     0,                  !- Hour 1
711     0,                  !- Hour 2
712     0,                  !- Hour 3
713     0,                  !- Hour 4
714     0,                  !- Hour 5
715     0,                  !- Hour 6

```

```

716 0,                !- Hour 7
717 0,                !- Hour 8
718 0,                !- Hour 9
719 0,                !- Hour 10
720 0,                !- Hour 11
721 0,                !- Hour 12
722 0,                !- Hour 13
723 0,                !- Hour 14
724 0,                !- Hour 15
725 0,                !- Hour 16
726 0,                !- Hour 17
727 0,                !- Hour 18
728 0,                !- Hour 19
729 0,                !- Hour 20
730 0,                !- Hour 21
731 0,                !- Hour 22
732 0,                !- Hour 23
733 0;                !- Hour 24
734
735 DAYSCHEDULE,
736     Infiltração,    !- Name
737     On/Off,         !- ScheduleType
738     1,              !- Hour 1
739     1,              !- Hour 2
740     1,              !- Hour 3
741     1,              !- Hour 4
742     1,              !- Hour 5
743     1,              !- Hour 6
744     1,              !- Hour 7
745     1,              !- Hour 8
746     1,              !- Hour 9
747     1,              !- Hour 10
748     1,              !- Hour 11
749     1,              !- Hour 12
750     1,              !- Hour 13
751     1,              !- Hour 14
752     1,              !- Hour 15
753     1,              !- Hour 16
754     1,              !- Hour 17
755     1,              !- Hour 18
756     1,              !- Hour 19
757     1,              !- Hour 20
758     1,              !- Hour 21
759     1,              !- Hour 22
760     1,              !- Hour 23
761     1;              !- Hour 24
762
763 DAYSCHEDULE,
764     Nível de atividade, !- Name
765     Any Number,       !- ScheduleType
766     0,                !- Hour 1
767     0,                !- Hour 2
768     0,                !- Hour 3
769     0,                !- Hour 4
770     0,                !- Hour 5
771     0,                !- Hour 6
772     0,                !- Hour 7
773     130,              !- Hour 8
774     130,              !- Hour 9
775     130,              !- Hour 10
776     130,              !- Hour 11
777     130,              !- Hour 12
778     130,              !- Hour 13
779     130,              !- Hour 14
780     130,              !- Hour 15
781     130,              !- Hour 16
782     130,              !- Hour 17
783     130,              !- Hour 18
784     0,                !- Hour 19
785     0,                !- Hour 20
786     0,                !- Hour 21
787     0,                !- Hour 22
788     0,                !- Hour 23
789     0;                !- Hour 24

```

```
790
791
792 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: WEEKSCHEDULE =====
793
794 WEEKSCHEDULE,
795     Pessoas,                !- Name
796     Pessoas semana,        !- Sunday DAYSCHEDULE Name
797     Pessoas semana,        !- Monday DAYSCHEDULE Name
798     Pessoas semana,        !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
799     Pessoas semana,        !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
800     Pessoas semana,        !- Thursday DAYSCHEDULE Name
801     Pessoas semana,        !- Friday DAYSCHEDULE Name
802     Pessoas semana,        !- Saturday DAYSCHEDULE Name
803     Pessoas semana,        !- Holiday DAYSCHEDULE Name
804     Pessoas semana,        !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
805     Pessoas semana,        !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
806     Pessoas semana,        !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
807     Pessoas semana;        !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
808
809 WEEKSCHEDULE,
810     Equipamentos,          !- Name
811     Equipamentos semana,   !- Sunday DAYSCHEDULE Name
812     Equipamentos semana,   !- Monday DAYSCHEDULE Name
813     Equipamentos semana,   !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
814     Equipamentos semana,   !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
815     Equipamentos semana,   !- Thursday DAYSCHEDULE Name
816     Equipamentos semana,   !- Friday DAYSCHEDULE Name
817     Equipamentos semana,   !- Saturday DAYSCHEDULE Name
818     Equipamentos semana,   !- Holiday DAYSCHEDULE Name
819     Equipamentos semana,   !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
820     Equipamentos semana,   !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
821     Equipamentos semana,   !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
822     Equipamentos semana;   !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
823
824 WEEKSCHEDULE,
825     Iluminação,            !- Name
826     Iluminação semana,    !- Sunday DAYSCHEDULE Name
827     Iluminação semana,    !- Monday DAYSCHEDULE Name
828     Iluminação semana,    !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
829     Iluminação semana,    !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
830     Iluminação semana,    !- Thursday DAYSCHEDULE Name
831     Iluminação semana,    !- Friday DAYSCHEDULE Name
832     Iluminação semana,    !- Saturday DAYSCHEDULE Name
833     Iluminação semana,    !- Holiday DAYSCHEDULE Name
834     Iluminação semana,    !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
835     Iluminação semana,    !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
836     Iluminação semana,    !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
837     Iluminação semana;    !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
838
839 WEEKSCHEDULE,
840     Ventilação,            !- Name
841     Pessoas semana,        !- Sunday DAYSCHEDULE Name
842     Ventilação semana,     !- Monday DAYSCHEDULE Name
843     Ventilação semana,     !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
844     Ventilação semana,     !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
845     Ventilação semana,     !- Thursday DAYSCHEDULE Name
846     Ventilação semana,     !- Friday DAYSCHEDULE Name
847     Ventilação semana,     !- Saturday DAYSCHEDULE Name
848     Ventilação semana,     !- Holiday DAYSCHEDULE Name
849     Ventilação semana,     !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
850     Ventilação semana,     !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
851     Ventilação semana,     !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
852     Ventilação semana;    !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
853
854 WEEKSCHEDULE,
855     Nível de Atividade,    !- Name
856     Nível de atividade,    !- Sunday DAYSCHEDULE Name
857     Nível de atividade,    !- Monday DAYSCHEDULE Name
858     Nível de atividade,    !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
859     Nível de atividade,    !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
860     Nível de atividade,    !- Thursday DAYSCHEDULE Name
861     Nível de atividade,    !- Friday DAYSCHEDULE Name
862     Nível de atividade,    !- Saturday DAYSCHEDULE Name
863     Nível de atividade,    !- Holiday DAYSCHEDULE Name
```

```

864   Nível de atividade,      !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
865   Nível de atividade,      !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
866   Nível de atividade,      !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
867   Nível de atividade;      !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
868
869 WEEKSCHEDULE,
870   Infiltração,             !- Name
871   Infiltração,             !- Sunday DAYSCHEDULE Name
872   Infiltração,             !- Monday DAYSCHEDULE Name
873   Infiltração,             !- Tuesday DAYSCHEDULE Name
874   Infiltração,             !- Wednesday DAYSCHEDULE Name
875   Infiltração,             !- Thursday DAYSCHEDULE Name
876   Infiltração,             !- Friday DAYSCHEDULE Name
877   Infiltração,             !- Saturday DAYSCHEDULE Name
878   Infiltração,             !- Holiday DAYSCHEDULE Name
879   Infiltração,             !- SummerDesignDay DAYSCHEDULE Name
880   Infiltração,             !- WinterDesignDay DAYSCHEDULE Name
881   Infiltração,             !- CustomDay1 DAYSCHEDULE Name
882   Infiltração;            !- CustomDay2 DAYSCHEDULE Name
883
884
885 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE =====
886
887 SCHEDULE,
888   Pessoas,                  !- Name
889   Any Number,               !- ScheduleType
890   Pessoas,                  !- Name of WEEKSCHEDULE 1
891   1,                        !- Start Month 1
892   1,                        !- Start Day 1
893   12,                       !- End Month 1
894   31;                       !- End Day 1
895
896 SCHEDULE,
897   Equipamentos,            !- Name
898   Any Number,               !- ScheduleType
899   Equipamentos,            !- Name of WEEKSCHEDULE 1
900   1,                        !- Start Month 1
901   1,                        !- Start Day 1
902   12,                       !- End Month 1
903   31;                       !- End Day 1
904
905 SCHEDULE,
906   Iluminação,              !- Name
907   Any Number,               !- ScheduleType
908   Iluminação,              !- Name of WEEKSCHEDULE 1
909   1,                        !- Start Month 1
910   1,                        !- Start Day 1
911   12,                       !- End Month 1
912   31;                       !- End Day 1
913
914 SCHEDULE,
915   Ventilação,              !- Name
916   Any Number,               !- ScheduleType
917   Ventilação,              !- Name of WEEKSCHEDULE 1
918   1,                        !- Start Month 1
919   1,                        !- Start Day 1
920   12,                       !- End Month 1
921   31;                       !- End Day 1
922
923 SCHEDULE,
924   Nível de Atividade,      !- Name
925   Any Number,               !- ScheduleType
926   Nível de Atividade,      !- Name of WEEKSCHEDULE 1
927   1,                        !- Start Month 1
928   1,                        !- Start Day 1
929   12,                       !- End Month 1
930   31;                       !- End Day 1
931
932 SCHEDULE,
933   Infiltração,             !- Name
934   On/Off,                  !- ScheduleType
935   Infiltração,             !- Name of WEEKSCHEDULE 1
936   1,                        !- Start Month 1
937   1,                        !- Start Day 1

```

```
938     12,                !- End Month 1
939     31;                !- End Day 1
940
941
942 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: PEOPLE =====
943
944 PEOPLE,
945     Ocupação,          !- Name
946     Zona Norte,      !- Zone Name
947     12,                !- Number of People
948     Pessoas,          !- Number of People SCHEDULE Name (real--fraction)
949     0.3,              !- Fraction Radiant
950     Nível de Atividade, !- Activity level SCHEDULE Name (units W/person,
real)
951     ZoneAveraged;     !- MRT Calculation Type
952
953
954 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LIGHTS =====
955
956 LIGHTS,
957     Iluminação,       !- Name
958     Zona Norte,      !- Zone Name
959     Iluminação,       !- SCHEDULE Name
960     1050,             !- Design Level {W}
961     0,                !- Return Air Fraction
962     0.31,             !- Fraction Radiant
963     0.19,             !- Fraction Visible
964     0,                !- Fraction Replaceable
965     GeneralLights;    !- LightsEndUseKey
966
967
968 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRIC EQUIPMENT =====
969
970 ELECTRIC EQUIPMENT,
971     Equipamentos,     !- Name
972     Zona Norte,      !- Zone Name
973     Equipamentos,     !- SCHEDULE Name
974     3937.5,           !- Design Level {W}
975     0,                !- Fraction Latent
976     0.3,              !- Fraction Radiant
977     0,                !- Fraction Lost
978     ;                 !- End-Use Category
979
980
981 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: INFILTRATION =====
982
983 INFILTRATION,
984     Infiltração,      !- Name
985     Zona Norte,      !- Zone Name
986     Infiltração,     !- SCHEDULE Name
987     0.04,             !- Design Volume Flow Rate {m3/s}
988     1,                !- Constant Term Coefficient
989     0,                !- Temperature Term Coefficient
990     0,                !- Velocity Term Coefficient
991     0;                !- Velocity Squared Term Coefficient
992
993
994 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VENTILATION =====
995
996 VENTILATION,
997     Ventilação,       !- Name
998     Zona Norte,      !- Zone Name
999     Ventilação,       !- SCHEDULE Name
1000    0.70218,          !- Design Volume Flow Rate {m3/s}
1001    0,                !- Minimum Indoor Temperature {C}
1002    -100,             !- Delta Temperature {deltaC}
1003    Natural,          !- Ventilation Type
1004    ,                 !- Fan Pressure Rise
1005    1,                !- Fan Total Efficiency
1006    0.606,            !- Constant Term Coefficient
1007    0.020199999,      !- Temperature Term Coefficient
1008    0.00059800001,    !- Velocity Term Coefficient
1009    0,                !- Velocity Squared Term Coefficient
1010    100,              !- Maximum Indoor Temperature {C}
```

```

1011     -100,                !- Minimum Outdoor Temperature {C}
1012     100,                !- Maximum Outdoor Temperature {C}
1013     40;                 !- Maximum WindSpeed {m/s}
1014
1015
1016 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIZING PARAMETERS =====
1017
1018 SIZING PARAMETERS,
1019     1,                    !- sizing factor
1020     6;                    !- time steps in averaging window
1021
1022
1023 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE SIZING =====
1024
1025 ZONE SIZING,
1026     Zona Norte,         !- Name of a zone
1027     1,                  !- Zone cooling design supply air temperature {C}
1028     50,                 !- Zone heating design supply air temperature {C}
1029     0.008,             !- Zone cooling design supply air humidity ratio
{kg-H2O/kg-air}
1030     0.008,             !- Zone heating design supply air humidity ratio
{kg-H2O/kg-air}
1031     flow/person,        !- outside air method
1032     0.00944,           !- outside air flow per person {m3/s}
1033     0,                  !- outside air flow {m3/s}
1034     0,                  !- zone sizing factor
1035     design day,         !- cooling design air flow method
1036     0,                  !- cooling design air flow rate {m3/s}
1037     design day,         !- heating design air flow method
1038     0;                  !- heating design air flow rate {m3/s}
1039
1040
1041 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT VARIABLE =====
1042
1043 Report Variable,
1044     *,                  !- Key_Value
1045     Zone Mean Air Temperature , !- Variable_Name
1046     hourly;            !- Reporting_Frequency
1047
1048 Report Variable,
1049     *,                  !- Key_Value
1050     Zone Mean Radiant Temperature , !- Variable_Name
1051     hourly;            !- Reporting_Frequency
1052
1053 Report Variable,
1054     *,                  !- Key_Value
1055     Outdoor Dry Bulb ,  !- Variable_Name
1056     hourly;            !- Reporting_Frequency
1057
1058 Report Variable,
1059     *,                  !- Key_Value
1060     Outdoor Wet Bulb ,  !- Variable_Name
1061     hourly;            !- Reporting_Frequency
1062
1063
1064 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: REPORT =====
1065
1066 Report,
1067     Variable Dictionary; !- Type_of_Report
1068
1069 Report,
1070     surfaces,           !- Type_of_Report
1071     dx;                 !- Name_of_Report
1072
1073 Report,
1074     construction;      !- Type_of_Report
1075
Processing Input Data File (in.idf) -- Complete
Number of IDF "Lines"= 80
Getting object=TIMESTEP IN HOUR
Getting object=VERSION
Getting object=RUN CONTROL
Getting object=IZING PARAMETERS

```

```
Getting object=ZONE SIZING
Getting object=RUNPERIOD
Getting object=LOCATION
Getting object=REPORT VARIABLE
Getting object=REPORT
Getting object=BUILDING
Getting object=INSIDE CONVECTION ALGORITHM
Getting object=OUTSIDE CONVECTION ALGORITHM
Getting object=SOLUTION ALGORITHM
Getting object=MATERIAL:REGULAR
Getting object=MATERIAL:REGULAR-R
Getting object=MATERIAL:WINDOWGLASS
Getting object=REPORT
Getting object=CONSTRUCTION
Getting object=ZONE
Getting object=SURFACEGEOMETRY
Getting object=SURFACE:HEATTRANSFER
Getting object=SURFACE:HEATTRANSFER:SUB
Getting object=REPORT
Getting object=REPORT
Getting object=PEOPLE
  Processing Schedule Input -- Start
Getting object=SCHEDULETYPE
Getting object=DAYSCHEDULE
Getting object=WEEKSCHEDULE
Getting object=SCHEDULE
Getting object=REPORT
  Processing Schedule Input -- Complete
Getting object=LIGHTS
Getting object=ELECTRIC EQUIPMENT
Getting object=REPORT
Getting object=REPORT
Getting object=AIRFLOW MODEL
Getting object=INFILTRATION
Getting object=VENTILATION
Getting object=ZONE VOLUME CAPACITANCE MULTIPLIER
MaxRVariable=      1000
MaxIVariable=      20
NumEnergyMeters=  11
NumVarMeterArrays= 5
```

Anexo C – Arquivo de resultados do CFX

This run of the CFX-5.7 Solver started at 20:54:13 on 15 Dec 2006 by user Labaut on LABAUT03 (intel_pentium_winnt5.1) using the command:

```
C:\CFX\CFX-5.7\bin\perl\lib\cfx5solve.pl -stdout-comms -batch -ccl -
```

Setting up CFX-5 Solver run ...

```
+-----+
|                                             |
|                               CFX Command Language for Run                               |
|                                             |
+-----+
```

LIBRARY:

CEL:

EXPRESSIONS:

```
ak = 0.41 [ ]
cmu = 0.09 [ ]
cmuhalf = cmu^0.5
rgas = 287.09601 [ J kg^-1 K^-1 ]
tamb = 288.15 [ K ]
pref = 101325. [ Pa ]
denref = pref/(rgas*tamb)
dir = 0
pi180 = pi/180
dira = (dir)*pi180
unitlen = 1. [ m ]
unitvel = 1. [ m^1s^-1 ]
zuref = 150*unitlen
z0 = 0.001*unitlen
uref = 2.3*unitvel
zref = 0.0*unitlen
ustar = ak*uref/loge((zuref-zref)/z0)
zmod = abs(z + 0.005*unitlen)
ed1 = (ustar^3)/(ak*(zmod-zref))
epsinner = 0.4*unitlen
epsouter = 1.5*unitlen
gradh = 500*unitlen
pamb = pref*(exp(-g*z/(rgas*tamb))-1.0)
speed = ustar*loge((zmod-zref)/z0)/ak
tel = (ustar^2)/cmuhalf
thetaa = dira
ul = speed*sin(thetaa)
unittime = 1. [ s ]
vl = speed*cos(thetaa)
```

END

END

MATERIAL: Air at 25 C

```
Material Description = Air at 25 C and 1 atm (dry)
Material Group = Air Data, Constant Property Gases
Option = Pure Substance
Thermodynamic State = Gas
```

PROPERTIES:

```
Option = General Material
Thermal Expansivity = 0.003356 [K^-1]
```

DYNAMIC VISCOSITY:

```
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-1]
Option = Value
```

END

REFRACTIVE INDEX:

```
Option = Value
Refractive Index = 1.0 [m m^-1]
```

```
END
SCATTERING COEFFICIENT:
  Option = Value
  Scattering Coefficient = 0.0 [m^-1]
END
ABSORPTION COEFFICIENT:
  Absorption Coefficient = 0.01 [m^-1]
  Option = Value
END
THERMAL CONDUCTIVITY:
  Option = Value
  Thermal Conductivity = 2.61E-02 [W m^-1 K^-1]
END
EQUATION OF STATE:
  Density = 1.185 [kg m^-3]
  Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
  Option = Value
END
SPECIFIC HEAT CAPACITY:
  Option = Value
  Reference Pressure = 1 [atm]
  Reference Specific Enthalpy = 0. [J/kg]
  Reference Specific Entropy = 0. [J/kg/K]
  Reference Temperature = 25 [C]
  Specific Heat Capacity = 1.0044E+03 [J kg^-1 K^-1]
  Specific Heat Type = Constant Pressure
END
END
END
EXECUTION CONTROL:
  PARALLEL HOST LIBRARY:
    HOST DEFINITION: labaut03
    Installation Root = C:\CFX\CFX-5.7
    Host Architecture String = intel_pentium_winnt5.1
    Relative Speed = 2.89
  END
END
PARTITIONER STEP CONTROL:
  Multidomain Option = Independent Partitioning
  Runtime Priority = Standard
MEMORY CONTROL:
  Memory Allocation Factor = 1.0
END
PARTITIONING TYPE:
  MeTiS Type = k-way
  Option = MeTiS
  Partition Size Rule = Automatic
END
END
RUN DEFINITION:
  Definition File = D:/Cintia/NVSTv4/NVSTv4.def
  Interpolate Initial Values = Off
  Run Mode = Full
END
SOLVER STEP CONTROL:
  Runtime Priority = Standard
EXECUTABLE SELECTION:
  Double Precision = Off
END
MEMORY CONTROL:
  Memory Allocation Factor = 1.0
END
PARALLEL ENVIRONMENT:
  Number of Processes = 1
  Start Method = Serial
END
```

```
END
END
FLOW:
  SOLUTION UNITS:
    Angle Units = [rad]
    Length Units = [m]
    Mass Units = [kg]
    Solid Angle Units = [sr]
    Temperature Units = [K]
    Time Units = [s]
  END
  SIMULATION TYPE:
    Option = Steady State
  END
  OUTPUT CONTROL:
    RESULTS:
      File Compression Level = Default
      Option = Full
    END
  END
  DOMAIN: Domain 1
    Coord Frame = Coord 0
    Domain Type = Fluid
    Fluids List = Air at 25 C
    Location = Assembly
  DOMAIN MODELS:
    BUOYANCY MODEL:
      Buoyancy Reference Temperature = 26 [C]
      Gravity X Component = 0 [m s^-2]
      Gravity Y Component = 0 [m s^-2]
      Gravity Z Component = -9.8 [m s^-2]
      Option = Buoyant
    BUOYANCY REFERENCE LOCATION:
      Option = Automatic
    END
  END
  DOMAIN MOTION:
    Option = Stationary
  END
  REFERENCE PRESSURE:
    Reference Pressure = 1 [atm]
  END
  END
  FLUID MODELS:
    COMBUSTION MODEL:
      Option = None
    END
    HEAT TRANSFER MODEL:
      Option = Thermal Energy
    END
    THERMAL RADIATION MODEL:
      Option = None
    END
    TURBULENCE MODEL:
      Option = k epsilon
    BUOYANCY TURBULENCE:
      Option = None
    END
  END
  TURBULENT WALL FUNCTIONS:
    Option = Scalable
  END
  END
  BOUNDARY: Domain 1 Default
    Boundary Type = WALL
    Location = FACHADA NORDESTE, FACHADA NOROESTE, FACHADA SUDESTE, FACHAD\
A SUDOESTE, PAREDE INTERNA NORDESTE, PAREDE INTERNA NOROESTE, PAREDE INTERNA S\
```

```
UDESTE, PAREDE INTERNA SUDOESTE, PISO
BOUNDARY CONDITIONS:
  HEAT TRANSFER:
    Fixed Temperature = 25 [C]
    Option = Fixed Temperature
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = No Slip
  END
  WALL ROUGHNESS:
    Option = Smooth Wall
  END
END
END
BOUNDARY: Forro
Boundary Type = WALL
Location = FORRO
BOUNDARY CONDITIONS:
  HEAT TRANSFER:
    Heat Flux in = 12 [W m^-2]
    Option = Heat Flux
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = No Slip
  END
  WALL ROUGHNESS:
    Option = Smooth Wall
  END
END
END
BOUNDARY: computadores
Boundary Type = WALL
Location = COMPUTADORES
BOUNDARY CONDITIONS:
  HEAT TRANSFER:
    Heat Flux in = 361 [W m^-2]
    Option = Heat Flux
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = No Slip
  END
  WALL ROUGHNESS:
    Option = Smooth Wall
  END
END
END
BOUNDARY: entrada
Boundary Type = INLET
Location = DOM ENTRADA
BOUNDARY CONDITIONS:
  FLOW REGIME:
    Option = Subsonic
  END
  HEAT TRANSFER:
    Option = Static Temperature
    Static Temperature = 25 [C]
  END
  MASS AND MOMENTUM:
    Option = Cartesian Velocity Components
    U = u1
    V = v1
    W = 0 [m s^-1]
  END
  TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
  END
END
```

```

END
BOUNDARY: laterais
  Boundary Type = WALL
  Location = DOM LATERAIS
  BOUNDARY CONDITIONS:
    HEAT TRANSFER:
      Fixed Temperature = 25 [C]
      Option = Fixed Temperature
    END
    WALL INFLUENCE ON FLOW:
      Option = Free Slip
    END
  END
END
BOUNDARY: pessoas
  Boundary Type = WALL
  Location = PESSOAS
  BOUNDARY CONDITIONS:
    HEAT TRANSFER:
      Heat Flux in = 60 [W m^-2]
      Option = Heat Flux
    END
    WALL INFLUENCE ON FLOW:
      Option = No Slip
    END
    WALL ROUGHNESS:
      Option = Smooth Wall
    END
  END
END
BOUNDARY: piso
  Boundary Type = WALL
  Location = DOM PISO
  BOUNDARY CONDITIONS:
    HEAT TRANSFER:
      Fixed Temperature = 25 [C]
      Option = Fixed Temperature
    END
    WALL INFLUENCE ON FLOW:
      Option = No Slip
    END
    WALL ROUGHNESS:
      Option = Smooth Wall
    END
  END
END
BOUNDARY: predio
  Boundary Type = WALL
  Location = MOBILIARIO, COBERTURA, PAREDE INTERNA CORE, MAXIMAR A, MAXIMA\
R AA, MAXIMAR AB, MAXIMAR AC, MAXIMAR AD, MAXIMAR AE, MAXIMAR AF, MAXIMAR AG, MAXI\
MAR AH, MAXIMAR AI, MAXIMAR AJ, MAXIMAR AK, MAXIMAR AL, MAXIMAR AM, MAXIMAR AN, MA\
XIMAR B, MAXIMAR C, MAXIMAR D, MAXIMAR E, MAXIMAR F, MAXIMAR G, MAXIMAR H, MAXIMA\
R I, MAXIMAR J, MAXIMAR K, MAXIMAR L, MAXIMAR M, MAXIMAR N, MAXIMAR O, MAXIMAR P, M\
AXIMAR Q, MAXIMAR R, MAXIMAR S, MAXIMAR T, MAXIMAR U, MAXIMAR V, MAXIMAR W, MAXIMA\
R X, MAXIMAR Y, MAXIMAR Z
  BOUNDARY CONDITIONS:
    HEAT TRANSFER:
      Fixed Temperature = 25 [C]
      Option = Fixed Temperature
    END
    WALL INFLUENCE ON FLOW:
      Option = No Slip
    END
    WALL ROUGHNESS:
      Option = Smooth Wall
    END
  END
END

```

```
END
BOUNDARY: saida
  Boundary Type = OUTLET
  Location = DOM SAIDA
  BOUNDARY CONDITIONS:
    FLOW REGIME:
      Option = Subsonic
    END
    MASS AND MOMENTUM:
      Option = Cartesian Velocity Components
      U = u1
      V = v1
      W = 0 [m s^-1]
    END
  END
END
BOUNDARY: teto
  Boundary Type = WALL
  Location = DOM TETO
  BOUNDARY CONDITIONS:
    HEAT TRANSFER:
      Fixed Temperature = 25 [C]
      Option = Fixed Temperature
    END
    WALL INFLUENCE ON FLOW:
      Option = Free Slip
    END
  END
END
INITIALISATION:
  Option = Automatic
  INITIAL CONDITIONS:
    Velocity Type = Cartesian
    CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
      Option = Automatic with Value
      U = 0 [m s^-1]
      V = 0 [m s^-1]
      W = 0 [m s^-1]
    END
  EPSILON:
    Option = Automatic
  END
  K:
    Option = Automatic
  END
  STATIC PRESSURE:
    Option = Automatic with Value
    Relative Pressure = 0 [Pa]
  END
  TEMPERATURE:
    Option = Automatic with Value
    Temperature = 25 [C]
  END
END
END
SOLVER CONTROL:
  ADVECTION SCHEME:
    Option = High Resolution
  END
  CONVERGENCE CONTROL:
    Length Scale Option = Conservative
    Maximum Number of Iterations = 500
    Timescale Control = Auto Timescale
  END
  CONVERGENCE CRITERIA:
    Residual Target = 1.E-4
```

```

    Residual Type = RMS
  END
  DYNAMIC MODEL CONTROL:
    Global Dynamic Model Control = On
  END
END
COMMAND FILE:
  Version = 5.7
  Results Version = 5.7
END

```

```

+-----+
|                                     |
|                               Solver |
|                                     |
+-----+

```

```

+-----+
|                                     |
|                               CFX-5 Solver 5.7 |
|                                     |
| Version 2004.04.01-23.00           Thu Apr  1 23:46:14 GMTDT 2004 |
|                                     |
|                               Executable Attributes |
|                                     |
|                               single-32bit-optimised-supfort-noprof-nospag |
|                                     |
| Copyright 1996-2004 CFX Ltd. |
+-----+

```

```

+-----+
|                                     |
|                               Job Information |
|                                     |
+-----+

```

```

Run mode:      serial run

Host computer: LABAUT03
Job started:   Fri Dec 15 20:54:26 2006

```

```

+-----+
|                                     |
| Memory Allocated for Run (Actual usage may be less) |
|                                     |
+-----+

```

Data Type	Kwords	Words/Node	Words/Elem	Kbytes	Bytes/Node
Real	214567.0	384.01	82.35	838152.4	1536.04
Integer	84872.2	151.90	32.57	331532.0	607.58
Character	2092.0	3.74	0.80	2043.0	3.74
Logical	40.0	0.07	0.02	156.2	0.29
Double	908.0	1.63	0.35	7093.8	13.00

```

+-----+
|                                     |
| Total Number of Nodes, Elements, and Faces |
|                                     |
+-----+

```

Domain Name : Domain 1

```

Total Number of Nodes           =      558753

Total Number of Elements        =      2605592
  Total Number of Tetrahedrons   =      2441096
  Total Number of Prisms         =      164160
  Total Number of Pyramids       =           336

Total Number of Faces           =      249882

```

```

+-----+
|                               Reference Pressure Information                               |
+-----+
  
```

Domain Group: Domain 1

Pressure has not been set at any boundary conditions.
 The pressure will be set to 0.00000E+00 at the following location:
 Domain : Domain 1
 Node : 1 (equation 1)
 Coordinates : (9.13309E+02, 8.67191E+02, 3.77600E+01).

Domain Group: Domain 1

Buoyancy has been activated. The absolute pressure will include hydrostatic pressure contribution, using the following reference coordinates: (9.13309E+02, 8.67191E+02, 3.77600E+01).

```

+-----+
|                               Average Scale Information                               |
+-----+
  
```

```

Domain Name : Domain 1
Global Length           = 7.4426E+02
Minimum Extent         = 4.5000E+02
Maximum Extent        = 1.1629E+03
Density                = 1.1850E+00
Dynamic Viscosity     = 1.8310E-05
Velocity               = 0.0000E+00
Thermal Conductivity  = 2.6100E-02
Specific Heat Capacity at Constant Pressure = 1.0044E+03
Thermal Expansivity   = 3.3560E-03
Prandtl Number        = 7.0462E-01
  
```

```

+-----+
|                               Checking for Isolated Fluid Regions                               |
+-----+
  
```

No isolated fluid regions were found.

```

+-----+
|                               The Equations Solved in This Calculation                               |
+-----+
  
```

Subsystem Name : Momentum and Mass

U-Mom

V-Mom

W-Mom

P-Mass

Subsystem Name : Heat Transfer

H-Energy

Subsystem Name : TurbKE and Diss.K

K-TurbKE

E-Diss.K

CFD Solver started: Fri Dec 15 20:55:21 2006

```

+-----+
  
```

```

|               Convergence History               |
+-----+
=====
|               Timescale Information              |
+-----+
| Equation | Type | Timescale |
+-----+
| U-Mom    | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
| V-Mom    | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
| W-Mom    | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
| P-Mass   | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
+-----+
| H-Energy | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
+-----+
| K-TurbKE | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
+-----+
| E-Diss.K | Auto Timescale | 9.66934E+01 |
+-----+
=====
OUTER LOOP ITERATION = 1                      CPU SECONDS = 3.54E+01
+-----+
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+
| U-Mom    | 0.00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 OK|
| V-Mom    | 0.00 | 1.4E-06 | 1.4E-04 | 6.2E+01 ok|
| W-Mom    | 0.00 | 4.5E+01 | 3.2E+02 | 1.0E-03 OK|
| P-Mass   | 0.00 | 3.8E-06 | 1.7E-04 | 20.9 8.7E-02 OK|
+-----+
| H-Energy | 0.00 | 8.3E-03 | 4.7E-01 | 5.6 8.8E-02 OK|
+-----+
| K-TurbKE | 0.00 | 2.0E-02 | 3.4E-01 | 5.6 1.3E-02 OK|
| E-Diss.K | 0.00 | 2.9E-02 | 1.0E+00 | 8.9 1.3E-02 OK|
+-----+
=====
OUTER LOOP ITERATION = 2                      CPU SECONDS = 3.51E+02
+-----+
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+
| U-Mom    | 0.00 | 4.5E-02 | 5.1E-01 | 5.5E-02 OK|
| V-Mom    | 99.99 | 4.5E-02 | 4.9E-01 | 1.4E-02 OK|
| W-Mom    | 0.00 | 3.6E-02 | 6.4E-01 | 1.2E-02 OK|
| P-Mass   | 99.99 | 5.0E-02 | 1.7E+00 | 8.9 1.3E-02 OK|
+-----+
| H-Energy | 9.05 | 7.5E-02 | 2.4E+00 | 5.5 1.9E-03 OK|
+-----+
| K-TurbKE | 0.42 | 8.6E-03 | 2.3E-01 | 5.5 1.7E-05 OK|
| E-Diss.K | 2.56 | 7.4E-02 | 1.0E+00 | 8.9 8.1E-05 OK|
+-----+
=====
OUTER LOOP ITERATION = 3                      CPU SECONDS = 6.08E+02
+-----+
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+
| U-Mom    | 0.47 | 2.1E-02 | 3.0E-01 | 1.2E-01 ok|
| V-Mom    | 0.48 | 2.2E-02 | 3.3E-01 | 1.0E-02 OK|
| W-Mom    | 0.46 | 1.6E-02 | 2.6E-01 | 1.5E-02 OK|
| P-Mass   | 0.09 | 4.4E-03 | 2.2E-01 | 8.9 4.5E-02 OK|
+-----+
| H-Energy | 0.13 | 9.8E-03 | 2.0E-01 | 10.2 1.9E-02 OK|
+-----+
| K-TurbKE | 50.69 | 4.3E-01 | 1.8E+00 | 5.6 1.9E-05 OK|
| E-Diss.K | 3.86 | 2.9E-01 | 1.8E+00 | 8.9 1.0E-07 OK|
+-----+

```

```

=====
OUTER LOOP ITERATION =      4                      CPU SECONDS = 8.71E+02
=====
|      Equation      | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom             | 0.62 | 1.3E-02 | 3.2E-01 | 7.6E-02 OK|
| V-Mom             | 0.58 | 1.3E-02 | 3.6E-01 | 1.4E-02 OK|
| W-Mom             | 0.58 | 9.6E-03 | 1.4E-01 | 1.6E-02 OK|
| P-Mass            | 0.35 | 1.5E-03 | 7.0E-02 | 8.9 1.0E-01 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy          | 0.61 | 6.0E-03 | 1.8E-01 | 14.7 2.4E-02 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE          | 0.07 | 3.2E-02 | 5.2E-01 | 5.6 4.5E-04 OK|
| E-Diss.K          | 0.38 | 1.1E-01 | 1.7E+00 | 8.9 1.0E-05 OK|
+-----+-----+-----+-----+

```

```

=====
OUTER LOOP ITERATION =      5                      CPU SECONDS = 1.14E+03
=====
|      Equation      | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom             | 1.14 | 1.5E-02 | 3.3E-01 | 3.5E-02 OK|
| V-Mom             | 1.13 | 1.4E-02 | 3.2E-01 | 1.1E-02 OK|
| W-Mom             | 1.18 | 1.1E-02 | 1.6E-01 | 7.5E-03 OK|
| P-Mass            | 1.95 | 3.0E-03 | 1.6E-01 | 8.9 2.1E-02 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy          | 0.90 | 5.4E-03 | 1.5E-01 | 14.7 2.2E-02 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE          | 1.73 | 5.6E-02 | 1.3E+00 | 5.6 2.2E-04 OK|
| E-Diss.K          | 0.95 | 1.0E-01 | 1.6E+00 | 16.7 3.3E-08 OK|
+-----+-----+-----+-----+

```

```

=====
| Timescale Information |
+-----+-----+-----+
|      Equation      |      Type      | Timescale |
+-----+-----+-----+
| U-Mom             | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
| V-Mom             | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
| W-Mom             | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
| P-Mass            | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
+-----+-----+-----+
| H-Energy          | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
+-----+-----+-----+
| K-TurbKE          | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
+-----+-----+-----+
| E-Diss.K          | Auto Timescale | 2.46291E+01 |
+-----+-----+-----+

```

As interações de 6 a 324 foram excluídas deste anexo por motivo de espaço. Este relatório completo pode ser obtido no arquivo da simulação que conta no cd (Anexo D).

```

=====
OUTER LOOP ITERATION =    325                      CPU SECONDS = 8.50E+04
=====
|      Equation      | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom             | 0.99 | 9.3E-05 | 7.7E-03 | 3.2E-01 ok|
| V-Mom             | 0.99 | 1.0E-04 | 8.1E-03 | 2.2E-01 ok|
| W-Mom             | 1.00 | 9.2E-05 | 8.7E-03 | 2.6E-01 ok|
| P-Mass            | 0.99 | 2.5E-06 | 1.6E-04 | 12.9 8.9E-01 ok|
+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy          | 0.98 | 8.0E-05 | 6.0E-03 | 5.6 3.8E-02 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE          | 0.99 | 9.0E-05 | 5.7E-03 | 5.6 3.3E-03 OK|
| E-Diss.K          | 0.99 | 1.3E-05 | 9.2E-04 | 8.9 1.1E-03 OK|
+-----+-----+-----+-----+

```

```

=====
|                                     Timescale Information                                     |
=====
| Equation | Type | Timescale |
+-----+-----+-----+
| U-Mom | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
| V-Mom | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
| W-Mom | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
| P-Mass | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
+-----+-----+-----+
| H-Energy | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
+-----+-----+-----+
| K-TurbKE | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
+-----+-----+-----+
| E-Diss.K | Auto Timescale | 1.94850E+01 |
+-----+-----+-----+

```

```

=====
OUTER LOOP ITERATION = 326 CPU SECONDS = 8.53E+04
=====

```

```

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom | 0.99 | 9.3E-05 | 9.5E-03 | 3.1E-01 ok |
| V-Mom | 0.98 | 1.0E-04 | 7.3E-03 | 2.2E-01 ok |
| W-Mom | 1.00 | 9.2E-05 | 9.0E-03 | 2.5E-01 ok |
| P-Mass | 0.99 | 2.5E-06 | 1.8E-04 | 8.9 8.8E-01 ok |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy | 0.99 | 7.9E-05 | 6.1E-03 | 5.6 3.8E-02 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE | 0.99 | 8.9E-05 | 5.3E-03 | 5.6 3.5E-03 OK |
| E-Diss.K | 0.98 | 1.3E-05 | 8.7E-04 | 8.9 1.2E-03 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+

```

```

=====
OUTER LOOP ITERATION = 327 CPU SECONDS = 8.55E+04
=====

```

```

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom | 0.99 | 9.2E-05 | 9.9E-03 | 3.2E-01 ok |
| V-Mom | 0.98 | 1.0E-04 | 7.9E-03 | 2.2E-01 ok |
| W-Mom | 0.99 | 9.1E-05 | 8.0E-03 | 2.6E-01 ok |
| P-Mass | 0.99 | 2.4E-06 | 1.8E-04 | 12.9 9.1E-01 ok |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy | 1.01 | 8.0E-05 | 7.2E-03 | 5.6 3.8E-02 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE | 1.00 | 8.9E-05 | 5.0E-03 | 5.6 3.7E-03 OK |
| E-Diss.K | 1.02 | 1.3E-05 | 8.9E-04 | 8.9 1.1E-03 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+

```

```

=====
OUTER LOOP ITERATION = 328 CPU SECONDS = 8.58E+04
=====

```

```

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom | 0.99 | 9.1E-05 | 8.6E-03 | 3.1E-01 ok |
| V-Mom | 0.99 | 9.9E-05 | 7.4E-03 | 2.3E-01 ok |
| W-Mom | 1.00 | 9.2E-05 | 8.3E-03 | 2.6E-01 ok |
| P-Mass | 1.00 | 2.4E-06 | 1.9E-04 | 12.9 8.9E-01 ok |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy | 1.00 | 8.0E-05 | 6.9E-03 | 5.6 3.9E-02 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE | 1.00 | 8.9E-05 | 4.6E-03 | 5.6 4.1E-03 OK |
| E-Diss.K | 1.02 | 1.3E-05 | 9.2E-04 | 8.9 1.2E-03 OK |
+-----+-----+-----+-----+-----+

```

```

CFD Solver finished: Sat Dec 16 20:50:48 2006
CFD Solver wall clock seconds: 8.6127E+04

```

Execution terminating:
all RMS residual AND global imbalances
are below their target criteria.

=====
Boundary Flow and Total Source Term Summary
=====

```

+-----+-----+
|                                     U-Mom                                     |
+-----+-----+
Boundary      : Domain 1 Default      -5.3995E+01
Boundary      : Forro                 -4.8934E-03
Boundary      : computadores          -9.8654E-02
Boundary      : entrada               -8.3418E-02
Boundary      : laterais              9.7000E+01
Boundary      : pessoas               -3.9004E-01
Boundary      : piso                  1.9492E+00
Boundary      : predio                -1.9516E-03
Boundary      : saida                 -4.4428E+01
-----
Domain Imbalance :                    -5.2784E-02

Domain Imbalance, in %:                0.0000 %

```

```

+-----+-----+
|                                     V-Mom                                     |
+-----+-----+
Boundary      : Domain 1 Default      -6.2378E+03
Boundary      : Forro                 -5.9342E-01
Boundary      : computadores          -5.9645E-01
Boundary      : entrada               -1.2850E+05
Boundary      : pessoas               -8.8292E-01
Boundary      : piso                  -2.8624E+03
Boundary      : predio                -1.1648E+02
Boundary      : saida                 1.3768E+05
-----
Domain Imbalance :                    -3.3328E+01

Domain Imbalance, in %:                -0.0002 %

```

```

+-----+-----+
|                                     W-Mom                                     |
+-----+-----+
Boundary      : Domain 1 Default      7.8023E+01
Boundary      : Forro                 -1.4371E+02
Boundary      : computadores          1.6776E+00
Boundary      : entrada               -3.0370E+01
Boundary      : pessoas               2.8592E+00
Boundary      : piso                  1.7697E+06
Boundary      : predio                -1.5074E+03
Boundary      : saida                 1.3160E+04
Boundary      : teto                  1.4285E+07
Domain       : Domain 1                -1.6066E+07
-----
Domain Imbalance :                    -2.0000E+00

Domain Imbalance, in %:                0.0000 %

```

```

+-----+-----+
|                                     P-Mass                                     |
+-----+-----+
Boundary      : entrada               9.7562E+05
Boundary      : saida                 -9.7564E+05
-----
Domain Imbalance :                    -1.7188E+01

Domain Imbalance, in %:                -0.0018 %

```

```

+-----+
|                                     H-Energy                                     |
+-----+
Boundary      : Domain 1 Default      -3.6006E+03
Boundary      : Forro                  6.6420E+03
Boundary      : computadores           2.4548E+04
Boundary      : laterais               -5.8649E-04
Boundary      : pessoas                 1.2124E+04
Boundary      : piso                   -2.5398E+02
Boundary      : predio                 -2.5212E+03
Boundary      : saida                  -4.2488E+04
Boundary      : teto                    6.6804E-04
-----
Domain Imbalance :                      -5.5499E+03

Domain Imbalance, in %:                  -13.0621 %

```

```

=====
Wall Force and Moment Summary
=====

```

Note: Pressure integrals exclude the reference pressure. To include it, set the expert parameter 'include pref in forces = t'.

```

+-----+
|                                     Pressure Force On Walls                                     |
+-----+
                                     X-Comp.      Y-Comp.      Z-Comp.
Domain 1 Default      5.3835E+01  6.2296E+03  -8.3907E+01
Forro                 -1.4971E-07 -6.8049E-07  1.4371E+02
computadores          9.7862E-02  5.7653E-01  -1.7157E+00
laterais              -8.9500E+01  0.0000E+00  0.0000E+00
pessoas               3.8833E-01  8.5917E-01  -2.8940E+00
piso                  3.4072E-11 -1.5911E-11 -1.7697E+06
predio                5.2066E-02  1.1313E+02  1.5075E+03
teto                  0.0000E+00  0.0000E+00 -1.4285E+07

```

```

+-----+
|                                     Viscous Force On Walls                                     |
+-----+
                                     X-Comp.      Y-Comp.      Z-Comp.
Domain 1 Default      1.6108E-01  8.1579E+00  5.8835E+00
Forro                 4.8935E-03  5.9343E-01  -6.4515E-07
computadores          7.9212E-04  1.9919E-02  3.8092E-02
laterais              -1.0068E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
pessoas               1.7118E-03  2.3746E-02  3.4827E-02
piso                  -1.9492E+00  2.8624E+03  -5.3491E-14
predio                -5.0110E-02  3.3468E+00  -5.1982E-02
teto                  0.0000E+00  0.0000E+00 -2.6669E-05

```

```

+-----+
|                                     Pressure Moment On Walls                                     |
+-----+
                                     X-Comp.      Y-Comp.      Z-Comp.
Domain 1 Default      -3.2466E+05  7.9336E+04  5.6957E+06
Forro                 1.2356E+05  -1.3237E+05  -4.9321E-04
computadores          -1.4957E+03  1.5829E+03  4.4707E+02
laterais              0.0000E+00  -2.4704E+04  5.8624E+04
pessoas               -2.5202E+03  2.6772E+03  4.5764E+02
piso                  -1.8470E+09  1.6312E+09  -4.0526E-08
predio                1.2972E+06  -1.3893E+06  1.0426E+05
teto                  -1.4979E+10  1.3167E+10  0.0000E+00

```

```

+-----+
|                                     Viscous Moment On Walls                                     |
+-----+
                                     X-Comp.      Y-Comp.      Z-Comp.

```

Domain 1 Default	4.7481E+03	-5.4175E+03	7.3804E+03
Forro	-2.3263E+01	1.9241E-01	5.4236E+02
computadores	3.2083E+01	-3.5085E+01	1.7681E+01
laterais	0.0000E+00	-6.4240E-01	-8.9300E+00
pessoas	2.9104E+01	-3.1972E+01	2.0455E+01
pisos	-1.9518E-10	4.6601E-11	2.6391E+06
predio	-2.7300E+02	4.4509E+01	3.1268E+03
teto	-1.0070E-01	2.5545E-02	0.0000E+00

Locations of Maximum Residuals				
Equation	Node #	X	Y	Z
U-Mom	3436	9.370E+02	8.624E+02	3.650E+01
V-Mom	105246	9.371E+02	8.635E+02	3.709E+01
W-Mom	550987	9.365E+02	8.628E+02	3.717E+01
P-Mass	55806	9.176E+02	8.758E+02	3.848E+01
H-Energy	18671	9.178E+02	8.501E+02	3.650E+01
K-TurbKE	390724	9.085E+02	8.561E+02	3.826E+01
E-Diss.K	409	9.166E+02	8.487E+02	3.770E+01

Peak Values of Residuals			
Equation	Loop #	Peak Residual	Final Residual
U-Mom	2	4.49248E-02	9.08208E-05
V-Mom	2	4.49743E-02	9.89311E-05
W-Mom	1	4.51423E+01	9.17622E-05
P-Mass	2	5.03394E-02	2.42118E-06
H-Energy	2	7.53836E-02	8.04043E-05
K-TurbKE	3	4.33688E-01	8.91389E-05
E-Diss.K	3	2.86718E-01	1.32447E-05

False Transient Information		
Equation	Type	Elapsed Pseudo-Time
U-Mom	Auto	6.76436E+03
V-Mom	Auto	6.76436E+03
W-Mom	Auto	6.76436E+03
P-Mass	Auto	6.76436E+03
H-Energy	Auto	6.76436E+03
K-TurbKE	Auto	6.76436E+03
E-Diss.K	Auto	6.76436E+03

Average Scale Information	
---------------------------	--

Domain Name : Domain 1	
Global Length	= 7.4426E+02
Minimum Extent	= 4.5000E+02
Maximum Extent	= 1.1629E+03
Density	= 1.1850E+00
Dynamic Viscosity	= 1.8310E-05
Velocity	= 9.1689E-01
Advection Time	= 8.1172E+02
Reynolds Number	= 4.4164E+07
Thermal Conductivity	= 2.6100E-02
Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 1.0044E+03
Thermal Expansivity	= 3.3560E-03

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)