



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**FERNANDO ANTONIO DE MELO SÁ CAVALCANTI**

**CHAMINÉ SOLAR COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR A VENTILAÇÃO  
NATURAL EM ESPAÇOS INTERNOS**

**SÃO CARLOS – SP**

**2010**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**FERNANDO ANTONIO DE MELO SÁ CAVALCANTI**

**CHAMINÉ SOLAR COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR A VENTILAÇÃO  
NATURAL EM ESPAÇOS INTERNOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

**Área de concentração:**

Racionalização, Avaliação e Gestão de Processos e Sistemas Construtivos

**ORIENTADOR: PROF. DR. MAURÍCIO RORIZ**

**SÃO CARLOS – SP**

**2010**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C376cs

Cavalcanti, Fernando Antonio de Melo Sá.

Chaminé solar como alternativa para incrementar a ventilação natural em espaços internos / Fernando Antonio de Melo Sá Cavalcanti. -- São Carlos : UFSCar, 2010. 118 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Construção civil. 2. Conforto ambiental. 3. Economia de energia. I. Título.

CDD: 690 (20<sup>a</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação em Construção  
Civil

Rod. Washington Luís, Km 235  
13565-905 – São Carlos – SP  
Fone: (16) 3351-8261 Fax (16) 3351-8262  
e-mail: [ppgciv@ufscar.br](mailto:ppgciv@ufscar.br) site: [www.ppgciv.ufscar.br](http://www.ppgciv.ufscar.br)

---

**“CHAMINÉ SOLAR COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR A VENTILAÇÃO  
NATURAL EM ESPAÇOS INTERNOS”**

**FERNANDO ANTONIO DE MELO SÁ CAVALCANTI**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em dois de agosto de 2010.

Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

**Prof. Dr. Maurício Roriz**  
Departamento de Engenharia Civil / PPGCiv / UFSCar  
Orientador

---

**Prof.ª Dr.ª Karin Maria Soares Chvatal**  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo / PPG-AU / EESC / USP  
Examinadora Externa

---

**Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt**  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / FAU / DEHA / UFAL  
Examinador Externo

"A entrada para a mente do homem é o que ele aprende, a saída é o que ele realiza. Se sua mente não for alimentada por um fornecimento contínuo de novas idéias, que ele põe a trabalhar com um propósito e se não houver uma saída por uma ação, sua mente torna-se estagnada. Tal mente é um perigo para o indivíduo que a possui e inútil para a comunidade."

**Jeremias Whipple Jenks** (1856 - 1929)  
Economista e Educador Norte-Americano

## AGRADECIMENTOS

Expresso os meus agradecimentos :

A Deus e à Virgem Maria, pela sua presença constante na minha vida, sem que eu precise pedir, pelo auxílio nas minhas escolhas e conforto nas horas difíceis.

Ao Professor Maurício Roriz, pela constante disposição na orientação deste trabalho em todos os momentos que foi solicitado como mestre ou como amigo, mostrando-me sempre o caminho seguro e correto que deveria ser trilhado, com abnegação e gosto pelo que faz.

A meus pais Antonio Manoel e Graça, pelo exemplo de vida e apoio incondicional no decorrer deste trabalho e de toda a vida. Aos meus irmãos Antonio Jackson e André por serem uma constante presença de sabedoria, assim como todos os meus familiares.

Aos Professores e Funcionários do PPGCiv, que com sabedoria e didática foram capazes de transmitir seus conhecimentos e experiências ao longo destes dois anos, em especial à Solange Damha e aos Professores Celso Novaes e Sheyla Serra.

Aos companheiros de Mestrado que dividiram momentos de alegrias, tristezas, angústias e realizações ao longo desta jornada, em especial a Carla Barroso, Fábio Lavandoscki, André Zanfredini, Adriana Boni, Adriano Matos e Nathália de Paula.

Às professoras Karin M. S. Chvatal e Lucila Chebel Labaki , pelas contribuições na etapa de qualificação desta pesquisa.

À Letícia Neves e ao Victor Roriz, doutorandos da UNICAMP pela troca de experiências além dos diálogos produtivos e esclarecedores em todos os nossos encontros.

Aos amigos do Grupo e Estudos em Conforto Ambiental (GECA), da Universidade Federal de Alagoas, que mesmo na ausência estiveram sempre presentes na elaboração deste trabalho, em especial aos Professores Leonardo Bittencourt, Gianna Barbirato e Juliana Oliveira e aos Arquitetos Alexandre Sacramento, Christhina Cândido, Evelise Didoné e Isabela Passos.

Aos amigos que se tornaram irmãos em São Carlos durante este período de convivência, em especial ao Tácito Neves, Edgar Peixoto, Guilherme Freire, Felipe Duarte, Karina Emboaba, Nelson Ponce e Guilherme Azevedo.

Aos amigos que, embora distantes fisicamente de algum modo foram fontes de força e inspiração, em especial os amigos: Cinho, Guebinho, Serginho, Fernandinho, Lu, Taci, Nando, Dan, Janaína, Everson (Cabeção), Kinha, Cristianna, Karlinha, Quinho e Dezza.

À Família do Professor Maurício, em especial à sua esposa Maristela e seu filho Victor que me acolheram sempre com simpatia e carinho durante a realização desta pesquisa.

À CAPES pela bolsa concedida durante o período de mestrado e à FAPESP pela verba disponibilizada para que algumas etapas deste trabalho se tornassem possíveis.

Enfim, diante da certeza do esquecimento de alguns, agradeço a todos que fazem parte da minha vida, torcem e me apóiam nas decisões tomadas ao longo da vida.

## RESUMO

CAVALCANTI, Fernando A de M Sá. **Chaminé Solar como alternativa para incrementar a ventilação natural em espaços internos**. 118f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

Este trabalho tem como finalidade investigar a influência que o uso de chaminés solares possuem na ventilação natural em edifícios localizados no Brasil. Tendo em vista que o Brasil é um país tropical e possui um grande potencial para aproveitamento da Radiação Solar, pretende-se verificar a hipótese de que a utilização deste dispositivo pode incrementar a ação dos ventos em espaços internos de modo a contribuir na promoção do conforto para os usuários destes ambientes. A metodologia utilizada para verificar esta hipótese foi baseada na comparação entre o desempenho de dois sistemas construtivos: um dotado de chaminé convencional e outro com chaminé solar, sendo os dois modelos com a mesma altura e dimensões para aberturas de entrada e saída do ar. Esta comparação foi realizada a partir de simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus, para 8 cidades brasileiras, representativas de cada uma das zonas bioclimáticas do país, nos períodos de inverno e verão. O dispositivo investigado apresentou desempenho satisfatório, aumentando a ventilação natural no período diurno em todas as cidades simuladas, inclusive no período de inverno, quando a ventilação natural pode não ser desejável em alguns climas. Os dados foram apresentados de forma a facilitar o entendimento dos profissionais da Construção Civil em geral, visando contribuir para estabelecer um referencial teórico sobre o assunto, além de diretrizes projetuais para edifícios mais eficientes do ponto de vista energético. Pretende-se também contribuir para que o potencial deste dispositivo seja investigado nas mais diversas regiões brasileiras, buscando adaptar sempre as edificações ao clima do sítio onde serão construídas.

Palavras-chaves: Ventilação natural, Chaminé solar, EnergyPlus

## ABSTRACT

CAVALCANTI, Fernando A de M Sá. **Solar Chimney as alternative to increase the natural ventilation in indoor spaces.** 118f. Dissertation (M.Sc. in Civil Construction) - Post-Graduation Program in Civil Construction, Universidade Federal de Sao Carlos, Sao Carlos, 2010.

This work aims to investigate the influence of solar chimneys in the natural ventilation in buildings located in Brazil. Considering that Brazil is a tropical country and has a great potential for the harnessing of solar radiation, it is intended to verify the hypothesis that the use of this device may increase air movement in indoor spaces contributing to promote thermal comfort for users of these environments. The methodology used to verify this hypothesis was based on comparing the performance of two construction systems: a conventional chimney and a solar chimney. The two models have the same height and dimensions for the air inlet and outlet. This comparison was performed by computer simulations using EnergyPlus software, for eight Brazilian cities located in each one of the bioclimatic zones of Brazil, during winter and summer. The investigated device showed satisfactory performance, increasing natural ventilation during the day in all cities simulated, even in winter, when natural ventilation may not be desired in some climates. The data were presented to facilitate the understanding of professionals in the Construction Industry in general, contributing to establish a theoretical framework on the subject, and projective guidelines for more efficient buildings from the standpoint of energy. It is also intended to contribute to the potential of this device is investigated in several Brazilian regions, always trying to adapt the buildings to the climate of where it will be built.

Keywords: Natural ventilation, Solar Chimney, EnergyPlus

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### 1 INTRODUÇÃO.....

- Figura 1.1 – (a) Iglu, um exemplo de sustentabilidade e engenhosidade, (b) Habitações dos Pueblos em Mesa Verde (Colorado, EUA), (c) Habitações em palafitas na cidade de Manaus.....01
- Figura 1.2 – Esquema básico de uma chaminé solar.....03

### 2 REFERENCIAL TEÓRICO .....

- Figura 2.1 – Edifícios com pele de vidro em regiões brasileiras com climas diferentes. (a) Mossoró, RN (b) Curitiba, PR (c) Maceió, AL.....07
- Figura 2.2 – Estudo da oferta interna de energia elétrica no Brasil, em 2007.....08
- Figura 2.3 – Estudo da oferta de energia elétrica no Mundo, em 2007.....09
- Figura 2.4 – Torres de vento na Arquitetura Iraniana.....10
- Figura 2.5 – Chaminé convencional (vertical) e chaminé solar (inclinada) localizadas na cidade de São Carlos – SP.....11
- Figura 2.6 – Funcionamento de uma chaminé solar.....12
- Figura 2.7 – Funcionamento básico de uma chaminé solar.....13
- Figura 2.8 - Esquema da Incidência dos raios solares no coletor solar.....14
- Figura 2.9 – Exemplo de chaminé solar vertical.....14
- Figura 2.10 – Exemplo de chaminé solar inclinada.....14
- Figura 2.11 – Ventilação por ação dos ventos.....16
- Figura 2.12 - Coeficientes de correção e fórmula para o cálculo do gradiente do vento.....18
- Figura 2.13 – Coeficientes de Descarga para Aberturas Usuais em Edificações.....19
- Figura 2.14 – Passagem do ar através de duas aberturas verticais.....19
- Figura 2.15 – (a) Distribuição da pressão interna e externa para o fluxo devido ao efeito chaminé. (b) fluxo através de uma abertura inferior e outra superior. (c) fluxo através de uma única abertura.....20
- Figura 2.16 – Sistema de Chaminé em uma edificação no Iraque.....21
- Figura 2.17 – Espectro Eletromagnético.....22
- Figura 2.18 – Mapas de irradiação solar média anual para o território brasileiro obtidos com o uso do modelo BRASIL-SR a partir de dados climatológicos e imagens de satélite GOES-8 para o ano de 2000: (a) irradiação global para o plano horizontal, (b) irradiação global em plano inclinado em ângulo igual à latitude local.....23
- Figura 2.19 – Inclinação da terra em relação ao plano elíptico da trajetória do movimento de translação...26
- Figura 2.20 – Coordenadas solares: azimute e altitude.....27
- Figura 2.21 – Projeção estereográfica da trajetória do sol.....28
- Figura 2.22 – Carta solar para a cidade de São Carlos.....29
- Figura 2.23 – Valores da Equação do tempo (em minutos).....30
- Figura 2.24 – Efeito estufa em edificações.....30
- Figura 2.25 – Exemplo de Chaminé solar estudada no Brasil para fins de secagem de grãos (Foto e Corte esquemático).....32
- Figura 2.26 – (a) Relação entre o Fluxo de ar e a razão S/L de uma Chaminé Solar (b) Relação entre o Fluxo de ar e a altura da chaminé. Onde: L = Altura da Chaminé (m), S = Área da abertura de saída da Chaminé (m), Ts = Temperatura superficial da parede da Chaminé (°C).....33

Figura 2.27 – Modelo de Chaminé adotado por Padki e Sherif, 1999.....	34
Figura 2.28 – Vista da Chaminé solar e da Chaminé convencional utilizadas nas medições de Afonso e Oliveira (2000).....	34
Figura 2.29 – Esquema básico do Edifício analisado por Ding et al (2005).....	36
Figura 2.30 – Foto do protótipo em escala reduzida utilizado por Ding et al (2005).....	36
Figura 2.31 – Célula-Teste desenvolvida por Chungloo et al (2006).....	37
Figura 2.32 – Modelo da habitação simulada por Nugroho et al (2006).....	37
Figura 2.33 – (a) Modelo de Chaminé adotado por Ong (2003), (b) Modelo de Chaminé adotado por Nugroho et al (2006) (c) Implantação da Chaminé na edificação analisada por Nugroho et al (2006).....	38
Figura 2.34 - Comparação do fluxo de ar em chaminés solares com vidros duplos e com baixa emissividade (l – largura da abertura em metros).....	38
Figura 2.35 – Configuração da chaminé adotada por Sakonidou et al, 2008. (a) seção da chaminé 1- Painel Isolado, 2 – duto para passagem do ar, 3- Placa absorvedora e 4 – Sentido do fluxo (b) Foto da chaminé.....	39
Figura 2.36 – Resultados obtidos por Lee e Strand, 2009 para o fluxo do ar (Volume) em função (a) da altura da chaminé e (b) da absorvância do material.....	40
Figura 2.37 – Diagrama esquemático do sistema associando chaminé solar e refrigeração evaporativa....	41
Figura 2.38 – Resumo das pesquisas apresentadas anteriormente sobre chaminé solar.....	42

### **3 METODOLOGIA.....**

Figura 3.1 – Planta Baixa do modelo a ser simulado.....	44
Figura 3.2 – Vista das aberturas de entrada (a) e saída (b) do ar para os modelos computacionais de edifícios – sem escala.....	44
Figura 3.3 – Vista do modelo com chaminé solar horizontal (a) e do modelo com chaminé convencional (b) – sem escala.....	45
Figura 3.4 – Corte esquemático do modelo com chaminé convencional (a) e do modelo com chaminé solar horizontal (b) – sem escala.....	45
Figura 3.5 – Inclinação ótima do coletor solar para as 8 cidades simuladas, com orientação Norte.....	47
Figura 3.6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	48
Figura 3.7 – Relação das cidades utilizadas para simulações.....	48
Figura 3.7 – Inclinação ótima do coletor solar para as 8 cidades simuladas, com orientação Norte.....	47
Figura 3.8 – Dados de entrada para o Módulo “Zone:ThermalChimney” do Software EnergyPlus.....	49
Figura 3.9 – Objetos do Módulo AirflowNetwork utilizados para as simulações contidas neste trabalho.....	50
Figura 3.10 – Esquema do modelo adotado por Mathur (et al, 2006).....	51
Figura 3.11 – Gráfico comparativo dos fluxos de ar medidos por Mathur (et al, 2006) e Simulados no EnergyPlus.....	52
Figura 3.12 – Gráfico comparativo das Radiações Incidentes no Coletor medidos por Mathur (et al, 2006) e Simulados no EnergyPlus.....	52
Figura 3.13– Características do vento para definição dos coeficientes de pressão nas superfícies.....	53

### **4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....**

Figura 4.1 – Localização da Cidade de Curitiba-PR.....	54
Figura 4.2 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Curitiba – PR.....	55
Figura 4.3 – Localização da cidade de Urussanga – SC.....	56

Figura 4.4 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Urussanga – SC.....	56
Figura 4.5 - Localização da cidade de Uberaba – MG.....	57
Figura 4.6 - Carta Bioclimática de Givoni para Uberaba – MG.....	57
Figura 4.7 – Localização da cidade de Brasília – DF.....	58
Figura 4.8 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Brasília – DF.....	58
Figura 4.9 – Localização da cidade de Araçatuba – SP.....	59
Figura 4.10 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande – MS.....	59
Figura 4.11 – Localização da cidade de Campo Grande – MS.....	60
Figura 4.12 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande – MS.....	61
Figura 4.13 – Localização da cidade de Petrolina – PE.....	61
Figura 4.14 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Petrolina – PE.....	62
Figura 4.15 – Localização da cidade de Belém – PA.....	62
Figura 4.16 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Belém – PA.....	63
Figura 4.17 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Curitiba – PR.....	63
Figura 4.18 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Urussanga – SC.....	64
Figura 4.19 - Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Uberaba – MG.....	64
Figura 4.20 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Brasília – DF.....	64
Figura 4.21 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e o ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Araçatuba – SP.....	65
Figura 4.22 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Campo Grande – MS.....	65
Figura 4.23 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Petrolina – PE.....	65
Figura 4.24 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Belém – PA.....	66
Figura 4.25 – Gráfico do comportamento do fluxo de ar (Kg/h) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.....	67
Figura 4.26 – Esquema do fluxo do ar no interior das edificações analisadas (a) para o período noturno e (b) para o período diurno.....	67
Figura 4.27 – Gráfico do comportamento da vazão do ar (m <sup>3</sup> /s) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.....	68
Figura 4.28 – Gráfico do comportamento da velocidade média do ar (m/s) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.....	69
Figura 4.29 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Curitiba – PR.....	70
Figura 4.30 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Urussanga - SC.....	70
Figura 4.31 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Uberaba - MG.....	70
Figura 4.32 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Brasília - DF.....	71
Figura 4.33 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Araçatuba - SP.....	71

Figura 4.34 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Campo Grande - MS.....	71
Figura 4.35 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Petrolina - PE.....	72
Figura 4.36 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Belém - PA.....	72
Figura 4.37 – Gráfico do comportamento do fluxo de ar (Kg/h) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.....	73
Figura 4.38 – Gráfico do comportamento da vazão do ar (m³/s) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.....	74
Figura 4.39 – Gráfico do comportamento da velocidade do ar (m/s) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.....	75

## **5 ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES .....**

Figura 5.1 – Gráfico do incremento da ventilação natural (em porcentagem) promovido pelo uso de chaminé solar nas 8 cidades analisadas.....	78
Figura 5.2 – Relação entre os valores da Temperatura do ar no interior da chaminé solar obtidos por simulação e calculador por meio do modelo simplificado.....	79
Figura 5.3 – Relação entre a Vazão do ar no interior da chaminé e (a) $\Delta t$ , (b) Radiação Solar incidente no coletor.....	79
Figura 5.4 - Fluxo do ar calculado X simulado para o caso em que (a) $\Delta t < 0$ e para o caso em que (b) $\Delta t > 0$ .....	81
Figura 5.5 – Relação entre os valores da Temperatura do ar no interior da chaminé convencional obtidos por simulação e calculador por meio do modelo simplificado.....	82
Figura 5.6 – Relação entre os valores da vazão do ar no interior da chaminé convencional obtidos por simulação e calculados por meio do modelo simplificado.....	83

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....**

Figura 6.1 – Diretrizes para utilização de chaminés solares em edificações localizadas no Brasil.....	87
---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>3 METODOLOGIA.....</b>	
Tabela 3.1 – Altura solar para cada cidade simulada mês a mês (dia 15 de cada mês).....	46
Tabela 3.2 – Azimute para o meio dia a cada mês (dia 15) para cada cidade simulada.....	46
Tabela 3.3 – Inclinação ótima do Coletor para cada cidade simulada mês a mês (dia 15 de cada mês) ....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHS - Ângulo Horário do sol  
ALT - Altitude ou altura solar  
AZI - Azimute  
BEN - Balanço Energético Nacional  
CFD - Computational Fluid Dynamics  
DEC – Ângulo de Declinação  
DF – Distrito Federal  
ET – Equação do tempo  
GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda  
IEA – International Energy Agency  
MG – Minas Gerais  
MS – Mato Grosso do Sul  
NBR – Norma Brasileira  
NDA - Número do Dia no Ano  
NPM – Nível de Pressão Neutra  
PA – Pará  
PE – Pernambuco  
PR – Paraná  
SC – Santa Catarina  
SP – São Paulo  
TBS – Temperatura de Bulbo Seco  
TL - Tempo Legal (hora oficial),  
TSV - Tempo Solar verdadeiro,  
ZB – Zona Bioclimática

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 – CONTEXTO E PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 – JUSTIFICATIVA .....	4
1.3 – OBJETIVOS .....	4
1.3.1 – OBJETIVO GERAL .....	4
1.3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 – CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES E CONFORTO AMBIENTAL .....	6
2.2 – CHAMINÉ SOLAR.....	10
2.3 – VENTILAÇÃO NATURAL .....	14
2.3.1 – VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ .....	19
2.4 – O SOL.....	22
2.4.1 – RADIAÇÃO SOLAR .....	22
2.4.2 – RADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO .....	24
2.4.3 – TRAJETÓRIA SOLAR.....	25
2.4.4 – COORDENADAS SOLARES .....	27
2.4.5 – AS CARTAS SOLARES.....	28
2.4.6 – EFEITO ESTUFA.....	30
2.4.7 – ABSORTÂNCIA SOLAR .....	31
2.5 – PESQUISAS SOBRE CHAMINÉ SOLAR .....	31
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
3.1 – SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS .....	43
3.1.1 – DESCRIÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DOS SISTEMAS SIMULADOS .....	44
3.1.2 – CIDADES SIMULADAS .....	48

3.1.3 – SISTEMA CONSTRUTIVO .....	49
3.1.4 – CONSTRUÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ENERGYPLUS.....	49
<b>3.2 – FORMA DE ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>53</b>

<b>4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>54</b>
--	-----------

<b>4.1 – CIDADES SIMULADAS.....</b>	<b>54</b>
4.1.1 – CURITIBA - PR .....	54
4.1.2 – URUSSANGA – SC .....	55
4.1.3 – UBERABA – MG .....	56
4.1.4 – BRASÍLIA - DF .....	57
4.1.5 – ARAÇATUBA - SP .....	59
4.1.6 – CAMPO GRANDE - MS .....	60
4.1.7 – PETROLINA – PE .....	61
4.1.8 – BELÉM – PA .....	62
<b>4.2 – CHAMINÉ CONVENCIONAL .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3 – CHAMINÉ SOLAR.....</b>	<b>69</b>

<b>5 ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>76</b>
--	-----------

<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
------------------------------------	-----------

<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>
----------------------------	-----------

<b>8 APÊNDICES .....</b>	<b>99</b>
--------------------------	-----------

<b>8.1 – APÊNDICE A – VALORES OBTIDOS POR MATHUR, ET AL (2006) E POR SIMULAÇÃO NO ENERGYPLUS.....</b>	<b>99</b>
<b>8.2 – APÊNDICE B – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) NO INTERIOR DA CHAMINÉ SOLAR.....</b>	<b>100</b>
<b>8.3 – APÊNDICE C – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VAZÃO DO AR (Kg/h) NA CHAMINÉ SOLAR .....</b>	<b>108</b>
<b>8.4 – APÊNDICE D – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) E VAZÃO DO AR (Kg/h) NO INTERIOR DA CHAMINÉ CONVENCIONAL.....</b>	<b>116</b>

<b>8.5 – APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VAZÃO DO AR (m<sup>3</sup>/s) MÉDIA EM CADA CIDADE SIMULADA .....</b>	<b>117</b>
<b>8.6 – APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VELOCIDADE DO AR (m/s) MÉDIA EM CADA CIDADE SIMULADA.....</b>	<b>118</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 – CONTEXTO E PROBLEMÁTICA

Na antiguidade, o homem procurava construir seu abrigo em harmonia com os condicionantes climáticos do lugar ao qual estava inserido, a partir do conhecimento empírico do clima e com os recursos materiais disponíveis na natureza, utilizando sistemas energéticos passivos como a iluminação natural, o isolamento térmico e a ventilação natural.

A Figura 1.1 apresenta alguns exemplos de edificações que foram construídas utilizando materiais e técnicas locais, de acordo com as necessidades climáticas da região em que estão inseridas.

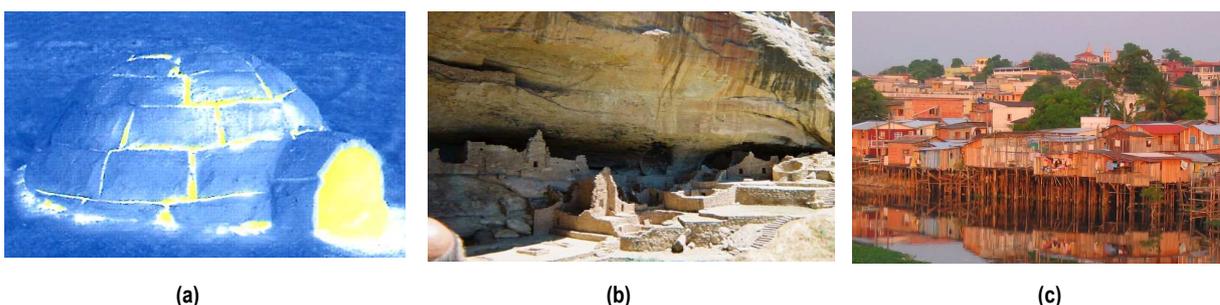


Figura 1.1 - (a) Iglu, um exemplo de sustentabilidade e engenhosidade, (b) Habitações dos Pueblos em Mesa Verde (Colorado, EUA), (c) Habitações em palafitas na cidade de Manaus

Fonte: BITTENCOURT, 2005

No entanto, após a segunda metade do século XIX, com a Revolução Industrial e a subsequente evolução tecnológica, diversos sistemas de iluminação e climatização artificial foram criados e passaram a ser largamente utilizados nas edificações, resultando em um crescente consumo energético. Enquanto a energia apresentava baixo custo e estava disponível em grande quantidade, eram poucos os incentivos para que os projetistas e os construtores levassem em consideração os problemas energéticos nos edifícios. Surgiu então uma geração de arquitetos que internacionalizou a arquitetura, utilizando sistemas sofisticados de condicionamento de ar e megaestruturas de concreto e aço, desconsiderando na maioria dos casos as adaptações ao clima local (LAMBERTS et al., 2004).

As recentes crises energética e ambiental promoveram um aumento no preço da energia elétrica. Sabe-se que quanto maior for o consumo energético, maiores serão os impactos ambientais. Atualmente

há uma discussão por parte dos ambientalistas acerca do aquecimento global, buscando alternativas que possam minimizar os seus efeitos. A arquitetura não pode desconsiderar esta problemática, já que mais de 90% da vida do homem, ele passa no interior das edificações, quaisquer que sejam.

Nos dias de hoje, construir visando a obtenção do conforto, através da máxima utilização dos recursos naturais, tornou-se uma necessidade e um desafio aos arquitetos e profissionais de projeto, diante do panorama mundial da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia proveniente das fontes convencionais (MASCARÓ, 1991).

É de vital importância para os indivíduos contar com qualidades ambientais nos espaços internos, de modo a permitir que sejam realizadas todas as atividades de forma saudável e confortável. Para isto, estes espaços precisam ser projetados em função do meio ambiente, garantindo condições de conforto que satisfaçam as necessidades psicofisiológicas dos usuários (FREIXANET, 2004).

No contexto da construção civil, o uso de padrões arquitetônicos inadequados às características climáticas locais passou a ser criticado abertamente (GONÇALVES e DUARTE, 2001). As formas de refrigeração passiva adquiriram maior relevância quanto ao seu emprego nas edificações, uma vez que se apresentam como opção para se alcançar um maior grau de eficiência energética e sustentabilidade que os obtidos por meios mecânicos de condicionamento ambiental (GIVONI, 1994).

Sistemas artificiais de condicionamento de ar e iluminação vem sendo amplamente utilizados para 'corrigir' as insatisfatórias condições de conforto, produzidas no interior dos edifícios. Entretanto, a adoção de um sistema passivo de refrigeração além de ser mais eficiente do ponto de vista energético, pode resultar em um rico repertório composto pelos diversos componentes arquitetônicos, que podem promover uma melhor integração das construções com o seu ambiente natural (FATHY, 1986).

A ventilação natural afeta consideravelmente as condições de conforto térmico dos ambientes, por acelerar as trocas térmicas entre o homem e o meio, bem como as condições microclimáticas no interior e em torno das edificações, por acelerar as trocas térmicas por convecção entre as envolventes e o ar, podendo proporcionar ambientes mais confortáveis (SILVANI, 2005).

O efeito chaminé é provocado pelas diferenças de temperaturas do ar em dois pontos distintos da edificação e que podem ser provocadas mesmo por baixas fontes internas de calor, como as decorrentes da ocupação e realização de atividades metabólicas pelo ser humano.

Porém, o movimento do ar criado somente pelo efeito chaminé, não costuma ser suficiente para atingir o resfriamento fisiológico do corpo humano, promovendo quase sempre velocidades do ar inferiores às necessárias para alcançar este resfriamento (entre 0,15 e 1,5 m/s para condições tropicais<sup>1</sup>) surgindo a necessidade da utilização de novas estratégias, como as chaminés solares, para incrementar este fenômeno, aumentando a ventilação natural no interior dos ambientes (NUGROHO et al, 2006).

Szokolay (2004) afirma que apenas o efeito chaminé em climas quentes, pode ser insuficiente para produzir o fluxo de ar necessário devido à pequena diferença entre as temperaturas do ar externo e interno. Neste caso, a adoção de “chaminés solares”, com o aquecimento das superfícies usadas para a saída do ar, pode incrementar este efeito para regiões quentes.

Atualmente, o conceito de chaminé solar é bastante amplo e engloba dispositivos construídos com diferentes objetivos e com considerável variedade de configurações. Estas chaminés podem ser utilizadas com os coletores solar na forma vertical, horizontal ou inclinada. Estudos incrementaram outros recursos no intuito de otimizar o desempenho deste sistema, aproveitando da melhor forma a incidência dos raios solares. A chaminé solar é um sistema para melhorar a ventilação natural em edifícios com aquecimento por convecção de ar, a partir da energia solar passiva.

A chaminé solar, também conhecida como chaminé térmica, é geralmente composta por um duto preto, que é aquecido durante o dia a partir da energia solar, criando uma concentração de ar quente e menos denso que o ar no interior do ambiente. Este aumento de temperatura promove a saída do ar pela parte superior da chaminé, o que cria sucção e ventila e resfria o espaço abaixo deste duto. A chaminé solar tem três partes principais, uma área para coletar a energia solar, que recebe luz e calor, um eixo principal de ventilação e aberturas de entrada e saída de ar (Figura 1.2).

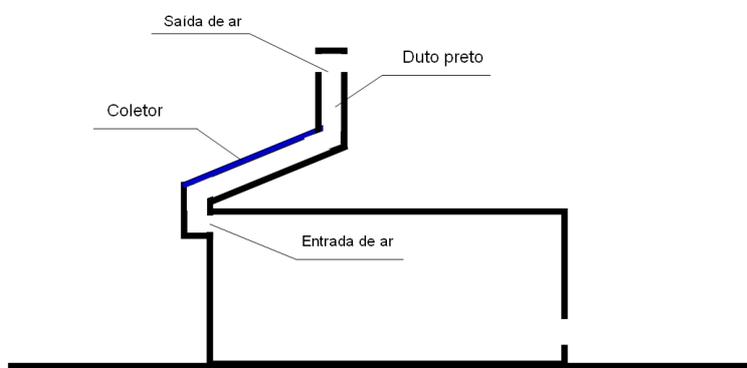


Figura 1.2 - Esquema básico de uma chaminé solar

<sup>1</sup> O limite superior deste intervalo foi estabelecido em decorrência de problemas práticos, como arrasto de papéis e desmanche de penteados.

## **1.2 – JUSTIFICATIVA**

Uma das principais aplicações das chaminés solares é proporcionar ventilação em locais onde não haveria outra forma. Isso é obtido pelo aquecimento do ar na chaminé. A chaminé solar pode servir a vários outros propósitos, como melhorar a ventilação em dias quentes, melhorar o fluxo de ar em uma edificação localizada em zona urbana com alta densidade de ocupação, onde não há vento na altura das aberturas, além de melhorar a qualidade do ar no interior dos ambientes. Diante destes aspectos, pretende-se, por meio deste trabalho, avaliar a variação de temperatura e velocidade do ar para um ambiente padrão, dotado de uma chaminé solar.

## **1.3 – OBJETIVOS**

### **1.3.1 – OBJETIVO GERAL**

Esta pesquisa tem como objetivo geral investigar a influência que o uso de chaminé solar pode provocar na ventilação natural de edificações submetidas a climas típicos do Brasil.

### **1.3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a variação do fluxo de ar nas edificações a partir da implantação de chaminés solares;
- Analisar as trocas térmicas entre o ar e a chaminé, decorrentes da utilização de um coletor solar;
- Verificar a alteração do fluxo de ar em um ambiente, em função da variação da temperatura e radiação incidente no coletor solar;
- Desenvolver um modelo simplificado, tornando possível estimar a vazão do ar no interior dos espaços dotados de chaminé solar por meio de cálculo;
- Contribuir para o estabelecimento de bases e recomendações para a concepção de projetos energeticamente mais eficientes nos climas brasileiros, além de ampliar a bibliografia sobre o tema.

## 1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento é composto de 06 (seis) partes. Esta primeira, apresentou uma breve introdução ao trabalho, explicitando sua contextualização, seus objetivos e a estrutura da dissertação.

A segunda parte refere-se a uma revisão bibliográfica acerca do tema em estudo, com a finalidade de proporcionar um referencial teórico que dê suporte às análises que serão realizadas. Esta revisão discute sinteticamente a relação entre a construção de edifícios e o conforto ambiental, eficiência energética e a aplicação de seus conceitos na construção civil, além dos fenômenos envolvidos no processo de ventilação natural induzida por chaminé solar.

Foi realizada nesta seção também um levantamento do estado da arte, cuja finalidade é reconhecer os avanços e limites na produção do conhecimento a respeito de um determinado tema de estudo. É este conhecimento do estado da arte que permite a identificação de problemáticas significativas para a pesquisa e a ampliação dos conhecimentos em um dado campo.

A terceira parte corresponde à metodologia utilizada no trabalho, explicitando todas as etapas e procedimentos metodológicos utilizados para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos da dissertação, obtendo os dados que compõem o capítulo seguinte.

A quarta parte refere-se à apresentação das cidades onde foram realizados os estudos, além da apresentação dos resultados obtidos por meio de simulações computacionais, expondo uma discussão dos resultados obtidos por meio de comparações com o modelo de referência.

A quinta parte apresenta uma análise resumida das simulações, agrupando todas as cidades simuladas e propondo um modelo simplificado para calcular o fluxo de ar em edificações dotadas de chaminés solares no Brasil.

A sexta parte apresenta as considerações finais, resultado da análise e discussão dos dados decorrentes das simulações computacionais realizadas, além de identificar as limitações encontradas no decorrer da pesquisa, apresentando sugestões para futuras pesquisas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresenta-se a revisão documental necessária para o desenvolvimento e embasamento teórico desta dissertação, como a contextualização da problemática que despertou a necessidade das investigações realizadas, a apresentação dos fenômenos físicos envolvidos no processo de ventilação natural induzida por chaminés solares e uma abordagem do dispositivo arquitetônico analisado, além de uma discussão acerca dos trabalhos relacionados com o tema desenvolvidos em várias partes do Mundo.

### 2.1 – CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES E CONFORTO AMBIENTAL

A definição de um edifício como “bioclimático” divide opiniões. O efeito estético causado pelo aprofundamento na consideração do clima como uma demanda de projeto nas edificações, é um constante alvo de discussões (LEÃO JR, 2008).

Hagan (2005) defende que uma arquitetura com caráter bioclimático deve considerar não somente as diferenças culturais de cada região, mas também as características climáticas do sítio, fortalecendo de forma ideológica a “batalha ambiental contra o consumismo”.

Bittencourt (2005) alerta que há uma leitura equivocada por parte de alguns profissionais da Construção Civil, que acreditam no bioclimatismo como uma “corrente” ou “estilo arquitetônico”, com uma linguagem peculiar ligada à arquitetura vernacular, porém as preocupações bioclimáticas devem estar presentes em toda corrente arquitetônica, contrariando o “estilo Internacional” adotado por alguns arquitetos. O grau de bioclimatismo dependerá da filosofia arquitetônica, bem como de aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais envolvidos em cada projeto.

Embora seja um tema discutido há mais de 30 anos, percebe-se ainda hoje que as atitudes no intuito de alcançar uma maior adequação climática para edificações tem sido realizadas de forma discreta. O uso intenso de materiais como aço e vidro após a revolução industrial, assim como o uso de equipamentos mecânicos de controle térmico, por exemplo, tem afastado as edificações deste equilíbrio,

levando a arquitetura a um processo de internacionalização, no qual diferentes regiões com os climas mais diversos apresentam edifícios com a mesma tipologia (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Edifícios com pele de vidro em regiões brasileiras com climas diferentes. (a) Mossoró, RN (b) Curitiba, PR (c) Maceió, AL

Fonte: (a) (c) arquivo do autor, 2008 (b) [www.arcoweb.com.br/arquitetura/fotos/726/ft2.jpg](http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/fotos/726/ft2.jpg), acesso em 21/03/2009

A adequação climática é mais uma demanda a ser atendida no projeto de edificações e que não deveria estar atrelada ao modismo. Porém, independente da interpretação acerca do bioclimatismo, o objetivo fundamental deve ser a busca pelo maior grau possível de sustentabilidade nas edificações, contribuindo assim com um meio ambiente mais equilibrado.

Uma “boa arquitetura” tem de preencher necessariamente muitos requisitos, uma aproximação sensível e consciente às questões energéticas é seguramente uma delas. Alguns edifícios, no entanto, assemelham-se mais a “máquinas energéticas” que a propriamente edifícios. “Forma, Função e Construção” – Estes são os três critérios regulares utilizados para avaliar a qualidade arquitetônica de um edifício (FREIXANET, 2004).

Não há necessidade da criação de um outro critério intitulado “Consumo de Energia” uma vez que este se encontra incorporado no critério “Função”. Os edifícios que apresentam deficiências no relacionamento com questões de consumo de energia, possuem invariavelmente falta de funcionalidade, sendo incapazes de responder favoravelmente às necessidades dos seus ocupantes.

Recentemente, foi aprovado no Brasil o Regulamento Técnico para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, objetivando reduzir o

consumo de energia nas edificações atuais e futuras. Assim como foi feito para os eletrodomésticos, ela estabelece a classificação do nível de eficiência energética de edifícios, através da análise de três principais sistemas: iluminação, condicionamento de ar e envoltória (INMETRO, 2009).

São inúmeras as variáveis que influenciam o comportamento energético de uma edificação, desde a sua forma, orientação, os materiais e equipamentos utilizados na busca por obter um valor satisfatório para os níveis de qualidade do ar interno, de conforto térmico e lumínico, até a disposição dos resíduos gerados durante a operação

Segundo a IEA<sup>2</sup> (2004, apud BARROS FILHO, 2005), o consumo mundial de energia cresceu 60% desde a primeira crise do petróleo, há mais de trinta anos. Este crescimento se refletiu especialmente no consumo de eletricidade, que aumentou cerca de 159%. O crescimento da produção advinda de combustíveis fósseis aumenta a emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), além de outras substâncias, na atmosfera, sendo que a média mundial per capita é de 3,89 toneladas de CO<sub>2</sub>, enquanto no Brasil a média é de 1,77 toneladas.

Enquanto no Brasil, a energia é gerada principalmente por fontes hidrelétricas (Figura 2.2), no panorama mundial esta geração se dá em maior parte oriunda de fontes não renováveis como a queima de carvão mineral (Figura 2.3). De acordo com dados do Lamberts et al (2004), 42% da energia gerada no Brasil são consumidas em edifícios, quer sejam residenciais, comerciais ou públicos. Sendo grande parte desta energia destinada a proporcionar ambientes mais confortáveis, através do uso de ar condicionado e sistemas de iluminação artificial.

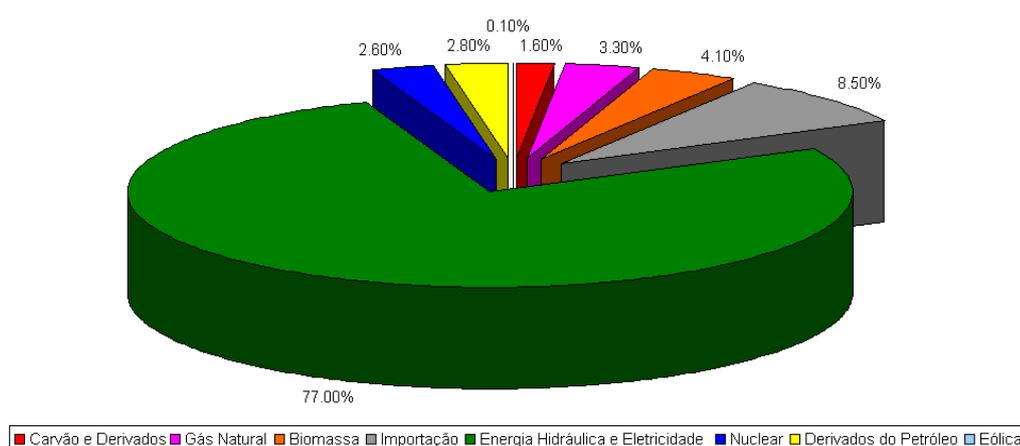


Figura 2.2 - Estudo da oferta interna de energia elétrica no Brasil, em 2007.  
Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), 2008.

<sup>2</sup> IEA – International Energy Agency

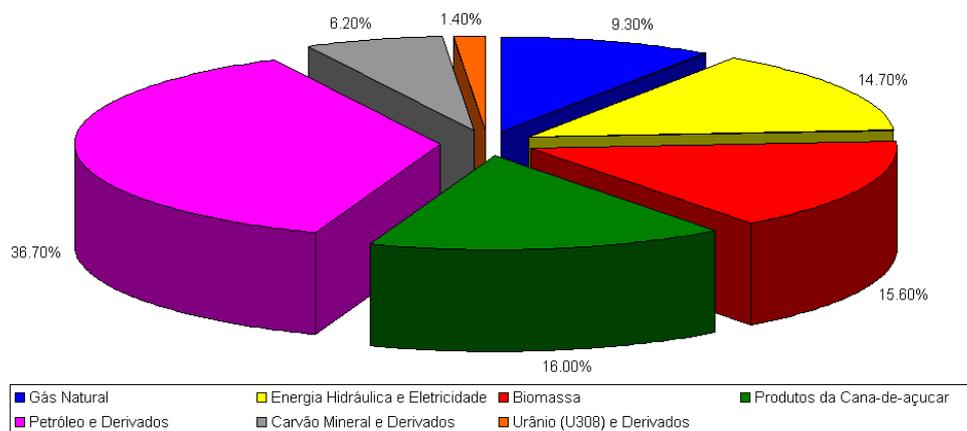


Figura 2.3 – Estudo da oferta de energia elétrica no Mundo, em 2007.

Fonte: BEN (Balanço Energético Nacional), 2008.

A população brasileira foi surpreendida no ano de 2001 com a notícia do “apagão”. Esta crise energética intensificou a preocupação com a eficiência energética e difundiu sua relevância na sociedade, que demonstrou um grande potencial de conservação no período em que foi implantado um plano de racionamento. O alerta demonstrou ainda a falta de planejamento no setor (BARROS FILHO, 2005).

Esta crise também despertou e mobilizou a sociedade para uma mudança de atitude no uso da energia elétrica. As empresas concessionárias implantaram ou intensificaram programas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

Segundo a IEA (2007), 81% da atual oferta energética mundial, estimada em 11.435 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, é baseada nos combustíveis fósseis. As mudanças climáticas decorrentes das emissões dos gases de efeito estufa apontam uma crise ambiental sem precedentes em escala planetária.

Há que se repensar toda a estratégia de crescimento e intercâmbio até hoje utilizada com a Natureza. Para isso, é preciso estabelecer os contornos do problema do aquecimento global e atuar no sentido de controlá-lo e, em alguns casos, fazê-lo regredir para valores aceitáveis, tendo em vista o equilíbrio do sistema dinâmico Homem - Natureza.

## 2.2 – CHAMINÉ SOLAR

A busca por edificações adaptadas ao clima local, passa pela investigação do desempenho ambiental de diversos componentes arquitetônicos, entre eles as chaminés solares, cujo potencial de aplicação é ainda pouco explorado no Brasil. Este sistema consiste em uma chaminé, similar a uma chaminé comum, diferenciando-se pela presença de um coletor que aproveita a energia solar para geração de energia mecânica, a partir de seu aquecimento, promovendo um escoamento de ar quente através da combinação do efeito estufa e do efeito de ventilação chaminé promovido pela torre central do sistema, em que o aquecimento do ar na chaminé faz com que este se eleve para o exterior da edificação, criando um movimento de ar no interior da mesma, devido à sua substituição pelo ar mais frio do exterior.

As chaminés tem sido utilizadas desde muitos séculos para o aproveitamento da ventilação em arquitetura (Figura 2.4). A partir do início do século XX entretanto, a crescente disponibilidade de energia elétrica foi provocando a gradativa substituição desses sistemas por equipamentos eletromecânicos de condicionamento do ar. Como consequência, em contraste com o notável desenvolvimento dos equipamentos mecânicos de ventilação, as pesquisas acadêmicas sobre os sistemas passivos ficou praticamente estagnada durante décadas, só sendo retomada por efeito da crise energética das décadas de 1970 e 1980 (CHEN et al, 2003).

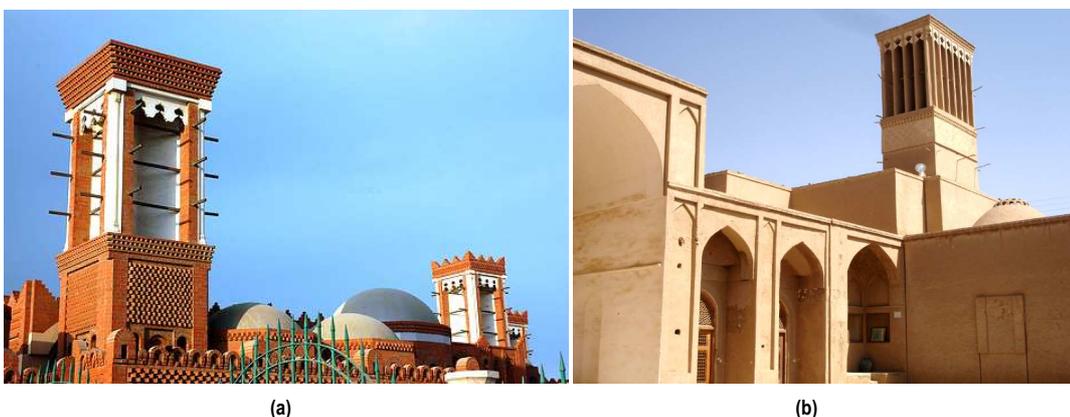


Figura 2.4 – Torres de vento na Arquitetura Oriental.

Fonte: (a) [http://www.trekearth.com/gallery/Middle\\_East/Qatar/South/Ad\\_Dawhah/Doha/photo617290.htm](http://www.trekearth.com/gallery/Middle_East/Qatar/South/Ad_Dawhah/Doha/photo617290.htm)

(b) <http://travel.webshots.com/photo/1487924681077978848QLOLlx>

Chaminés solares são aquelas que aproveitam a energia do sol para incrementar as diferenças de pressão entre diferentes pontos do percurso de ar e, por consequência, otimizar os fluxos de ventilação natural. Convertendo a energia térmica em energia cinética do movimento de ar, as chaminés solares têm

inúmeras aplicações, entre as quais se destacam a ventilação, o aquecimento ou o resfriamento solar passivo de edificações, secagem de produtos, ou mesmo geração de eletricidade (CHEN et al., 2003).

Uma chaminé convencional opera apenas sob condição de convecção natural, quando a temperatura do ar no interior da chaminé é maior que a temperatura do ar exterior. O fluxo de ar depende da diferença de densidade entre o ar dentro e fora da chaminé. A chaminé solar possui uma ou mais paredes envidraçadas. Estas superfícies estão expostas à radiação solar e a superfície interna da chaminé também absorve energia solar e aquece o ar dentro dela. O conceito de chaminé solar é semelhante ao de uma parede Trombe<sup>3</sup>. A parede Trombe utiliza um lado do vidro vertical da parede de um edifício para absorver e recircular o ar quente para aquecimento ou resfriamento do edifício. A chaminé solar é projetada para fornecer ventilação do edifício e está localizada na parte superior da edificação (ONG, 2003).

A Figura 2.5 apresenta um exemplo de chaminé convencional e outro de chaminé solar, construídas na cidade de São Carlos – SP.



Figura 2.5 – Chaminé convencional (vertical) e chaminé solar (inclinada) localizadas na cidade de São Carlos – SP

Fonte: Arquivo do autor, 2009

Para entender o funcionamento de uma chaminé solar, Ong (2003) elaborou um diagrama ilustrando os ganhos e as perdas de calor no processo de funcionamento de uma chaminé solar. Inicialmente o vidro é aquecido pela radiação solar (direta e difusa) ao mesmo tempo que perde calor por convecção com o ar exterior e reflete parte desta radiação para o ambiente externo. Em seguida, a placa absorvedora também será aquecida por radiação solar e por radiação emitida pelo vidro, ocasionando o

<sup>3</sup> Parede orientada ao sol, preferencialmente ao norte no hemisfério sul e ao sul no hemisfério norte construída com materiais que possam acumular calor pelo efeito de massa térmica, combinado com um espaço de ar, uma lâmina de vidro e ventilação formando um coletor solar térmico.

efeito estufa no interior da chaminé, este fenômeno irá aquecer o fluido que se tornará menos denso, facilitando o efeito chaminé no interior deste dispositivo, conforme apresentado na Figura 2.6.

**Nomeclatura:**

$h_{\text{céu}}$	Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o céu e o vidro
$h_{\text{placa}}$	Coeficiente de perda de calor por convecção da placa
$h_{\text{vidro}}$	Coeficiente de perda de calor por convecção do vidro
$h_{\text{vidro/placa}}$	Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vidro e a placa absorvedora
$S_1$	Quantidade de Calor absorvida pelo vidro por radiação
$S_2$	Quantidade de Calor absorvida pela placa por radiação
$T_{\text{ar}}$	Temperatura do ar
$T_{\text{céu}}$	Temperatura do céu
$T_{\text{fluido}}$	Temperatura do fluido (vento)
$T_{\text{placa}}$	Temperatura da placa absorvedora
$T_{\text{vidro}}$	Temperatura do vidro

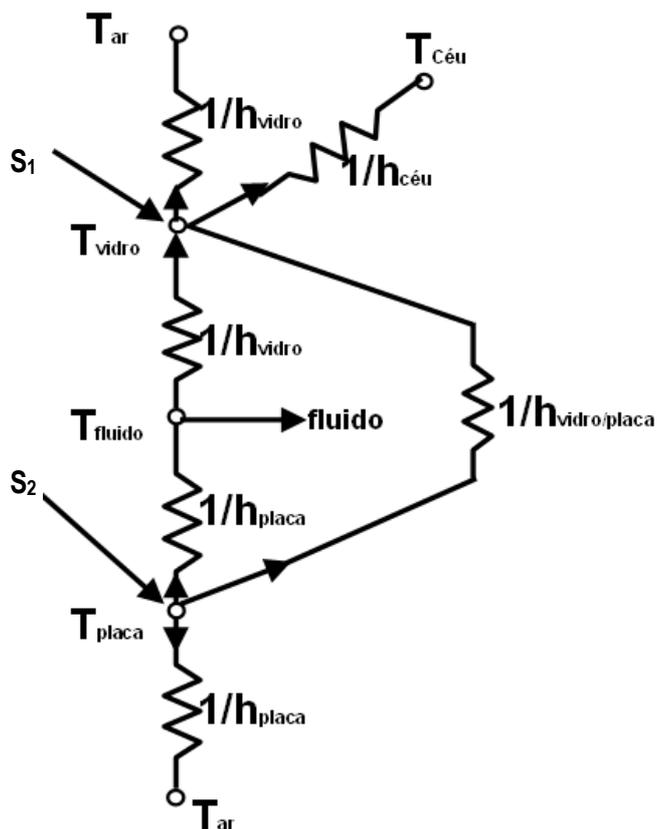


Figura 2.6 – Funcionamento de uma chaminé solar

Fonte: Adaptado de Ong, 2003

A velocidade com que o ar percorre os ambientes dotados com este dispositivo depende da força de empuxo existente na chaminé, (isto é, depende da diferença de temperatura obtida a partir deste aquecimento), da resistência ao fluxo através da chaminé, bem como da resistência à entrada de ar fresco para o ambiente interno (HERRIS and HELWIG, 2007). A Figura 2.7 ilustra o funcionamento básico de uma chaminé solar.

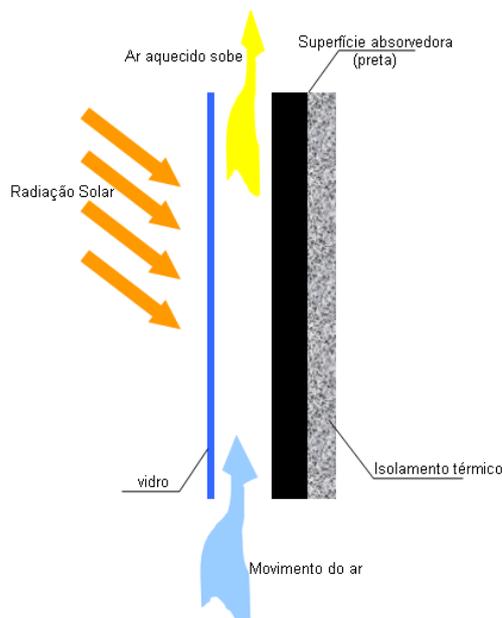


Figura 2.7 – Funcionamento básico de uma chaminé solar

Fonte: Adaptado de HERRIS and HELWIG, 2007

Para as chaminés solares, o coletor deve estar isolado, evitando assim as perdas de calor por convecção para o ar exterior. No caso das chaminés que possuam alguma face em contato com a edificação, também deve haver um isolamento térmico entre as faces da chaminé e as faces da edificação, reduzindo as perdas de calor por condução para o ambiente interno.

A inclinação das placas coletoras, que deve considerar a latitude do lugar e a época do ano, bem como a altura da saída do ar quente, são fatores determinantes para a eficiência das chaminés solares, pois à medida em que aumenta a temperatura, aumenta a velocidade do ar no interior da chaminé solar. Este fato se dá de forma mais otimizada quando os raios solares incidem perpendicularmente na placa coletora.

Conforme apresentado na Figura 2.8, pode-se observar a concentração maior de energia recebida pela placa de vidro quando há incidência perpendicular dos raios solares, ocorrendo um maior aproveitamento desta energia em uma mesma área.

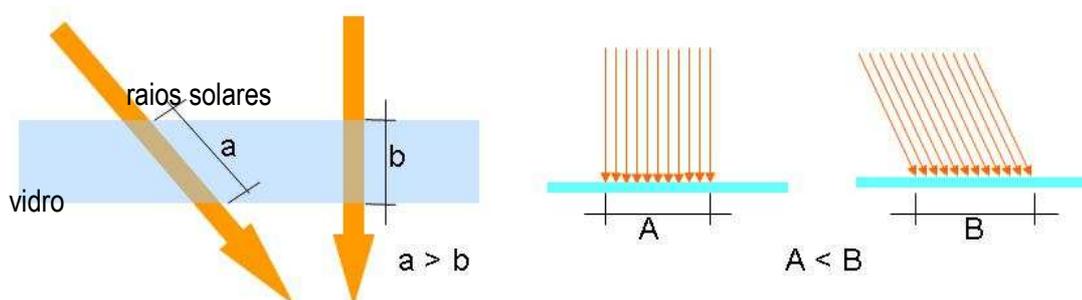


Figura 2.8 - Esquema da Incidência dos raios solares no coletor solar

Para edificações localizadas próximas à linha do Equador, com baixas latitudes, o coletor horizontal (inclinação nula) recebe ao longo de um ano mais radiação solar que um coletor inclinado. Porém, na medida em que se afasta da linha do equador esta situação se inverte, pois o ângulo de incidência da radiação solar varia de acordo com a latitude, hora e dia do ano. As Figuras 2.9 e 2.10 apresentam os esquemas dos dois tipos de chaminé solar, vertical e inclinada.

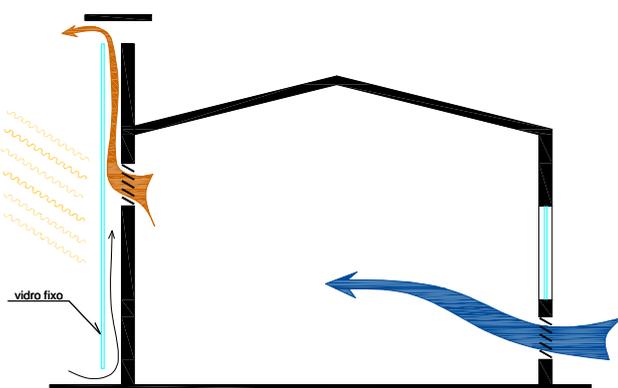


Figura 2.9 – Exemplo de chaminé solar vertical

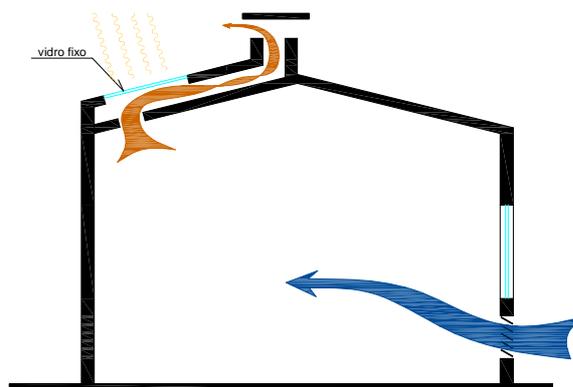


Figura 2.10 – Exemplo de chaminé solar inclinada

## 2.3 – VENTILAÇÃO NATURAL

Ventilação natural é o processo de fornecimento e remoção do ar em um ambiente fechado, sem que haja incremento de energia ao escoamento por fontes mecânicas. Seu objetivo principal é controlar a pureza do ar e em algumas situações, auxiliar no controle da temperatura e umidade do ambiente.

A ventilação natural regula o clima interno de uma edificação por meio de trocas de ar através das aberturas. As forças motrizes naturais geram o efeito chaminé, que tem sua origem na diferença de temperatura entre o ar externo e o ar no interior do ambiente construído e pelas diferenças de pressão

ocasionadas pela ação do vento. Uma circulação natural de ar adequada dentro do ambiente construído, além de auxiliar na diminuição da sensação térmica, contribui para a renovação do ar interno (remoção dos poluentes) que dependendo do perfil de ocupação do ambiente, pode afetar a produtividade dos ocupantes além de ser prejudicial à saúde (MAZON, et al, 2006).

A ventilação natural é uma importante estratégia de projeto, pois consiste no escoamento do ar através dos ambientes, melhorando assim a sensação de conforto e a qualidade do ar deste ambiente (SILVANI, 2005), além de reduzir a necessidade de mecanismos de climatização, tornando-se também uma estratégia importante para redução dos custos operacionais de edifícios com poucos recursos financeiros destinados à sua manutenção (BAKER, 1987).

Segundo Givoni (1998), a ventilação no interior das edificações possui três funções que requerem diferentes níveis de fluxo de ar através da edificação:

- Manutenção da qualidade do ar através de sua renovação constante. Essa função da ventilação serve a todos os climas, mas é essencial em climas frios.
- Resfriamento noturno da massa construída durante a noite e utilização desse resfriamento para a manutenção da temperatura interna diurna abaixo da externa. Essa função é conhecida como “resfriamento noturno” e é mais adequada para climas áridos que têm grandes amplitudes térmicas diárias.
- Proporcionar o conforto térmico em climas quentes, por meio do aumento da perda de calor corporal por convecção, através do aumento da velocidade do ar. Essa função, conhecida como “ventilação de conforto”, é a mais indicada para climas quentes e úmidos como forma de garantir o conforto térmico.

De acordo com Bittencourt (1993), existem diversas variáveis arquitetônicas que interferem nas condições de ventilação interna, podendo ser destacadas as seguintes:

- Orientação do edifício, em especial das aberturas, em relação aos ventos dominantes;
- Dimensão e localização das aberturas de entrada e saída do ar;
- Tipo e configuração das aberturas usadas;
- Localização de elementos arquitetônicos próximos às aberturas, tanto externa, como internamente, que direcionem o fluxo de ar, tais como marquises, brises ou divisórias.

Diversos estudos estão sendo realizados no intuito de perceber a influencia destas variáveis no comportamento da ventilação natural, onde é necessário considerar os diferentes padrões de distribuição das pressões nas superfícies dos edifícios (MOESEKE et al, 2005).

Segundo Toledo (1999), a ação dos ventos em uma edificação, dá origem em suas superfícies externas à zonas de subpressão e sobrepressão, ou seja, pressões menores ou maiores do que a pressão do ar na zona a barlavento não afetada pela presença da edificação conforme é possível observar na Figura 2.11. A pressão interna provocada pelo vento depende da distribuição e da intensidade das pressões ou sucções externas e das áreas e localizações das aberturas.

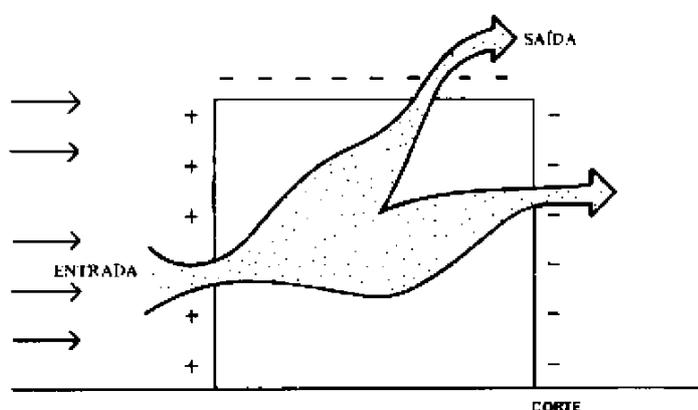


Figura 2.11 – Ventilação por ação dos ventos

Fonte: Frota e Schiffer, 2001

Ao incidir sobre uma edificação, o vento provoca sobrepressões ou subpressões, que são apresentadas em forma de tabelas na NBR-6123, assim como em normas estrangeiras, e dependem exclusivamente da forma e da proporção da construção, da incidência dos ventos e da localização das aberturas (ABNT, 1988).

A distribuição das pressões nas faces do edifício é um dado fundamental no estudo da ventilação natural, para os que se propõem a estudar este tema não há como se omitir desta análise. Porém, sabe-se que a teoria da distribuição de pressão é de difícil aplicação em edifícios com forma ou distribuição interior complexas, pois, para estes casos, a distribuição da pressão nas faces do edifício e o escoamento interno são difíceis de serem observados ou estimados (TOLEDO et al, 2005).

Toda edificação deve possuir aberturas, sendo que sua localização e tamanho determinam os coeficientes internos de pressão. A NBR-6123, no seu anexo D, apresenta os detalhes necessários para determinação do coeficiente de pressão interna. Se a edificação for totalmente impermeável ao ar, a pressão no interior da mesma será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente de ar

externa. Portanto, o coeficiente de pressão interna depende da permeabilidade da edificação, o índice de permeabilidade de uma parte da edificação é definido pela relação entre a área das aberturas e a área total desta parte. São considerados impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido, paredes de alvenaria, de pedra, tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas. Os demais elementos construtivos são considerados permeáveis. A permeabilidade deve-se à presença de aberturas tais como: juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telha e telhados, vão abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc (ABNT, 1988).

Define-se Coeficiente de Pressão ( $C_p$ ), como o quociente adimensional da pressão dinâmica medida em um ponto  $x$  na parede do modelo ( $P_x$ ) pela pressão dinâmica do fluxo de ar (vento) não perturbado ( $P_d$ ):

$$C_p = P_x / P_d \quad (\text{Eq. 01})$$

A pressão dinâmica do fluxo não perturbado é a força por unidade de área exercida pelo vento em um plano ortogonal ao sentido do escoamento.

Define-se a pressão dinâmica do fluxo não perturbado como:

$$P_d = \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Eq.02})$$

Onde:

$P_d$  - pressão dinâmica do fluxo (Pa)

$v$  - velocidade do fluxo (m/s)

$\rho$  - massa específica do ar ( $\text{kg/m}^3$ )

A NBR-6123 na sua forma atual é de pouca utilidade para os estudos em ventilação natural. No que refere-se aos dados de vento, a Norma traz apenas valores máximos de intensidade e recomenda que a verificação dos esforços devidos aos ventos seja feita para todas as direções. Com relação aos dados de coeficientes de pressão, eles são fornecidos apenas para algumas formas simples (paralelepípedos, cilindros, e afins) e apenas valores médios para cada uma das faces. Vê-se que a concepção da Norma NBR-6123 é pautada pela necessidade de determinar situações extremas às quais o edifício deve resistir, enquanto nos estudos de ventilação natural busca-se determinar a vazão em situações cotidianas, para as quais a norma infelizmente fornece poucos subsídios (CÓSTOLA, 2006).

As medidas da velocidade e direção do vento são feitas em áreas desimpedidas, a dez metros de altura, e são, em geral, totalizadas a cada hora. A rigor estes dados são válidos somente para o local de

leitura e seu tratamento estatístico permite uma previsão da freqüência de ocorrência da direção e velocidade do vento. O vento em contato com uma superfície está sujeito aos efeitos da fricção. O incremento da velocidade do vento ao longo de um eixo vertical varia de zero, na superfície terrestre, até uma velocidade igual à do fluxo livre de obstruções, gerando um gradiente de vento.

O cálculo do gradiente de vento engloba os coeficientes de rugosidade do terreno, os dados da velocidade do vento medidos em estação meteorológica e a altura das aberturas, conforme mostra a Figura 2.12.

Coeficientes do terreno	k	a	$\frac{V}{V_m} = k \times z^a \quad \text{(Eq. 03)}$ <p><b>Onde:</b>  <i>V</i> = velocidade média do vento na altura da abertura da entrada do ar (m/s)  <i>V<sub>m</sub></i> = velocidade média do vento na estação meteorológica  <i>z</i> = altura da abertura  <i>k</i>, <i>a</i> = coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno.</p>
Área aberta plana	0,68	0,17	
Campo com obstáculos esparsos	0,52	0,20	
Área suburbana	0,35	0,25	
Centro de cidade	0,21	0,33	

Figura 2.12 - Coeficientes de correção e fórmula para o cálculo do gradiente do vento

Fonte: JACKMAN, 1980 apud BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005

A velocidade do ar considerada como a máxima aceitável em ambientes internos pode variar entre 0.5 e 2.5 m/s (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005). Este limite máximo é baseado em problemas práticos, como a suspensão de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados pela ação da ventilação, ao invés de exigências fisiológicas de conforto.

A geometria da abertura e sua interação com o escoamento são determinantes para o cálculo da vazão da ventilação natural por ação dos ventos. Da energia que atinge a abertura, uma parte é dissipada e uma parte é utilizada para promover a ventilação. Assim, a parcela útil varia entre 100% da energia (ou seja, não há perdas) e quase 0% da energia (por exemplo, no caso de uma abertura dotada de telas protetoras). Chama-se coeficiente de descarga (Cd) da abertura o valor entre 1 e 0 que fornece a parcela útil da energia para a ventilação (CÓSTOLA, 2006).

O coeficiente de descarga (Cd) é a razão entre a velocidade máxima (ideal) e a velocidade teórica (real) do fluido. O Coeficiente de Descarga (Cd) reflete as perdas de carga devidas ao atrito, que dependem principalmente do tipo de abertura adotado na edificação. A Figura 2.13 indica alguns valores típicos.

Tipo de abertura	Cd
Veneziana com 50% de área livre	0.40
Basculante com chapas a 60°	0.58
Abertura com bordas vivas	0.62
Abertura com bordas arredondadas	0.85

Figura 2.13: Coeficientes de Descarga para Aberturas Usuais em Edificações

Fonte: Clezar e Nogueira, 1999

### 2.3.1 – VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ

Bower (1995) afirma que o efeito chaminé é o resultado do fenômeno em que o ar mais quente sobe, gerando diferentes pressões internas e provocando a movimentação do ar, pois, ao receber calor, as moléculas de ar vibram mais intensamente e afastam-se umas das outras, resultando em menos moléculas por metro cúbico. Havendo menos moléculas neste volume, ele estará mais leve que outro volume igual com ar menos aquecido. Portanto, pela diferença de peso, o ar aquecido sobe além do ar fresco.

Quando não há vento, o efeito chaminé torna-se o único responsável pela renovação do ar nas edificações e representa a situação mais simples da ventilação natural. Se há incidência de vento, esta ação deve ser conjugada ao efeito chaminé, de forma que seus efeitos se somem, resultando numa ventilação natural mais eficiente. Para que isto ocorra, é fundamental que ambos os fluxos tenham o mesmo sentido. (TOLEDO, 1999).

Este efeito baseia-se na diferença de temperatura e conseqüentemente, de densidade entre o ar interno e o ar externo, esta diferença produz gradientes de pressão com diferentes declividades na parte interna e externa da edificação, conforme apresentado na Figura 2.14.

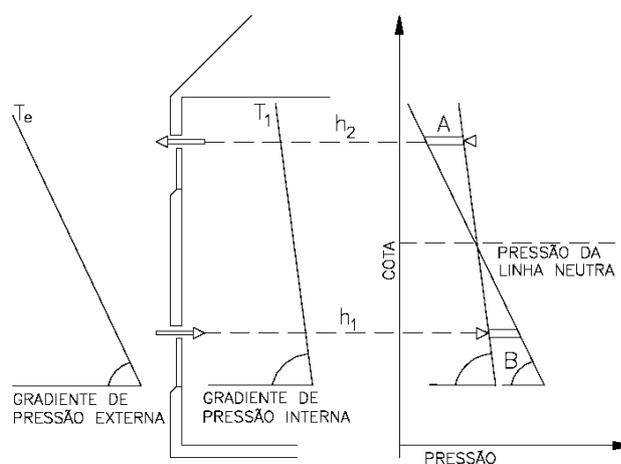


Figura 2.14 – Passagem do ar através de duas aberturas verticais

Fonte: (SILVANI, 2005)

Esta diferença de pressão que provoca o movimento do ar através das aberturas da edificação, do exterior para o interior da edificação e vice-versa, é ocasionada pela diferença de peso entre colunas de ar de mesma altura, mas com temperaturas diferentes (Figura 2.15a). A posição destas aberturas para ventilação natural determina a distribuição da temperatura no ambiente interno. Se as duas aberturas estiverem livres, uma localizada na parte mais alta da edificação e a outra na parte mais baixa, o ar frio fluirá para o interior do edifício, através da abertura inferior, e o ar quente fluirá para o exterior da edificação, através da abertura superior, como mostrado na Figura 2.15b. Esse tipo de ventilação, chamado de ventilação de deslocamento, cria uma estratificação da temperatura dentro do ambiente. Embora tenha um efeito muito mais forte para edificações com duas aberturas, uma superior e outra inferior, a ventilação de deslocamento pode também ocorrer em edifícios com uma única abertura, como mostrado na Figura 2.15c. Nesse caso, a abertura serve, tanto como uma entrada, quanto como uma saída de ar. Comparada com a configuração de duas aberturas, a presença de apenas uma abertura proporciona taxas de ventilação menores e o ar ventilado não penetra o espaço interno em grande profundidade. Um fluxo de ar mais intenso será induzido quando houver uma grande separação vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar e quando há uma grande diferença entre temperaturas internas e externas. A pressão interna mais elevada na abertura superior dirige o fluxo de ar para o exterior e a pressão interna mais baixa na abertura inferior facilita a entrada do ar exterior, que substitui o ar quente que saiu. Esse fluxo dirigido pelo empuxo térmico, que é conhecido por efeito chaminé (HEISELBERG et al., 2001; ALLOCCA et al., 2003; MAZON et al, 2006).

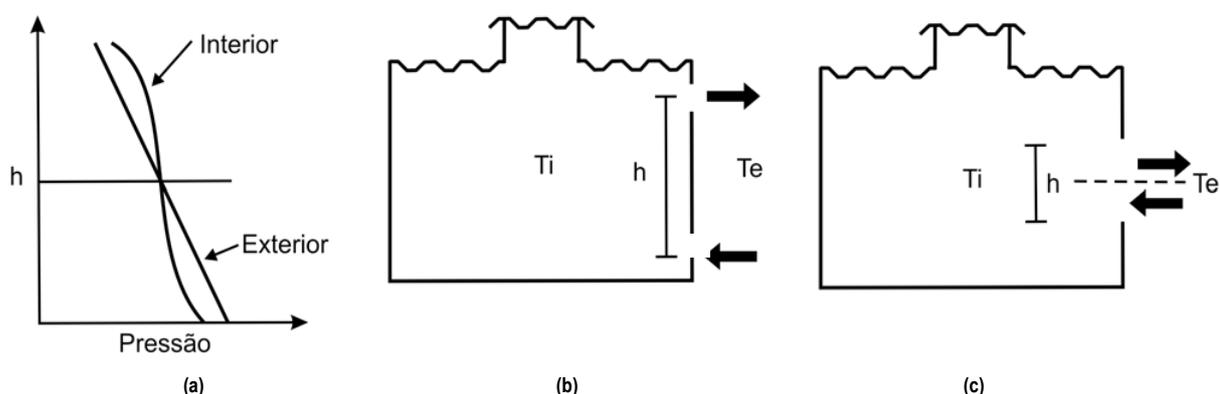


Figura 2.15 – (a) Distribuição da pressão interna e externa para o fluxo devido ao efeito chaminé. (b) fluxo através de uma abertura inferior e outra superior. (c) fluxo através de uma única abertura.

Fonte: MAZON, 2005.

A Figura 2.16 apresenta um sistema de resfriamento para uma habitação no Iraque, contendo uma chaminé conectada a um poço de água que por sua vez está aberto para o ambiente interno da edificação. Este sistema funciona da seguinte forma: uma abertura na parede superior da chaminé recebe o ar e o direciona ao poço de água, o ar esfria (por refrigeração evaporativa) e conseqüentemente esfria o ambiente interno, este ciclo encerra-se com a saída do ar quente na parte superior de uma das paredes da edificação.

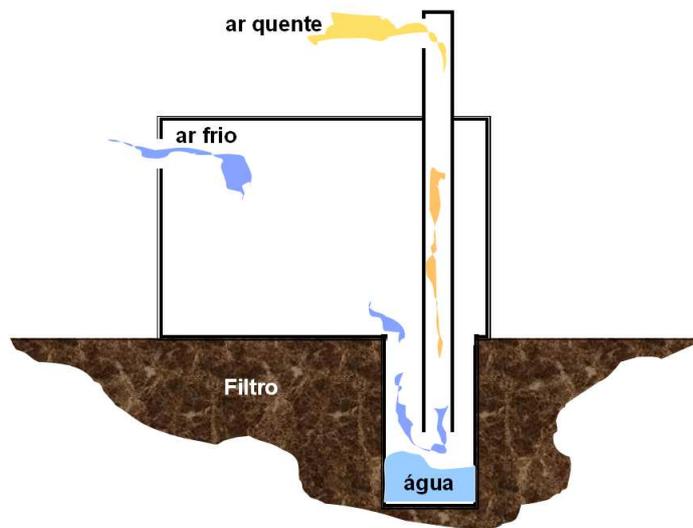


Figura 2.16 – Sistema de Chaminé em uma edificação no Iraque.

Fonte: Gonzalez, et al (1986)

As intensidades da ventilação provocada pelo efeito chaminé dependem das relações entre diversos fatores, e podem ser determinadas a partir de dados de pressão, obtidos experimentalmente em túnel de vento, ou estimadas por modelos teóricos. Segundo a Ashrae (2001), a vazão causada pelo efeito chaminé é dada pela equação que segue:

$$Q = C_d \cdot A \left[ \frac{2g \cdot \Delta H_{NPN}(T_i - T_e)}{T_i} \right]^{1/2} \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

Q = vazão de ar (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>d</sub> = coeficiente de descarga das aberturas (adimensional)

A = área da abertura de entrada, suposta igual à de saída (m<sup>2</sup>)

g = aceleração da gravidade (9.81 m/s<sup>2</sup>)

ΔH<sub>NPN</sub> = diferença de altura entre o ponto médio da abertura superior e o nível de pressão neutra (NPN, em m)

T<sub>i</sub> = temperatura do ar interno (K)

T<sub>e</sub> = temperatura do ar externo (K)

A equação 4 é aplicável para temperaturas internas maiores que as externas. Em caso contrário ( $T_i < T_e$ ), substituir  $T_i$  por  $T_e$  no denominador e inverter o numerador, que passa a ser  $T_e - T_i$ .

O nível de pressão neutra (NPN) corresponde à altura em que se igualam as pressões internas e externas. Sendo iguais as áreas de aberturas de entrada (abertura baixa) e de saída (abertura alta), este nível se situa a meia-altura entre os centros daquelas aberturas. Em outras situações, a identificação do NPN dependerá da análise da distribuição das pressões.

## 2.4 – O SOL

### 2.4.1 – RADIAÇÃO SOLAR

A radiação é um processo em que a energia calorífica é transferida entre corpos com diferentes temperaturas, sendo este fenômeno a principal forma de transmissão de calor entre o Sol e a Terra. Todo corpo aquecido emite ondas eletromagnéticas, que viajam através do vácuo. A energia radiante que provém do sol, é denominada de radiação solar e é a principal fonte para as trocas térmicas por radiação nas edificações (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A radiação solar é um tipo de energia transmitida através do espaço, sem necessidade de meio de suporte para isso. A luz visível e o calor são as formas mais facilmente observadas e sentidas de radiação, porém, ela pode ser encontrada em muitas outras formas, conforme se observa na Figura 2.17, que representa o espectro eletromagnético<sup>4</sup>.

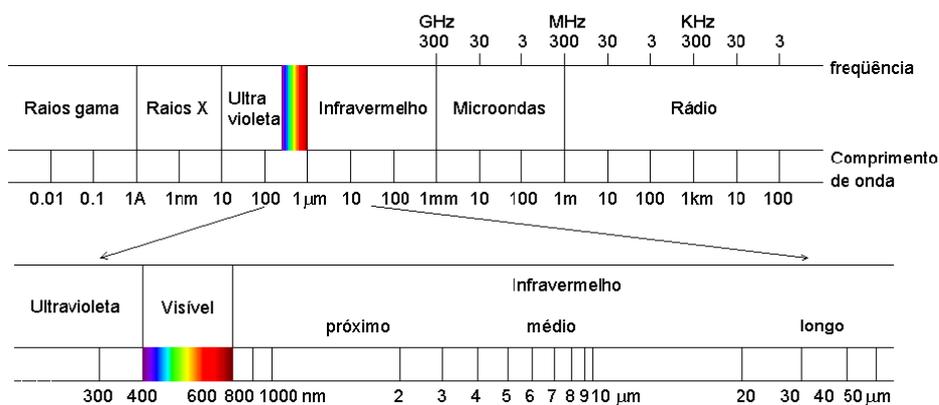


Figura 2.17 – Espectro Eletromagnético

<sup>4</sup> Espectro eletromagnético é o intervalo completo da radiação eletromagnética, que contém desde as ondas de rádio, as microondas, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X, até aos radiação gama.

Pode-se observar na Figura 2.18 que devido à sua localização predominantemente tropical, o Brasil possui um grande potencial para o uso de recursos da energia solar em todo o seu território. A média de radiação solar no território brasileiro (5 kW.h /m<sup>2</sup>.dia) (MARTINS et al, 2005), é praticamente igual ao valor máximo de irradiação observado no continente europeu, que é de aproximadamente 5,5 kW.h /m<sup>2</sup>.dia (HELIOCLIM, 2004), onde ocorre um grande investimento tanto governamental como de iniciativa privada no aproveitamento da energia solar.

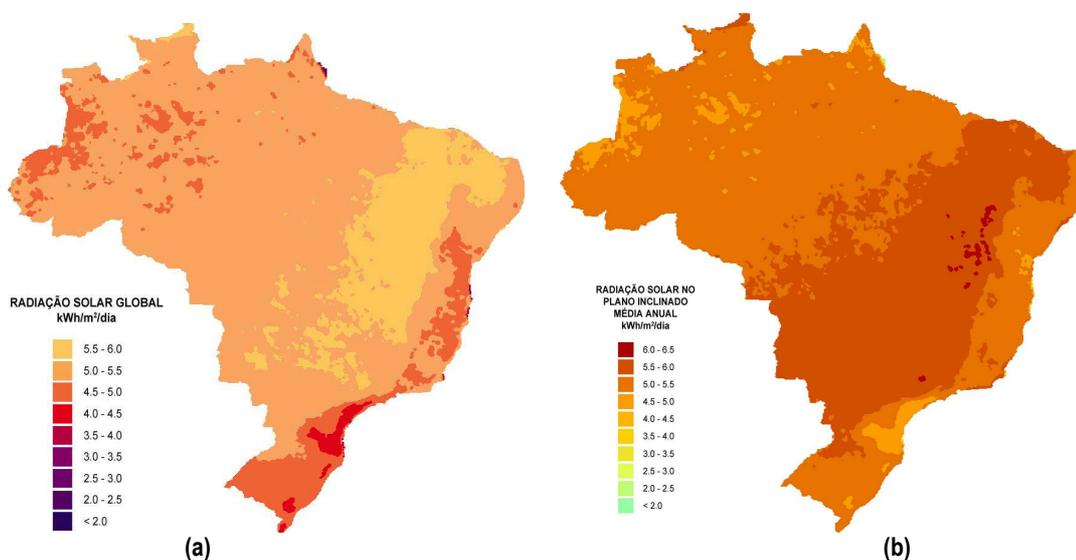


Figura 2.18 – Mapas de irradiação solar média anual para o território brasileiro obtidos com o uso do modelo BRASIL-SR a partir de dados climatológicos e imagens de satélite GOES-8 para o ano de 2000: (a) irradiação global para o plano horizontal, (b) irradiação global em plano inclinado em ângulo igual à latitude local.

Fonte: Martins, et al 2005

Uma forma de aproveitar esta irradiação em edificações é com a utilização de chaminés solares. Este sistema funciona a partir da captação da energia solar através de elementos translúcidos ou transparentes, como o vidro, gerando o efeito estufa no interior da chaminé. Este efeito estufa provoca um aumento das diferenças de pressão e temperatura do ar no interior destes elementos. A Radiação solar passa pelo vidro e é absorvida pela superfície da parede da chaminé, que deve ser absorvedora, se tornando o principal elemento de transferência de calor para o ar, que é aquecido por convecção com a placa aquecida. Deste modo, ocorre uma diminuição na densidade do ar, o que provoca sua elevação (NUGROHO et al, 2006).

### 2.4.2 – RADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO

Para estimar a radiação global e a radiação difusa em um plano inclinado, voltado para o sol (ângulo azimutal  $\gamma = 180^\circ$ ) são necessárias algumas definições:

Fator geométrico ( $R_b$ ) é a razão entre a radiação solar direta sobre uma superfície inclinada e a radiação solar direta sobre um plano horizontal. De acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e citado por Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul, deve ser aplicada a seguinte equação:

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde:

$\beta$  – Ângulo de Inclinação da Superfície;

$\Phi$  – Latitude;

$\delta$  – Declinação;

$\omega_s$  - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície horizontal;

$\omega'_s$  - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície inclinada.

O ângulo horário do pôr-do-sol ajustado para a superfície inclinada, segundo Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul, pode ser calculado por:

$$\omega'_s = \min \left[ \begin{array}{l} \text{arc cos}(-\text{tg } \phi \text{ tg } \delta) \\ \text{arc cos}(-\text{tg } (\phi + \beta) \text{ tg } \delta) \end{array} \right] \quad (\text{Eq. 06})$$

Atualmente, para determinar a radiação solar global incidente em um plano inclinado qualquer, parte-se do princípio que esta é composta por três componentes: radiação direta, radiação difusa e a contribuição do albedo<sup>5</sup>. Este procedimento foi desenvolvido por Liu & Jordan (1963) (apud DUFFIE & BECKMAN, 1980) a fim de encontrar curvas para estimar a radiação solar em qualquer latitude e qualquer

<sup>5</sup> Albedo é a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície, sendo calculado como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade de radiação recebida. Em termos geográficos, o albedo representa a relação entre a quantidade de luz refletida pela superfície terrestre e a quantidade de luz recebida do Sol. Esta relação varia fortemente com o tipo de materiais existentes à superfície: por exemplo, em regiões cobertas por neve, o albedo ultrapassa os 80%, enquanto num solo escuro, não vai além dos 10%. Na sua globalidade, o albedo médio da Terra é de cerca de 37%. O albedo varia também com a inclinação dos raios solares - quanto maior essa inclinação, maior será o albedo.

ângulo de inclinação de coletores solares voltados para o norte. A base de seu trabalho foram os dados coletados em 80 localidades dos Estados Unidos e do Canadá.

De acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e aperfeiçoado por Klein (1977), o cálculo da radiação solar global em um plano inclinado, apresentado em Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul é resultante da equação:

$$H_{\beta} = H \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + H_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{Eq. 07})$$

onde:

$\beta$  – Angulo de inclinação da superfície;

H - radiação solar global em uma superfície horizontal (W/m<sup>2</sup>);

H<sub>d</sub> - radiação solar difusa em uma superfície horizontal (W/m<sup>2</sup>);

R<sub>b</sub> – Fator Geométrico;

$\rho$  - albedo.

### 2.4.3 – TRAJETÓRIA SOLAR

O estudo das trajetórias relativas entre o Sol e a Terra é fundamental para identificar a melhor posição do edifício em relação ao sol durante o ano, conhecer a penetração da radiação solar direta por uma abertura, além de visualizar as sombras produzidas por um edifício e as máscaras de sombra projetadas no céu por um objeto. A partir do estudo da geometria solar é possível orientar uma edificação, minimizando a carga térmica nas fachadas e nas aberturas (BITTENCOURT, 2004).

O eixo de inclinação da Terra é de 23° 27' em relação à eclíptica (Figura 2.19). Esta inclinação faz com que cada hemisfério receba quantidades de energia diferentes, dependendo da posição em que a Terra se encontra. O movimento de translação da Terra, associado a essa inclinação, que determina as estações do ano: primavera, verão, outono e inverno, esta inclinação define as linhas dos trópicos e promove diferenças climáticas entre as estações do ano (FROTA & SCHIFFER, 2001).

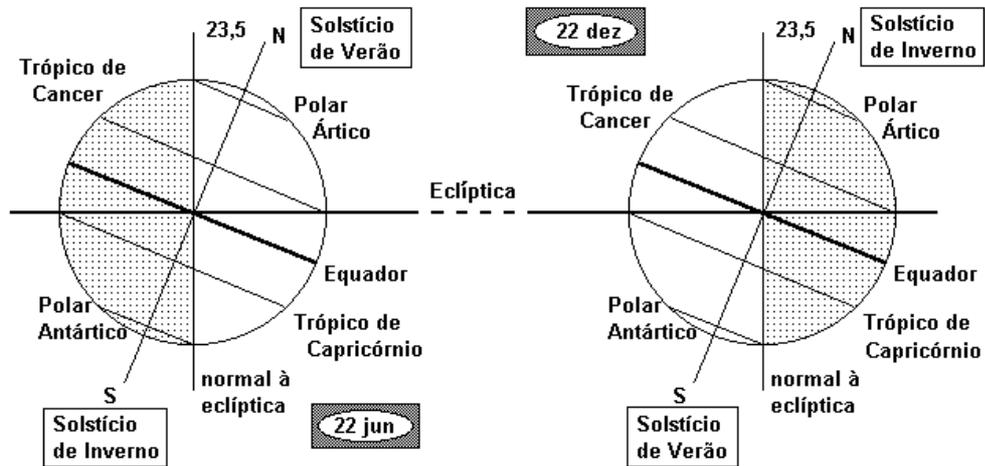


Figura 2.19 – Inclinação da terra em relação ao plano elíptico da trajetória do movimento de translação

Fonte: Adaptado de Rivero, 1986

Em decorrência da grande distância entre o sol e a Terra, seus raios podem ser estudados como paralelos ao atingir a superfície terrestre. O ângulo formado entre a direção destes raios e o plano do Equador é chamado declinação do Sol ( $\delta$ ). Esse ângulo varia ao longo do ano e é definido como positivo para o hemisfério norte e negativo para o hemisfério sul. Nos dias de equinócio (21 de março e 23 de setembro) a declinação é zero, ou seja, o Sol está no mesmo plano do Equador. Nas outras épocas do ano esse ângulo varia entre os valores limites de  $+23^{\circ}27'$  (22 de junho) e  $-23^{\circ}27'$  (22 de dezembro). Esses dois ângulos limites estabelecem as linhas dos trópicos de Câncer e de Capricórnio e, para o hemisfério sul, as duas datas definem os solstícios de inverno (22 de junho) e de verão (22 de Dezembro) (RORIZ, 2006). O valor médio da declinação do Sol pode ser calculado, para qualquer dia do ano, através da seguinte expressão:

$$\delta = 23,45^{\circ} \cdot \text{sen} [(360/365) \cdot (\text{NDA} + 284)] \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde:

$\delta$  = Ângulo de declinação

NDA = Número do Dia no Ano (NDA=1 em 1/Jan e NDA=365 em 31/Dez)

### 2.4.4 – COORDENADAS SOLARES

Gonzales (et al,1986) fala da necessidade de conhecer as posições e trajetórias aparentes que experimenta o Sol ao longo do ano, com respeito ao local onde se localiza a edificação. Para localizar o Sol em uma posição qualquer na esfera celeste é necessário duas coordenadas, denominadas altitude ou altura solar e azimute.

Estas coordenadas representam as posições e trajetórias aparentes do sol ao longo do ano. A primeira diz respeito ao ângulo em um plano vertical entre os raios solares e a projeção dos mesmos sobre o plano do horizonte. Já a segunda coordenada, azimute solar, é o ângulo no plano do horizonte que é formado entre a projeção dos raios solares e a direção do Norte Verdadeiro (Figura 2.20).

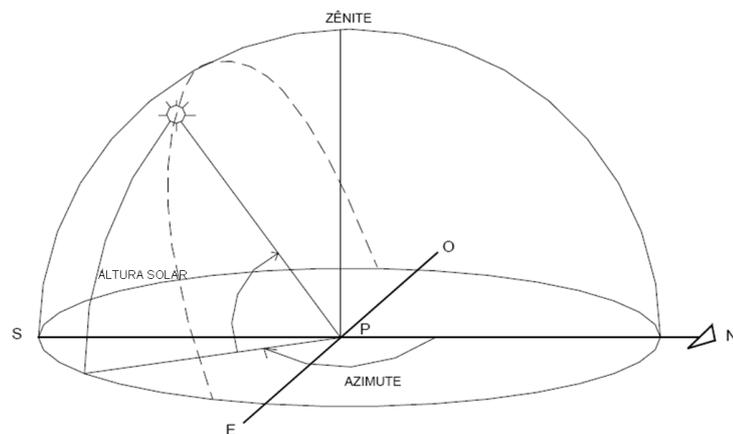


Figura 2.20 – Coordenadas solares: azimute e altura solar

Fonte: (GONZÁLES, et al, 1986)

Conhecendo-se a latitude do lugar, positiva no hemisfério norte e negativa no sul, pode-se calcular a posição relativa do sol, para qualquer hora de qualquer dia do ano:

$$\text{ALT} = \arcsen (\text{sen } \Phi \cdot \text{sen } \delta + \text{cos } \Phi \cdot \text{cos } \delta \cdot \text{cos AHS}) \quad (\text{Eq.09})$$

$$\text{AZI} = \arccos [(\text{cos } \Phi \cdot \text{sen } \delta - \text{sen } \Phi \cdot \text{cos } \delta \cdot \text{cos AHS}) / (\text{cos ALT})] \quad (\text{Eq.10})$$

Onde:

ALT = Altitude ou altura solar

$\Phi$  = Latitude do Lugar

$\delta$  = Ângulo de declinação

AHS = Ângulo Horário do sol

AZI = Azimute

Após o meio-dia, o azimute do sol será  $360^\circ$  menos o ângulo calculado pela equação anterior.

O ângulo horário do sol (AHS) é a distância angular entre a direção dos raios solares ao meio dia e sua direção no momento (h) considerado. Este ângulo é calculado pela seguinte expressão:

$$\text{AHS} = 15^\circ (h - 12) \quad (\text{Eq.11})$$

### 2.4.5 – AS CARTAS SOLARES

Gonzáles (et al, 1986) afirmam que as coordenadas solares podem ser calculadas por procedimentos analítico-matemáticos e estatísticos, representando-se por tabelas numéricas ou através de um mapa da esfera celeste, melhor conhecido por gráfico ou diagrama solar.

As cartas solares são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, para os diferentes períodos do dia e do ano (BITTENCOURT, 2004). Uma carta solar pode ser desenhada por diversos sistemas de projeções geométricas, porém o mais usado é o sistema estereográfico de representação. Sistema este que procura representar as trajetórias do sol sobre o plano do horizonte, para um ponto de observação localizado na superfície terrestre, a partir dos princípios das projeções cônicas. Para este sistema de representação, o ponto de vista da projeção encontra-se no Nadir ( $Z'$ ), que é o ponto diametralmente oposto ao Zênite ( $Z$ ) na esfera celeste (Figura 2.21).

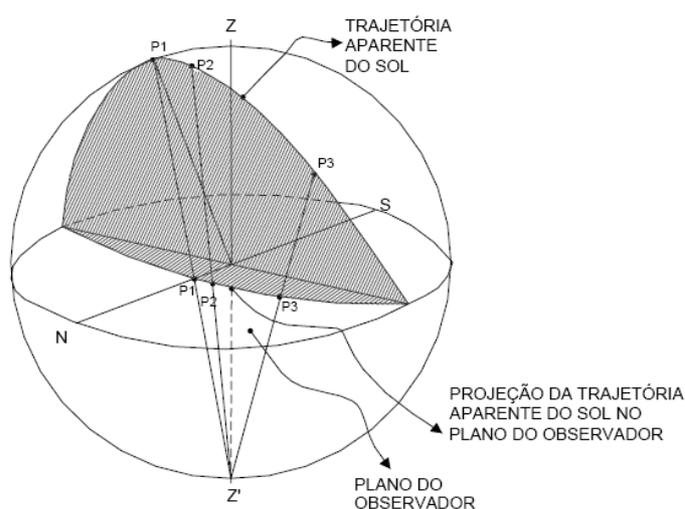


Figura 2.21 – Projeção estereográfica da trajetória do sol

Fonte: (FROTA e SHIFFER, 2001)

As cartas solares são instrumentos auxiliares de suma importância para os profissionais da Construção Civil, já que através delas se avalia a presença ou ausência de sol em determinada fachada (BITTENCOURT, 2004). A Figura 2.22 apresenta a carta solar para as localidades situadas na latitude 22°05', como é o caso da cidade de São Carlos-SP.

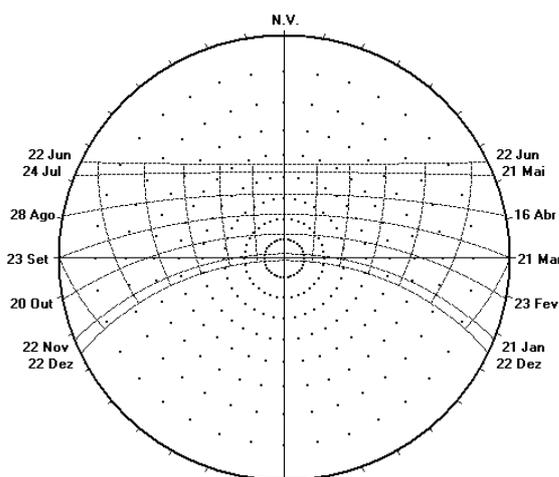


Figura 2.22 – Carta solar para a cidade de São Carlos.

Fonte: Software Luz do Sol, (RORIZ, 1995)

Uma das principais utilizações da carta solar é a máscara de sombra, que é a representação gráfica dos obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste gerando sombra por parte de um observador localizado em um local qualquer.

Bittencourt (2004) ressalta que as linhas correspondentes às diversas horas do dia apresentadas nos gráficos solares, referem-se às horas solares. Esta diferença entre a hora solar e a hora local, varia ao longo do ano e pode ser dada pela expressão:

$$\text{TSV} = \text{TL} + \text{ET} + \lambda + \Delta\text{H} \quad (\text{Eq.12})$$

Onde:

TSV = Tempo Solar verdadeiro,

TL = Tempo Legal (hora oficial),

ET – Equação do tempo (Figura 2.23),

$\lambda$  = Correção de longitude, considerando que o sol percorre 15 graus de longitude em 60 minutos, cada grau de distância longitudinal corresponde à 4 minutos de tempo em seu percurso ( $4 = 60/15$ ), positivo à leste e negativo à oeste do Meridiano de Greenwich.

$\Delta\text{H}$  = Diferença de fuso horário em relação a Greenwich.

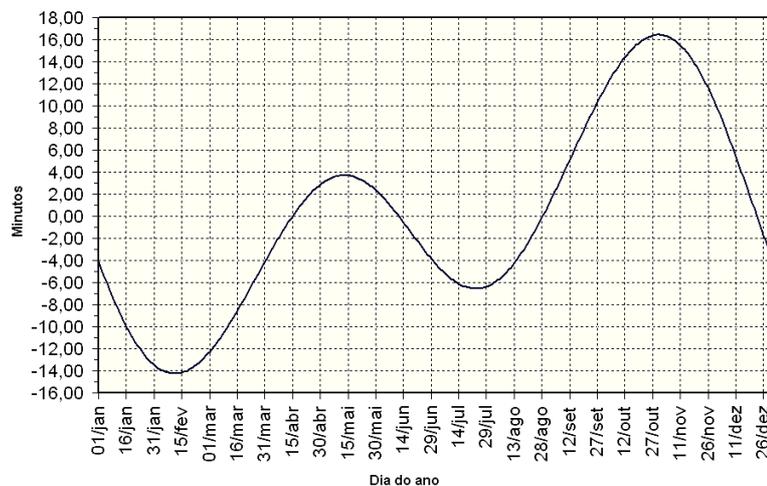


Figura 2.23 – Valores da Equação do tempo (em minutos).

Fonte: Adaptado de Yañes (1982)

#### 2.4.6 – EFEITO ESTUFA

O efeito estufa em edificações, pode ser obtido com o uso de materiais transparentes, como o vidro, principalmente em climas quentes, que possuem altas irradiâncias. Estes materiais se caracterizam por seu comportamento em relação à radiação solar, de onda curta, transmitida através dos vidros. Ela penetra nos ambientes e é absorvida pelas superfícies internas, provocando elevação de sua temperatura e em seguida a emissão de radiação de ondas longas, para a qual o vidro é opaco. Este resultado promove um significativo aumento da temperatura e um acúmulo de densidade de energia térmica no interior das edificações (Figura 2.24).

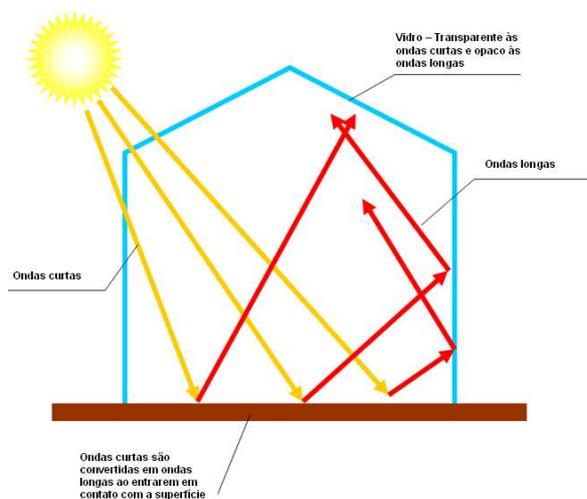


Figura 2.24 – Efeito estufa em edificações

A denominação “efeito estufa” é dada em analogia ao que ocorre nas estufas de cultivo de plantas, normalmente feitas de vidro, pois este material permite a entrada da radiação solar (ondas curtas), mas impede a saída das radiações em ondas longas, emitidas pelas superfícies internas aquecidas, provocando seu aquecimento. Diante disto, vedações envidraçadas expostas ao sol contribuem para o aquecimento das superfícies internas e conseqüentemente do ar interno, sendo, por este motivo, utilizadas em diversos sistemas de captação da energia solar.

#### **2.4.7 – ABSORTÂNCIA SOLAR**

Tanto as normas brasileiras (ABNT, 2003a) como os Fundamentos da ASHRAE (ASHRAE, 2001) apresentam o termo absorvância para se referir à quantidade de energia absorvida por uma superfície, ou seja, o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Dornelles (2008) propôs métodos de determinação da absorvância solar de superfícies opacas, que podem ser utilizados por projetistas, pesquisadores e especialistas. Além do espectrofotômetro e do espectrômetro ALTA II, apresentou um método que se baseia na digitalização de amostras em scanner comum e posterior classificação de suas cores a partir dos sistemas cromáticos digitais RGB e HSL<sup>6</sup> e um quarto método baseado em medidas de temperaturas superficiais das amostras, a partir de absorvâncias medidas para amostras de cores branca e preta, adotadas como referência.

Aproximadamente 45% da energia solar é emitida no intervalo visível. Sabe-se então que superfícies mais escuras tendem a apresentar absorvâncias mais elevadas. Por este motivo, as placas absorvedoras das chaminés solares geralmente são pintadas de preto, para que atinjam temperaturas superficiais mais altas e contribuam assim para incrementar o “efeito chaminé”.

### **2.5 – PESQUISAS SOBRE CHAMINÉ SOLAR**

No Brasil, as chaminés solares tem sido utilizadas e pesquisadas de forma restrita ao âmbito rural, com finalidade de secar madeira ou produtos agrícolas, como grãos ou frutas (Figura 2.25), com resultados

---

<sup>6</sup> RGB é a abreviatura do sistema de cores aditivas formado por Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue). O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos. O modelo HSL (Hue, Saturation, Luminance, ou em português TSL), baseia-se nos trabalhos do pintor Albert H. Munsell (que criou o Atlas de Munsell), é um modelo de representação dito “natural”, ou seja, próximo da percepção fisiológica da cor pelo olho humano.

muito superiores aos obtidos por meio de sistemas convencionais (Santos, 1997; Moraes-Duzat et al., 2000; Martins et al., 2002; Souza et al., 2007, Ferreira et al, 2008, Maia et al, 2009).

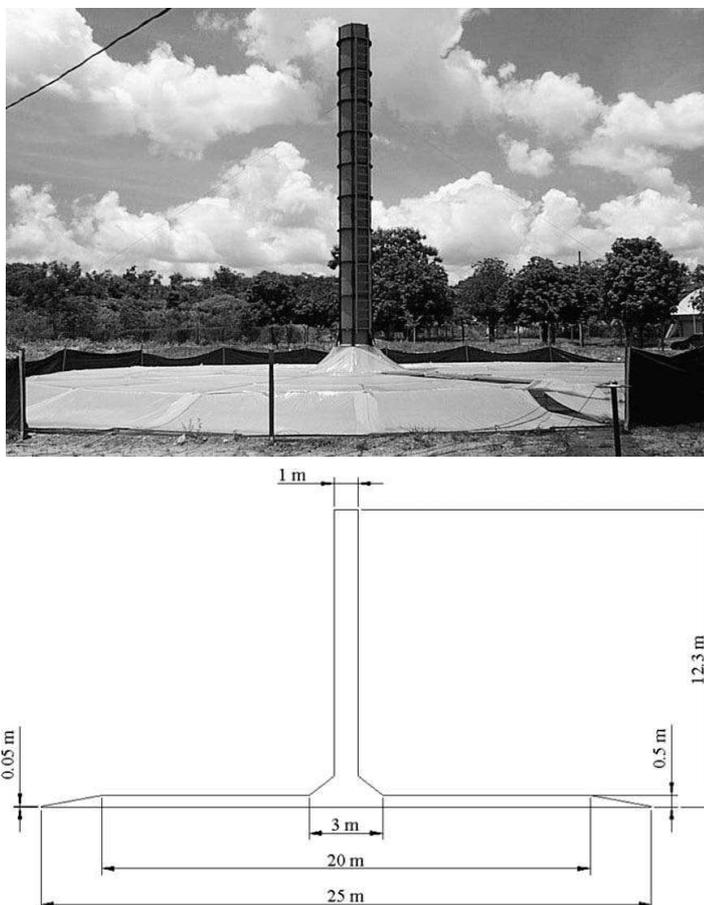


Figura 2.25 – Exemplo de Chaminé solar estudada no Brasil para fins de secagem de grãos (Foto e Corte esquemático)

Fonte – (MAIA et al, 2009)

Porém, este dispositivo vem sendo estudado em diversos lugares do Mundo, inserido no contexto da Construção Civil, desde a década de 1990 (como observa-se de forma mais clara no final desta seção) visando sempre incrementar a ventilação natural no interior dos espaços. Barrozi et al (1992) modelaram um sistema de chaminé solar na cobertura de uma edificação com o intuito de aumentar a ventilação e conseqüentemente o resfriamento na sala de estar a partir de avaliações experimentais em um protótipo reduzido.

Bansal et al (1993) elaboraram um modelo matemático para chaminés solares baseado em diferentes áreas de aberturas, coeficientes de descarga, temperatura e radiação solar para promover a ventilação induzida por este dispositivo em edificações.

Bouchair (1994), mostrou que para uma razão área/altura de abertura da chaminé solar equivalente a 1/10, obtém-se o máximo índice para o fluxo do ar. A mesma relação ideal de 1/10 entre a área da abertura de saída e a altura da chaminé foi também identificada por Li et al (2004), que aplicaram técnicas de CFD (Computational Fluid Dynamics) na análise dos processos de transferência de calor e fluxos de ventilação em chaminés solares verticais com diversas configurações geométricas (Figura 2.26).

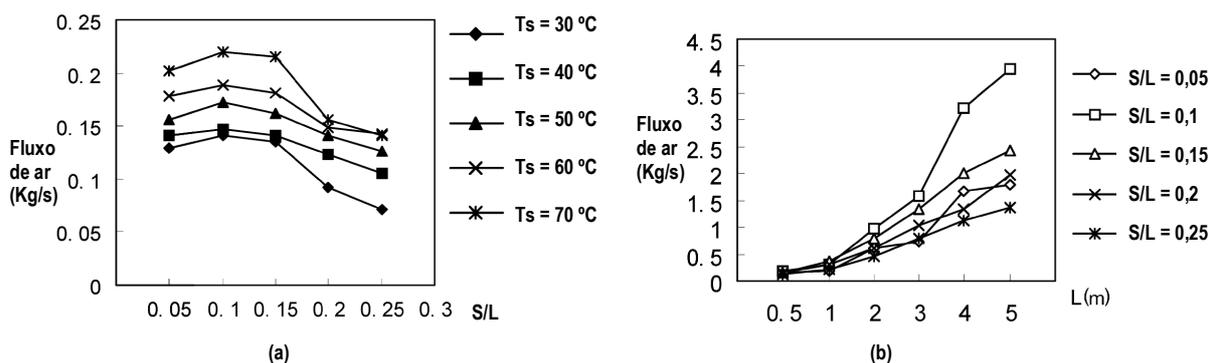


Figura 2.26 – (a) Relação entre o Fluxo de ar e a razão S/L de uma Chaminé Solar (b) Relação entre o Fluxo de ar e a altura da chaminé.

Onde:  $L$  = Altura da Chaminé (m),  $S$  = Área da abertura de saída da Chaminé (m<sup>2</sup>),  $T_s$  = Temperatura superficial da parede da Chaminé (°C).

Fonte – (Li et al, 2004)

Choudhury et al (1995), apresentaram um modelo teórico para avaliar o desempenho de três tipos de chaminés: as convencionais, constituídas apenas por duto metálico retangular com uma face coletora pintada de preto e as outras faces protegidas por isolamento térmico; as protegidas por vidro simples e as que adotam vidro duplo. O modelo permite fixar a diferença de pressão ao longo do duto e identificar a eficiência proporcionada por diferentes configurações geométricas, em cada um dos três tipos.

Cho et al (1999) analisaram as características de um sistema híbrido, com um coletor de energia solar e uma chaminé solar para produzir refrigeração passiva e aquecimento através de simulações computacionais em CFD, apresentando os efeitos da redução da energia e do resfriamento passivo da edificação a partir da utilização deste sistema.

Padki e Sherif (1999) desenvolveram um conjunto de equações diferenciais para analisar o desempenho de uma chaminé solar (Figura 2.27). As equações são integradas, sendo possível fazer algumas simplificações e encontrar expressões para a energia gerada pelo coletor, bem como o nível de eficiência da chaminé são obtidas a partir de fórmulas algébricas.

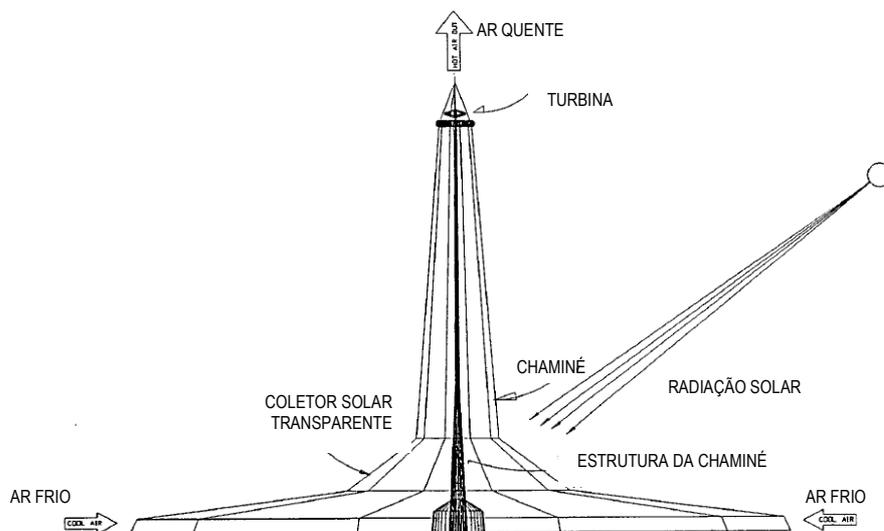


Figura 2.27 – Modelo de Chaminé adotado por Padki e Sherif, 1999

Fonte: (PADKI e SHERIF, 1999)

Afonso e Oliveira (2000) estudaram a influência que as chaminés solares possuem na ventilação natural de edificações para a cidade do Porto, em Portugal, através de medições entre os meses de janeiro e março em duas chaminés verticais construídas em tamanho real num ambiente com 12m<sup>2</sup> de área (4x3m), sendo suas paredes, piso e laje de concreto com isolamento, que foi dividido ao meio de modo a realizar medições isoladas para cada configuração de chaminé investigada (Figura 2.28). As chaminés possuíam 2m de altura e aberturas de entrada e saída do ar com dimensões de 1.00x0.20m e paredes de bloco (10cm) com isolamento de 5cm com o exterior.

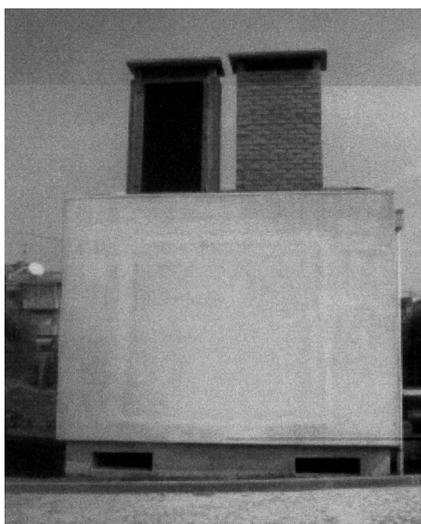


Figura 2.28 – Vista da Chaminé solar e da Chaminé convencional utilizadas nas medições de Afonso e Oliveira (2000)

Fonte – (AFONSO e OLIVEIRA, 2000)

Verificou-se então nos estudos de Afonso e Oliveira (2000), um aumento de 10% na velocidade do ar para espaços com chaminé solar em relação aos espaços com chaminé convencional. Estas medições serviram de dados de entrada para simulações computacionais em CFD, tornando possível encontrar os valores de temperatura e velocidade do ar ao longo de todo o ano.

Khedari et al (2000) estudaram a viabilidade de utilizar telhado e parede para induzir a ventilação natural, mostrando o potencial de telhados coletor que captam a radiação solar e aquecem o ar abaixo do telhado, este tipo de telhado coletor pode reduzir o custo da energia mecânica para refrigeração das habitações construída em uma região quente e úmida, bem com maximizar a ventilação natural e minimizar a fração da energia solar absorvida por uma moradia.

Waewsak et al (2003) realizaram outra medição para o mesmo tipo de telhado coletor, onde a parte externa deste telhado foi substituída por vidro, aumentando assim o efeito estufa no dispositivo analisado. As funções inovadoras deste dispositivo, promoveram principalmente a diminuição diária do ganho de calor através do telhado, por induzir uma significativa taxa de ventilação do ar, que melhorou o conforto térmico dos residentes, garantindo também uma iluminação adequada e evitando um superaquecimento ao agir como um telhado radiador durante a noite.

Ong (2003) apresentou um modelo matemático a partir de resultados experimentais em uma chaminé solar com 2m de altura, usando o método de matriz para a resolução de equações simultâneas para transferência de calor.

Drori (2004) estudou a ventilação induzida para uma casa em tamanho real, com base em medições de temperatura contínuas, realizadas dentro e fora do edifício para o verão. Satwiko (2005) encontrou um sistema de ventilação para telhados solares em habitações de baixo custo localizados em regiões com alta densidade de área urbana. O protótipo do telhado gerou um aumento da ventilação cruzada na zona do ocupante.

Ding et al (2005) analisaram o desempenho da ventilação natural a partir da implantação de uma chaminé solar na fachada de um edifício. Foi construído um protótipo em escala reduzida de um prédio de escritórios com oito pavimentos (Figuras 2.29 e 2.30), possuindo chaminé solar na fachada norte, além de simulações computacionais utilizando CFD.

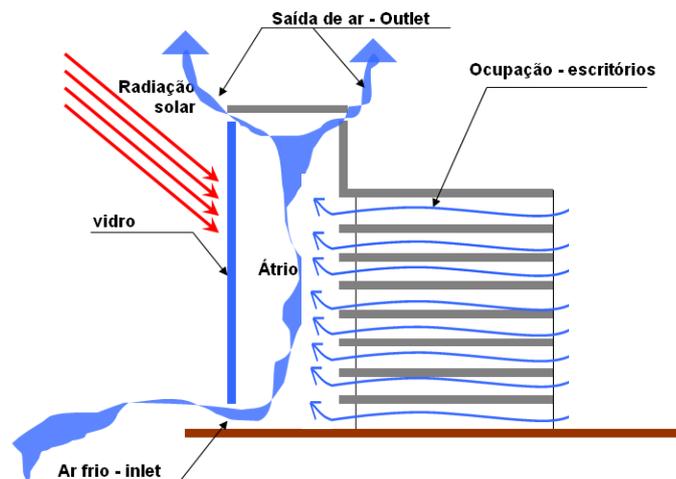


Figura 2.29 – Esquema básico do Edifício analisado por Ding et al (2005)

Fonte – Adaptado de (DING et al, 2005)



Figura 2.30 – Foto do protótipo em escala reduzida utilizado por Ding et al (2005)

Fonte – (DING et al, 2005)

A partir destas análises, observou-se uma boa coincidência entre os valores obtidos por medição e o resultado das simulações, obtendo uma taxa de ventilação satisfatória para as salas de escritório.

Chungloo et al (2006) investigaram o benefício da aplicação da chaminé solar no telhado Sul em conjunto com a aspersão de água no teto de metal voltado para o norte de uma edificação-teste (Figura 2.31) na Tailândia, através de um modelo numérico construído a partir de uma dinâmica de fluidos computacional (CFD).

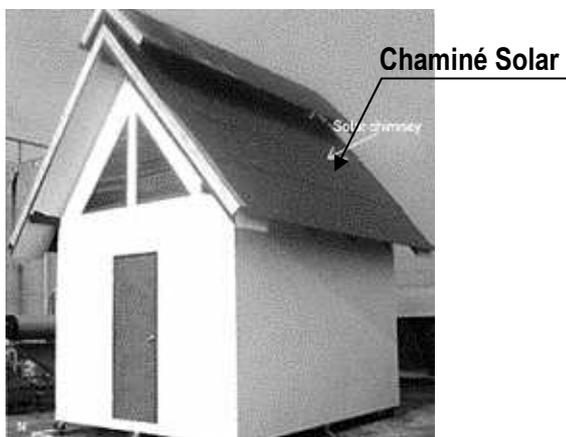


Figura 2.31 – Célula-Teste desenvolvida por Chungloo et al (2006)

Fonte – CHONGLOO et al, 2006)

Mathur (et al, 2006) comparou quatro tipos de configurações para chaminés solares no intuito de aumentar a ventilação natural em edificações residenciais e afirmou que chaminés solares inclinadas podem incrementar em 15,94% a ventilação natural no interior das edificações quando comparado com uma chaminé solar vertical para o clima da Malásia.

Outro grupo de Malaios (NUGROHO et al, 2006) avaliaram o uso de chaminés solares para induzir a ventilação em condições tropicais para uma edificação padrão (Figura 2.32) por meio de simulações em CFD. A chaminé elaborada neste estudo foi baseada nos experimentos de Ong (2003), conforme apresentado na Figura 2.33.

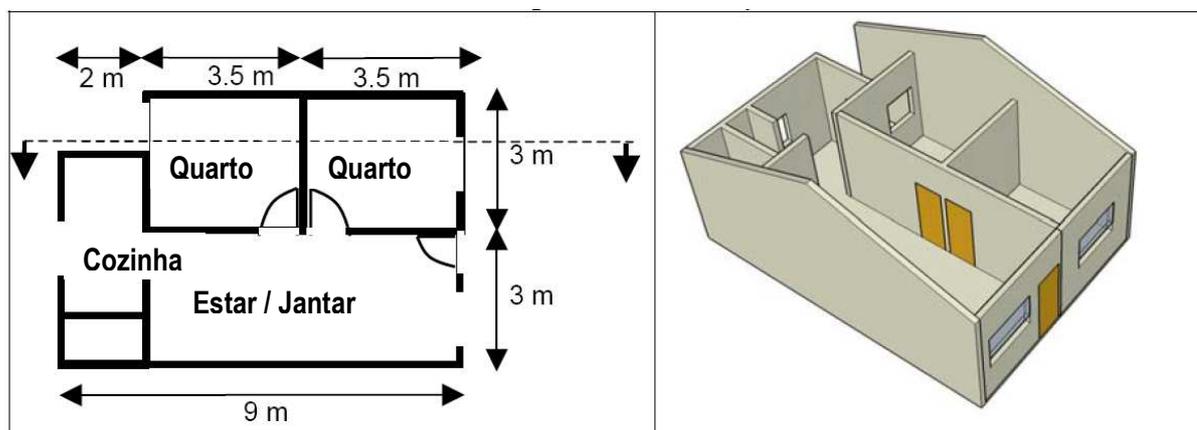


Figura 2.32 – Modelo da habitação simulada por Nugroho et al (2006)

Fonte – (NUGROHO et al, 2006)

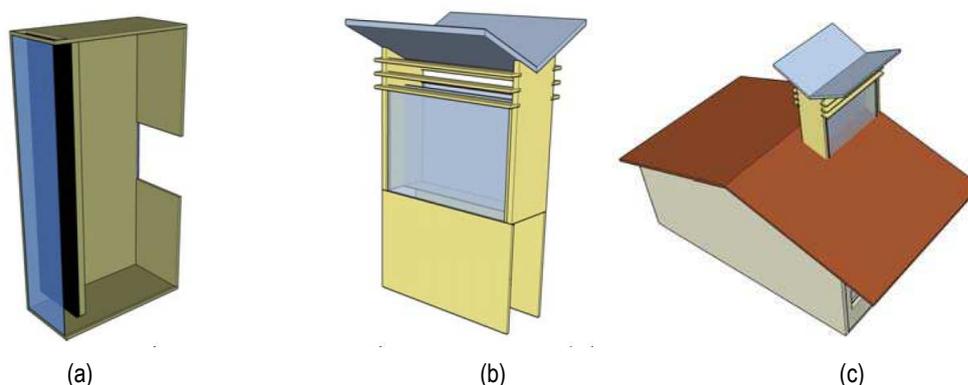


Figura 2.33 – (a) Modelo de Chaminé adotado por Ong (2003), (b) Modelo de Chaminé adotado por Nugroho et al (2006) (c) Implantação da Chaminé na edificação analisada por Nugroho et al (2006)

Fonte – (NUGROHO et al, 2006)

Observou-se que os parâmetros de projeto propostos neste estudo, se incorporados em uma edificação real, incrementarão a velocidade do ar interior, promovendo o conforto humano, além da contribuição para a eficiência energética e opções ecológicas na edificação.

Harris e Helwig (2006) utilizaram a técnica da Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), para avaliar a influencia das chaminés solares na ventilação natural para o clima escocês (latitude 52°). A área de abertura das chaminés variou entre 0,1m<sup>2</sup> e 0,25m<sup>2</sup>, sendo que a abertura maior apresentou melhor desempenho (Figura 2.34).

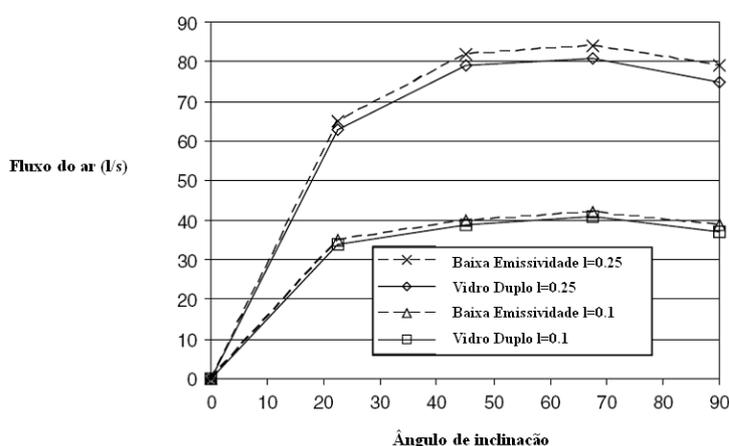


Figura 2.34 - Comparação do fluxo de ar em chaminés solares com vidros duplos e com baixa emissividade (l – largura da abertura em metros)

Fonte: (HARRIS e HELWING, 2006)

Esse estudo demonstrou que vidros de alta transmitância de radiação solar e baixa emissividade para o infra-vermelho são mais efetivos na elevação do desempenho das chaminés solares do que os

vidros duplos, onde também constatou-se uma maior eficiência das chaminés inclinadas, promovendo um aumento na velocidade do ar interna em relação à chaminé solar vertical.

Jyotirmay (et al, 2006) compararam quatro configurações diferentes de chaminés solares para a ventilação em edifícios residenciais, encontrando a inclinação ótima do coletor solar para a condição analisada.

Burek e Habeb (2007) investigaram a transferência de calor e fluxo de massa em aquecedores de ar, tais como chaminés solares e Paredes Trombe. O dispositivo de ensaio foi composto por um canal vertical aberto, com lados fechados, assemelhando-se um coletor solar com aproximadamente 1m<sup>2</sup>. Os principais resultados a partir dos dados mostraram que a eficiência térmica do sistema (como um coletor solar) é função do aquecimento e não depende da profundidade do canal.

Sakonidou et al (2008) desenvolveram dois modelos matemáticos de chaminé solar para determinar a inclinação que maximize o fluxo de ar. Inicialmente, calculam as parcelas de calor transmitida e absorvida pelo vidro, como função das três componentes da radiação incidente (direta, difusa e refletida) e da inclinação da chaminé. Em seguida, estimam a temperatura e a velocidade do ar no interior da chaminé, bem como as temperaturas do vidro e da parede coletora. Os resultados entretanto, não apresentam boa concordância com valores obtidos por modelo mais confiável, baseado em CFD (Figura 2.35).

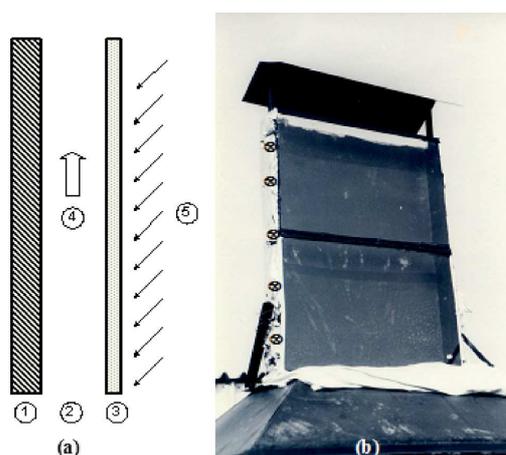


Figura 2.35 – Configuração da chaminé adotada por Sakonidou et al, 2008. (a) seção da chaminé 1- Painel Isolado, 2 – duto para passagem do ar, 3- Placa absorvedora e 4 – Sentido do fluxo (b) Foto da chaminé

Fonte: (SAKONIDOU et al, 2008)

Lee e Strand (2009) apresentaram um novo módulo que foi desenvolvido e implementado no programa EnergyPlus para a simulação e determinação do impacto da energia térmica de chaminés,

baseadas no modelo de Ong (2003) aplicando-o para diferentes climas americanos (quente, moderado e frio), conforme apresentado na figura 2.36, para o dia 21 de agosto e encontrou que o clima é um fator determinante no desempenho final de uma chaminé solar.

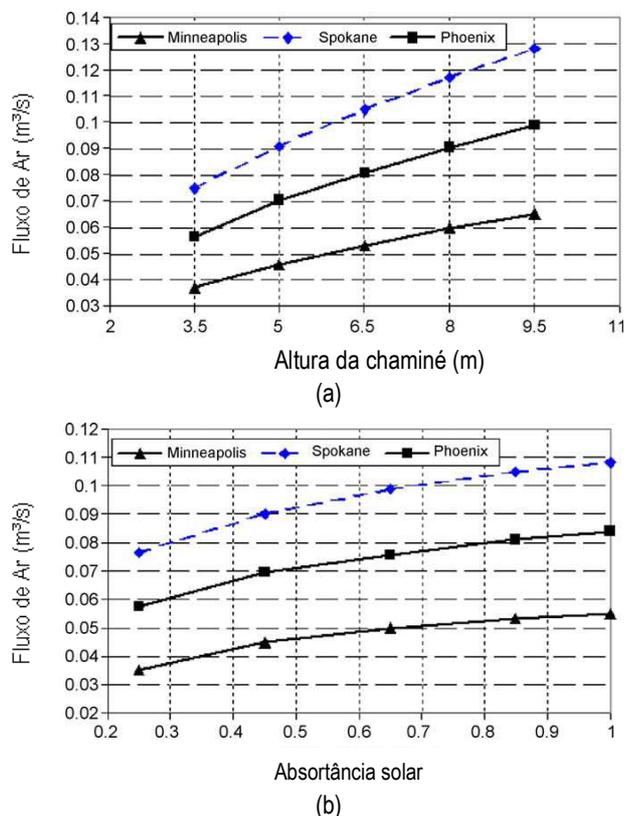


Figura 2.36 – Resultados obtidos por Lee e Strand, 2009 para o fluxo do ar (Volume) em função (a) da altura da chaminé e (b) da absorvância do material

Fonte: (LEE e STRAND, 2009)

Observa-se então que a chaminé solar na cidade de Spokane – WA (clima moderado) apresenta melhor desempenho que as demais cidades simuladas como Phoenix – AZ, com clima quente e Minneapolis – MN, com clima frio.

Outra pesquisa produziu um estudo numérico sobre o fluxo laminar e turbulento induzido por convecção natural em chaminé solar, para valores do número de Rayleigh<sup>7</sup> entre 105 e 1012, apresentando uma correlação para a proporção térmica ideal (ZAMORA e KAISER, 2009).

<sup>7</sup> Em mecânica dos fluidos, o número de Rayleigh para um fluido é um número adimensional associado com os fluxos conduzidos por empuxo (também conhecidos como convecção livre ou convecção natural). Quando o número de Rayleigh é mais baixo que o valor crítico para aquele fluido, a transferência de calor é primariamente na forma de condução; quando excede o valor crítico, a transferência de calor é primariamente na forma de convecção.

Maerefat e Haghghi (2010a) realizaram análises teóricas a fim de investigar a refrigeração e ventilação em uma casa através da chaminé solar agrupada com um sistema de dutos de ar no subsolo. A descoberta mostra que a chaminé solar pode ser perfeitamente utilizada para alimentar o sistema de refrigeração subterrâneo durante o dia, sem necessidade de eletricidade. Além disso, este sistema com um bom projeto, pode também proporcionar um ambiente interno termicamente confortável para um grande número de horas nos dias de verão rigoroso no Irã, em que a temperatura do ar no exterior pode chegar a 50°C.

Estes mesmos autores realizaram outro estudo associando o incremento produzido por chaminés solares à refrigeração evaporativa, representando uma técnica de baixo consumo de energia para melhorar a refrigeração passiva por meio da ventilação natural em um ambiente (Figura 2.37). Os resultados mostram que mesmo quando a umidade relativa do ar for inferior a 50% e a TBS externa a 40°C, o sistema pode melhorar a condição do ar interior. Verifica-se então que o sistema proposto pode ser aplicado com sucesso em climas quente e seco para satisfazer as expectativas de conforto térmico dos usuários (MAEREFAT e HAGHIGHI, 2010b).

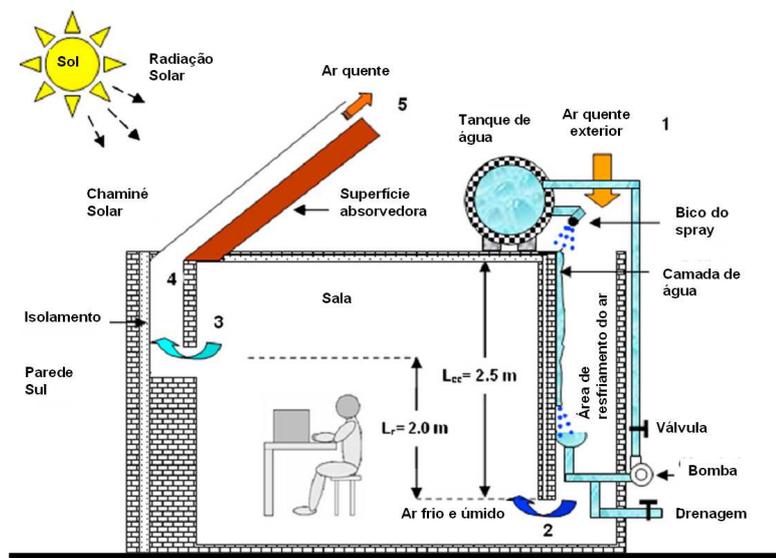


Figura 2.37 – Diagrama esquemático do sistema associando chaminé solar e refrigeração evaporativa

Fonte: (MAEREFAT e HAGHIGHI, 2010b).

A Figura 2.35 apresenta um resumo destas pesquisas desenvolvidas em torno do efeito do uso de chaminés solares na ventilação natural em edificações.

Pesquisa	Clima				Aplicação			Configuração						Desempenho				Ferramenta					
	Quente e úmido	Frio	Quente e Árido	Temperado	Parade	Telhado	Cumeceira	Altura	Largura	Comprimento	Inclinação	Espessura	Materials	Aberturas	Velocidade do Ar	Ren/h	Temperatura	Diferença de Temp.	Escala real	Escala reduzida	Método Simplificado	Simulação	
Barrozi et al, 1992																							
Bansal et al, 1993																							
Bouchair, 1994																							
Choudhury et al, 1995																							
Cho et al, 1999																							
Padki e Sherif, 1999																							
Afonso e Oliveira, 2000																							
Khedari et al, 2000																							
Waewsak et al, 2003																							
Ong, 2003																							
Drori, 2004																							
Li et al, 2004																							
Ding et al, 2005																							
Satwiko, 2005																							
Mathur et al, 2006																							
Jyotirmay et al, 2006																							
Chungloo et al, 2006																							
Nugroho et al, 2006																							
Harris e Helwig, 2006																							
Burek e Habeb, 2007																							
Sakonidou et al, 2008																							
Zamora e Kaiser, 2009																							
Maerefat e Haghighi, 2010a																							
Lee e Strand, 2009																							
Maerefat e Haghighi, 2010b																							

Figura 2.35 – Resumo das pesquisas apresentadas anteriormente sobre chaminé solar

# 3 METODOLOGIA

---

Nesta seção serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, a fim de atingir os objetivos propostos, apresentados em capítulo anterior. A palavra método possui origem grega e significa caminho. Na linguagem técnica atual, a palavra método pode ser utilizada para descrever um conjunto de ações que conduzirão a um determinado conhecimento (VIEGAS, 2007).

A metodologia deste trabalho consiste em duas etapas:

1. Simulações Computacionais utilizando o software: EnergyPlus, no intuito de obter valores referentes ao desempenho dos sistemas analisados;
2. Análise comparativa dos resultados obtidos, de modo a produzir informações que possibilitem contemplar os objetivos propostos neste trabalho.

## 3.1 – SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Foram realizadas simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus<sup>8</sup>. Estas simulações foram realizadas tanto do modelo com a chaminé convencional, quanto do modelo dotado de chaminé solar, sendo que o segundo sofreu alterações na inclinação do coletor, variando-a de modo que os raios solares incidam perpendicularmente no coletor para cada mês do ano.

As simulações foram realizadas considerando dois dias típicos de projeto, um para o inverno e outro para o verão, representados pelos dias 22 de junho e 22 de dezembro (Solstícios de inverno e verão respectivamente) . Os modelos foram simulados de modo a verificar a influência que a temperatura, radiação incidente, geometria e inclinação do coletor solar da chaminé possuem sobre a alteração da velocidade do ar no interior da edificação.

---

<sup>8</sup> O software EnergyPlus foi elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e é considerado internacionalmente como um dos melhores da atualidade (HAGEL, 2005).

### 3.1.1 – DESCRIÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DOS SISTEMAS SIMULADOS

Foram investigadas duas configurações distintas de chaminés, uma chaminé convencional e uma chaminé solar. Os espaços internos da edificação em estudo tem dimensões iguais, com 1,30m x 2,40m e pé direito de 2,20m, gerando um volume de ar no interior da edificação de 6,89m<sup>3</sup>, onde nos dois casos, as chaminés funcionam como abertura de saída do ar, localizadas no lado oposto às aberturas de entrada de ar. Para as aberturas de entrada do ar nas células de teste, utilizou-se as mesmas dimensões para os dois modelos, com peitoril de 0,30m e altura de 0,50m, com largura de 0,80m. Para a abertura de saída da célula (abertura de entrada da Chaminé) e para a abertura de saída da chaminé, foram consideradas dimensões de 1,00m x 0,18m e altura de 2,02m, conforme apresentado com maiores detalhes nas Figuras 3.1 e 3.2.

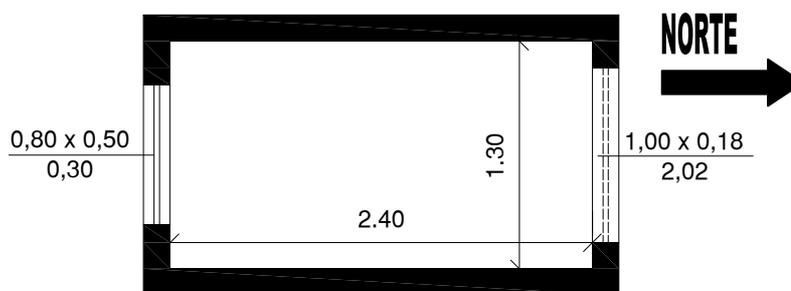


Figura 3.3 – Planta Baixa do modelo a ser simulado  
(SEM ESCALA)

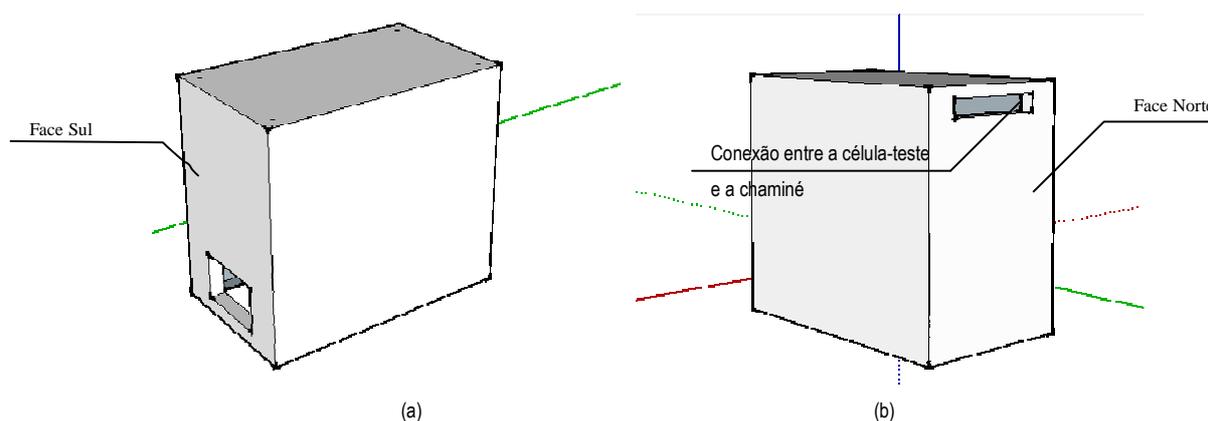


Figura 3.4 – Vista das aberturas de entrada (a) e saída (b) do ar para os modelos computacionais de edifícios – sem escala

A abertura de conexão entre a célula e a chaminé localiza-se na fachada Norte e a chaminé solar possui 1,80m de altura a partir da face externa da laje da edificação, sendo esta dimensão obtida a partir da relação ótima proposta por Bouchair (1994) e por Li et al (2004) sendo S/L igual a 1/10.

As paredes das Chaminés apresentam alta absorvência, por estarem pintadas de preto, favorecendo o aquecimento do ar no interior da mesma, conforme apresentado nas Figuras 3.3 e 3.4.

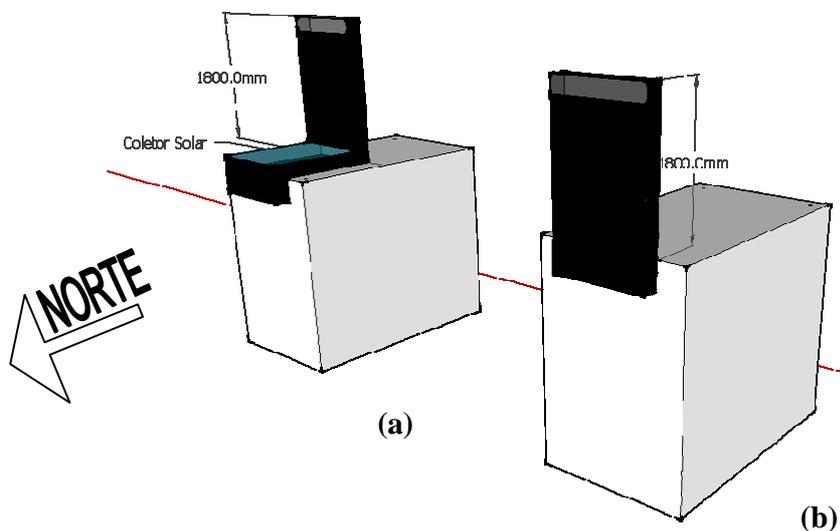


Figura 3.3 – Vista do modelo com chaminé solar horizontal (a) e do modelo com chaminé convencional (b) – sem escala

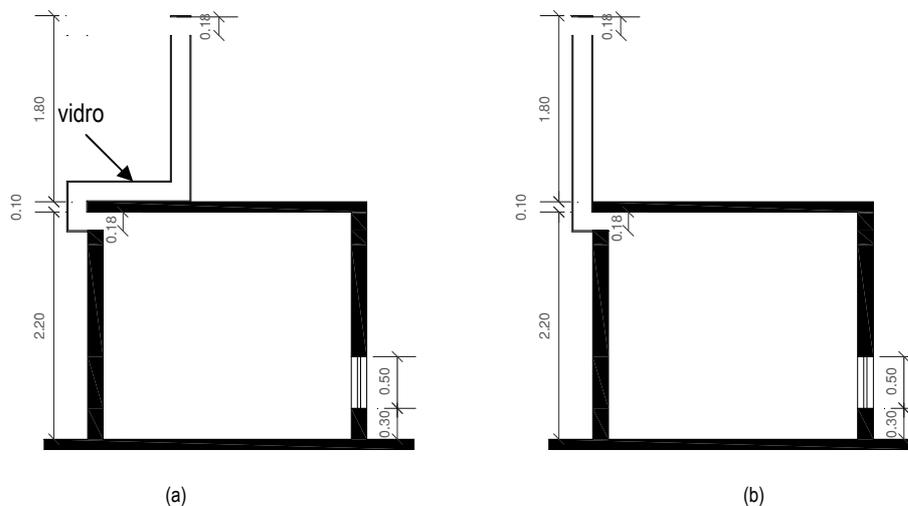


Figura 3.4 – Corte esquemático do modelo com chaminé solar horizontal (a) e do modelo com chaminé convencional (b) – sem escala

A inclinação do coletor solar foi considerada variável ao longo do ano, pois sabe-se que o ângulo de incidência da radiação solar sobre qualquer superfície varia em função da latitude do lugar, da hora e do dia. Quanto menor for este ângulo em relação à Normal, maior será a irradiância, ou seja, a quantidade de energia solar que atinge cada unidade de área da superfície.

As simulações deste trabalho foram realizadas considerando a inclinação ótima do coletor a cada mês do ano, com relatórios horários, para dias típicos de projeto no inverno e verão. Para tal, foi



Tabela 3 – Inclinação ótima do Coletor para cada cidade simulada mês a mês (dia 15 de cada mês) ao meio dia\*

	INCLINAÇÃO DO COLETOR (Graus)							
	Curitiba - PR	Urussanga - SC	Uberaba - MG	Brasília - DF	Araçatuba - SP	Campo Grande - MS	Petrolina - PE	Belém - PA
Janeiro	4.25	7.25	1.52	5.40	0.07	0.80	11.92	19.89
Fevereiro	12.23	15.23	6.46	2.58	7.91	7.18	3.94	11.91
Março	22.70	25.70	16.93	13.05	18.38	17.65	6.53	1.44
Abril	34.93	37.93	29.16	25.28	30.61	29.88	18.76	10.79
Mai	44.31	47.31	38.54	34.66	39.99	39.26	28.14	20.17
Junho	48.83	51.83	43.06	39.18	44.51	43.78	32.66	24.69
Julho	47.04	50.04	41.27	37.39	42.72	41.99	30.87	22.90
Agosto	39.30	42.30	33.53	29.65	34.98	34.25	23.13	15.16
Setembro	27.74	30.74	21.97	18.09	23.42	22.69	11.57	3.60
Outubro	15.92	18.92	10.15	6.27	11.60	10.87	0.25	8.22
Novembro	6.37	9.37	0.60	3.28	2.05	1.32	9.80	17.77
Dezembro	2.18	5.18	3.59	7.47	2.14	2.87	13.99	21.96

\* Os valores em vermelho foram considerados com inclinação de 0° (coletor horizontal)

Para as poucas situações em que o coletor deveria ser ligeiramente voltado para o Sul (Inclinação negativa), no intuito de simplificar as simulações e propor um modelo de chaminé com construtibilidade viável, considerou-se o coletor solar horizontal, com a abertura para saída de ar ainda localizada na fachada norte.

Deste modo, todas as simulações foram realizadas com o coletor solar orientado para o norte, conforme recomendação para as edificações localizadas no hemisfério sul, conforme apresentado na Figura 3.5.

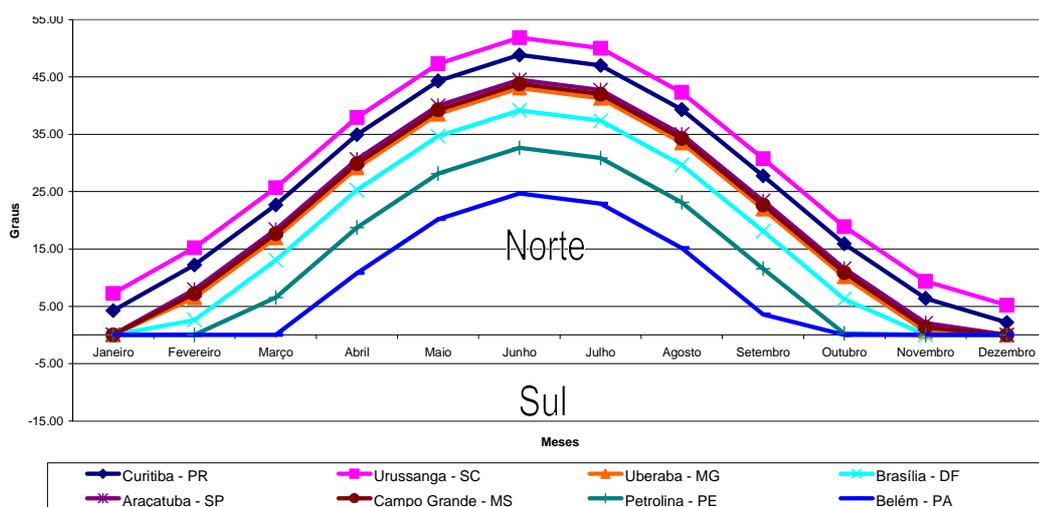


Figura 3.5 – Inclinação do coletor solar simulado para as 8 cidades analisadas, com orientação Norte.

### 3.1.2 – CIDADES SIMULADAS

Foram simulados os modelos para 8 cidades brasileiras, uma para cada Zona Bioclimática<sup>9</sup> Brasileira (Figura 3.6) de acordo com a classificação da NBR-15220 (ABNT, 2003b).

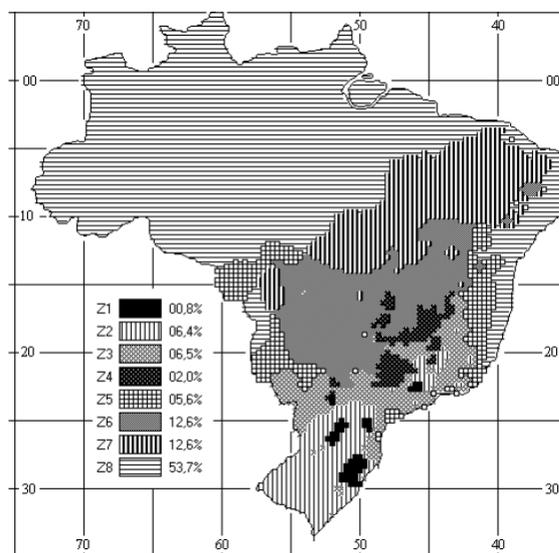


Figura 3.6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR-15220 (ABNT, 2003b)

O critério de escolha das cidades foi inicialmente a disponibilidade de dados para gerar dias típicos de projeto para inverno e verão no software EnergyPlus, além da localização destas cidades, devendo contemplar todas as regiões brasileiras, com seus climas diferenciados. A Figura 3.7 apresenta as cidades que foram escolhidas para as simulações. O coletor solar, foi orientado na direção Norte, já que todas as cidades a serem simuladas encontram-se no hemisfério sul.

Cidades Simuladas	Estado	Zona Bioclimática	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Curitiba	PR	1	-25.52	-49.18	934
Urussanga	SC	2	-28.52	-49.32	130
Uberaba	MG	3	-19.75	-47.92	743
Brasília	DF	4	-15.87	-47.92	1171
Araçatuba	SP	5	-21.20	-50.43	500
Campo Grande	MS	6	-20.47	-54.67	532
Petrolina	PE	7	-9.35	-40.55	376
Belém	PA	8	-1.38	-48.48	10

Figura 3.7 – Relação das cidades utilizadas para simulações

<sup>9</sup> A NBR-15220 dividiu o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas e formulou um conjunto de recomendações tecno-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

### 3.1.3 – SISTEMA CONSTRUTIVO

Para elaboração dos modelos digitais, foi considerado o seguinte sistema construtivo:

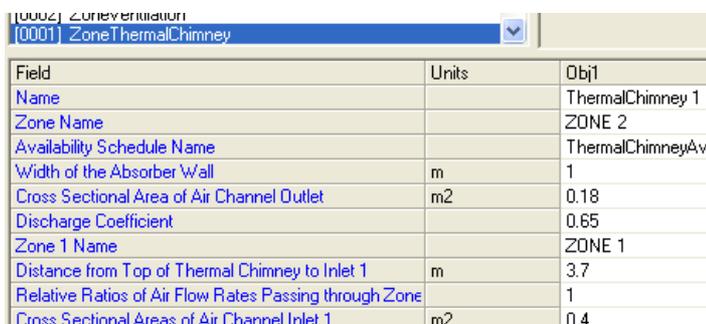
As paredes externas do ambiente analisado são de alvenaria constituída por tijolo cerâmico maciço (9,0 x 5,0 x 19,0cm), revestida em ambas as faces com 3 cm de argamassa de areia, cimento e cal, pintadas com tinta branca, sendo as chaminés construídas com chapas de alumínio pintadas de preto, com 0,001m de espessura e aberturas de entrada e saída do ar medindo 0,18 x 1,00 m.

O coletor inserido no modelo com chaminé solar é formado por uma placa de vidro simples (3,0 mm), que segundo Caram et al (1995) é o tipo de vidro que permite maior transmissão de radiação solar para o interior da edificação, intensificando o efeito estufa.

A seção da chaminé onde encontra-se o coletor solar, possui um isolamento térmico de 5 cm de espessura, constituído de poliestireno expandido, de modo a evitar as trocas térmicas por convecção entre a chaminé e o ar do entorno, assim como as trocas térmicas por condução entre as chapas que compõem este dispositivo e o ambiente interno. A cobertura é em laje de concreto com 10 cm de espessura, também pintada de branco. A laje do piso da célula é constituída por uma camada de concreto aplicada diretamente sobre o solo, permitindo trocas térmicas entre a célula e o solo.

### 3.1.4 – CONSTRUÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ENERGYPLUS

Para a Construção dos modelos para simulações no *EnergyPlus*, inicialmente pretendeu-se utilizar o objeto “Zone:ThermalChimney” para configuração dos parâmetros utilizados na Chaminé solar, conforme apresentado na Figura 3.8.



Field	Units	Obj1
Name		ThermalChimney 1
Zone Name		ZONE 2
Availability Schedule Name		ThermalChimneyAvi
Width of the Absorber Wall	m	1
Cross Sectional Area of Air Channel Outlet	m2	0.18
Discharge Coefficient		0.65
Zone 1 Name		ZONE 1
Distance from Top of Thermal Chimney to Inlet 1	m	3.7
Relative Ratios of Air Flow Rates Passing through Zone		1
Cross Sectional Areas of Air Channel Inlet 1	m2	0.4

Figura 3.8 – Dados de entrada para o Módulo “Zone:ThermalChimney” do Software EnergyPlus

Porém, este objeto limita-se a resolver simulações em chaminés solares verticais e similares ao modelo utilizado por Ong (2003), além de não possuir compatibilidade com os objetos “AirflowNetwork” que calculam o fluxo de ar entre zonas e o exterior, através de frestas e janelas.

Deste modo, optou-se por utilizar os objetos do módulo *AirflowNetwork* (Figura 3.9). No módulo relacionado à ventilação natural são determinados os *links* (entradas) do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. O algoritmo permite que sejam criados *schedules* (agendas) de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras.

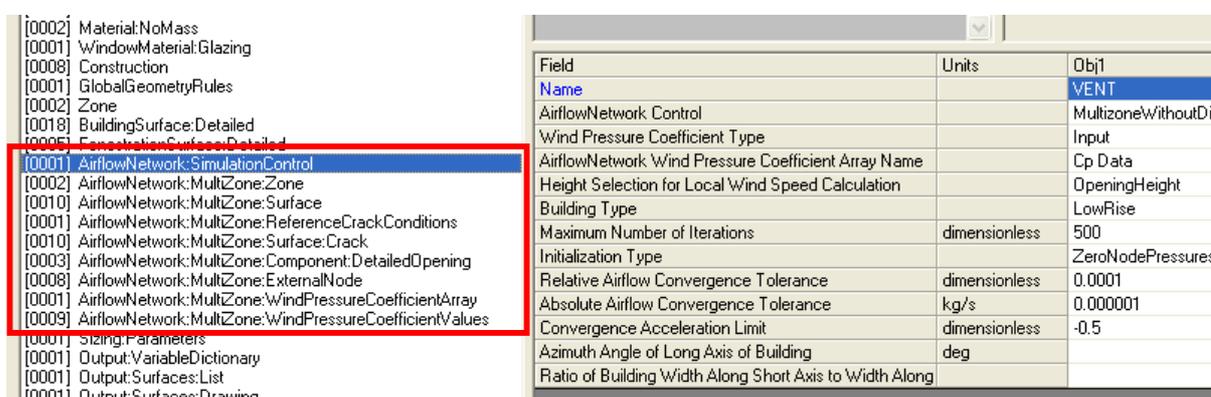


Figura 3.9 – Objetos do Módulo AirflowNetwork utilizados para as simulações contidas neste trabalho

Observa-se também na figura 3.9 que os coeficientes de pressão foram inseridos diretamente pelo usuário. A obtenção de dados precisos de coeficiente de pressão demanda um esforço considerável. Ao mesmo tempo existe uma grande oferta de valores “aproximados” a partir de medições já realizadas em alguns Institutos de Pesquisa.

Uma forma de determinar os coeficientes de pressão é a base de dados destes coeficientes medidos no Japão (Wind Effects on Buildings and Urban Environment<sup>10</sup>). Nesta base de dados pode-se escolher a geometria da edificação e as proporções desta para analisar os resultados encontrados dos coeficientes de pressão.

Porém, para este trabalho, optou-se por adotar os coeficientes apresentados nos fundamentos da ASHRAE (ASHRAE, 2004), que trata de coeficientes de pressão para edificações localizadas em ambientes urbanos, com proporções mais semelhantes às dos objetos simulados.

<sup>10</sup> [http://www.wind.arch.t.kougei.ac.jp/info\\_center/windpressure/](http://www.wind.arch.t.kougei.ac.jp/info_center/windpressure/)

Inicialmente, utilizou-se as medições obtidas por Mathur et al (2006) em uma chaminé solar localizada na cidade de Jaipur, Índia (Figura 3.10), para o dia 21 de junho. Elaborou-se então um dia típico de projeto (*Design day*) a partir do arquivo climático de Jaipur disponível na base de dados do software EnergyPlus e das medições realizadas nesse estudo de referência, de modo a testar os valores para os coeficientes de pressão adotados neste trabalho.

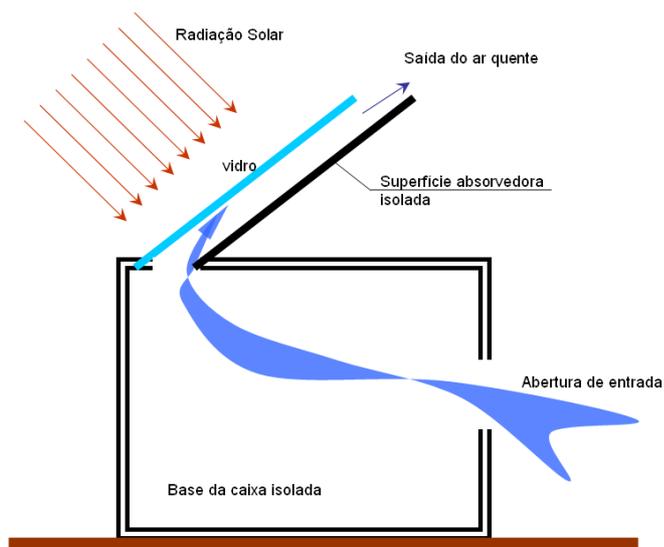


Figura 3.10 – Esquema do modelo adotado por Mathur (et al, 2006)

Fonte: Mathur (et al, 2006)

Esta etapa do trabalho consistiu na calibração das simulações, visto que não haviam medições dos coeficientes de pressão para edificações idênticas às consideradas neste trabalho, de modo a verificar a consistência dos dados obtidos para o modelo adotado, pois, como mencionado anteriormente, não aplicou-se neste trabalho os objetos específicos para “chaminé térmica” disponibilizado pelo *software* utilizado.

Desse modo, foi possível realizar a primeira simulação para calibração do Módulo *AirflowNetwork*, além de verificar a possibilidade de utilização deste módulo para simular chaminés solares. Observou-se a possibilidade de utilização do módulo, devido à semelhança entre os valores medidos por Mathur et al (2006) e as simulações realizadas com o EnergyPlus, conforme observado nas figuras 3.11 e 3.12

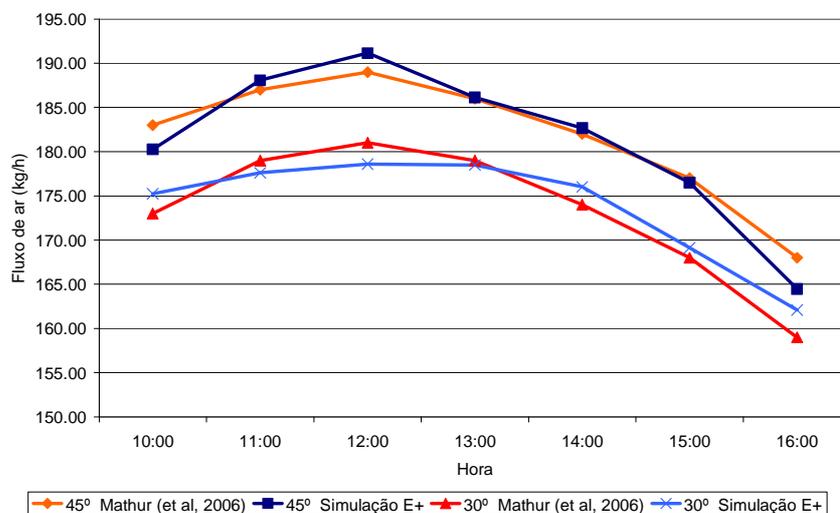


Figura 3.11 – Gráfico comparativo dos fluxos de ar medidos por Mathur (et al, 2006) e Simulados no EnergyPlus

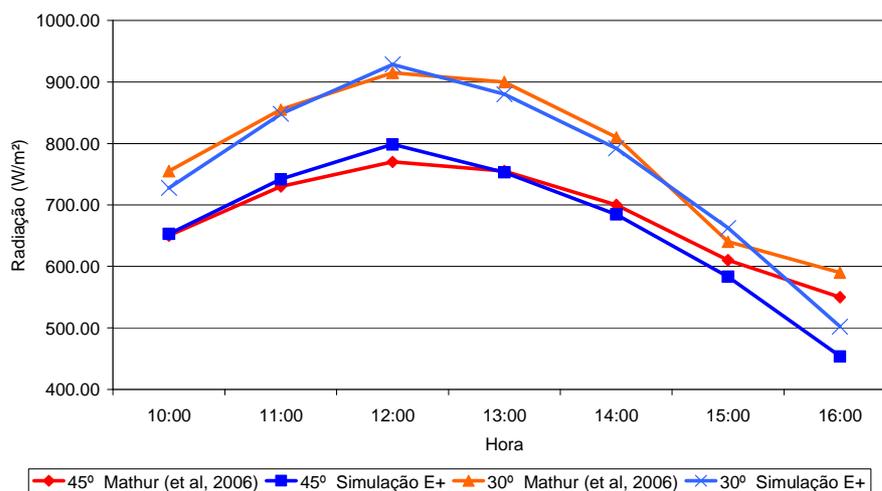


Figura 3.12 – Gráfico comparativo das radiações incidentes no coletor medidos por Mathur (et al, 2006) e Simulados no EnergyPlus

Para as simulações considerou-se a direção do vento variando a cada 45 graus (Figura 3.13), e todas as áreas para entrada e saída do ar sempre abertas, permitindo a circulação permanente do ar.

[0002]	Material:NoMass		
[0001]	WindowMaterial:Glazing		
[0008]	Construction		
[0001]	GlobalGeometryRules		
[0002]	Zone		
[0018]	BuildingSurface:Detailed		
[0005]	FenestrationSurface:Detailed		
[0001]	AirflowNetwork:SimulationControl		
[0002]	AirflowNetwork:MultiZone:Zone		
[0010]	AirflowNetwork:MultiZone:Surface		
[0001]	AirflowNetwork:MultiZone:ReferenceCrackConditions		
[0010]	AirflowNetwork:MultiZone:Surface:Crack		
[0003]	AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening		
[0008]	AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode		
[0001]	AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray		
[0009]	AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues		

Field	Units	Obj1
Name		Cp Data
Wind Direction 1	deg	0
Wind Direction 2	deg	45
Wind Direction 3	deg	90
Wind Direction 4	deg	135
Wind Direction 5	deg	180
Wind Direction 6	deg	225
Wind Direction 7	deg	270
Wind Direction 8	deg	315
Wind Direction 9	deg	
Wind Direction 10	deg	

Figura 3.13– Características do vento para definição dos coeficientes de pressão nas superfícies

Na elaboração dos *Designdays*, optou-se por manter a velocidade do vento externa igual a 0,01m/s, de modo a verificar apenas a ventilação gerada pelo efeito chaminé (diferença de pressão) e pelo efeito estufa no interior da chaminé solar, minimizando os efeitos gerados pela força do vento exterior, além de propor soluções para regiões com alta densidade urbana, onde a ventilação natural na altura das aberturas é muitas vezes imperceptível pelo ser humano.

### 3.2 – FORMA DE ANÁLISE DOS DADOS

Neste trabalho, aplicou-se o método comparativo a partir de simulações computacionais. Este método baseia-se em um modelo de referência (neste caso uma edificação com chaminé convencional), comparando os resultados com os obtidos para os demais modelos analisados.

Os resultados são apresentados na forma de imagens e textos, a fim de fornecer aos profissionais da construção civil material informativo que permita uma avaliação adequada do desempenho do dispositivo arquitetônico aqui examinado, em relação à ventilação natural de futuras edificações para as cidades analisadas, nas diversas regiões do território brasileiro.

Quanto a elaboração dos modelos simplificados, foram realizadas regressões utilizando o software Origin 8.0, um programa para geração de gráficos e tratamento de dados estatísticos. A partir da correlação encontrada entre as variáveis estudadas neste trabalho.

# 4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Esta seção apresenta as cidades consideradas para as simulações deste trabalho, os resultados das simulações para cada caso analisado e as comparações desenvolvidas a partir das simulações computacionais.

## 4.1 – CIDADES SIMULADAS

### 4.1.1 – CURITIBA - PR

Curitiba está localizada na região Sul do Brasil (Figura 4.1) na Zona Bioclimática 01, ao Sul do Trópico de Capricórnio, onde os sistemas atmosféricos intertropicais e polares travam confrontos, além de sua localização na borda oriental do Primeiro Planalto Paranaense em altitudes de 900m. Curitiba caracteriza-se por apresentar temperaturas mais elevadas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando a quantidade de energia solar disponível é maior e predomina a atuação de sistemas atmosféricos intertropicais e temperaturas mais baixas nos meses de junho, julho e agosto, quando a energia solar disponível é reduzida e predomina a atuação dos sistemas atmosféricos polares. Adicionalmente, a sua situação topográfica assegura à cidade um caráter de clima mesotérmico úmido com verão quente (DANNI-OLIVEIRA, 1999).



Figura 4.1 – Localização da Cidade de Curitiba-PR

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Parana\\_Municip\\_Curitiba.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Parana_Municip_Curitiba.svg)

As principais estratégias bioclimáticas para a cidade de Curitiba segundo as recomendações da Carta bioclimática de Givoni<sup>11</sup> são o aquecimento solar passivo e Inércia Térmica para aquecimento, porém ainda requer em 1,5% das horas a ventilação natural principalmente no verão, entre os meses de dezembro e março (Figura 4.2).

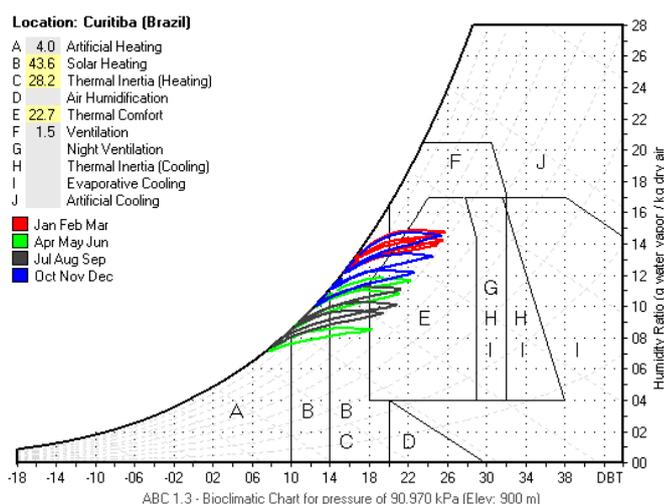


Figura 4.2 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Curitiba - PR

Fonte: Software ABC Versão 1.3 (2008)

#### 4.1.2– URUSSANGA – SC

Urussanga está localizado no estado de Santa Catarina, a 185 km da capital Florianópolis, conforme apresentado na figura 4.3. Possui uma área de 237,41 km<sup>2</sup>. Está situado na Zona Bioclimática 02 e possui segundo a metodologia proposta pela classificação climática de Köppen<sup>12</sup>, clima subtropical úmido, sem estação seca, com verão quente. As temperaturas variam entre 42,2°C (máxima) e -4,6°C (mínima), com uma média de 19,2°C. O inverno é frio e úmido com geadas ocasionais. As chuvas são bem distribuídas durante as estações do ano, não ocasionando longos períodos de secas e nem inundações freqüentes. O seu índice pluviométrico é de 1540 mm/ano e a umidade relativa do ar é de 81,5% em média. Velocidade média do vento é de 2,0m/s (MONTEIRO e FURTADO, 1995).

<sup>11</sup> Em 1992, Givoni desenvolveu uma carta bioclimática para as edificações baseada nas condições internas do edifício e propõe estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. A carta é elaborada sobre um diagrama psicrométrico, onde os dados climáticos de uma determinada região podem ser plotados na carta, obtendo as estratégias a serem seguidas.

<sup>12</sup> Classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia.



Figura 4.3 – Localização da cidade de Urussanga - SC

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina\\_Municip\\_Urussanga.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina_Municip_Urussanga.svg)

As recomendações bioclimáticas para a cidade de Urussanga conforme a carta de Givoni solicitam predominantemente estratégias para aquecimento, como Aquecimento solar passivo e Inércia Térmica para aquecimento, apenas em 0,5% das horas ocorre a solicitação de ventilação natural, entre os meses de dezembro e fevereiro, conforme é possível perceber na figura 4.4.

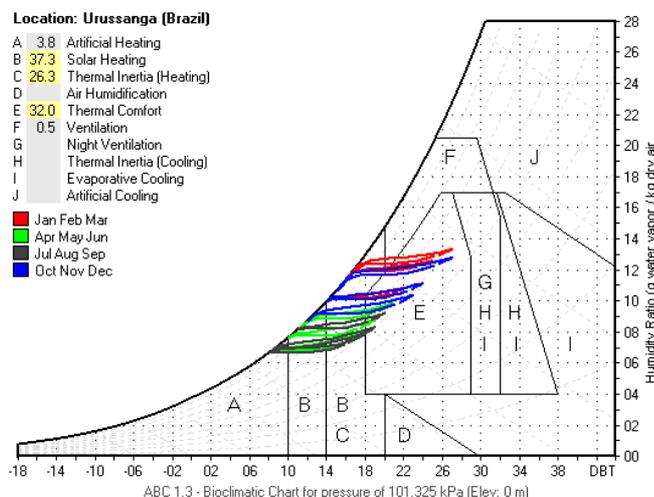


Figura 4.4 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Urussanga - SC

Fonte: Software ABC Versão 1.3 (2008)

#### 4.1.3– UBERABA – MG

Uberaba (Figura 4.5) encontra-se na latitude de 19° 59' S, longitude de 47° 53' W e altitude de 742,9 metros, no estado de Minas Gerais. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é tropical quente úmido, com inverno frio e seco. O total médio de chuvas no mês mais seco da

série foi de 12,5 mm (mês de agosto) e no mês mais chuvoso foi de 283,6 mm (mês de janeiro) e o total anual médio, de 1584,2 mm com média anual da umidade relativa de 64%. Faz parte do Planalto Arenítico Basáltico da Bacia do Paraná. O relevo varia de plano ligeiramente ondulado na maioria absoluta de área do município, até fortemente ondulado (SILVA et al, 2003).

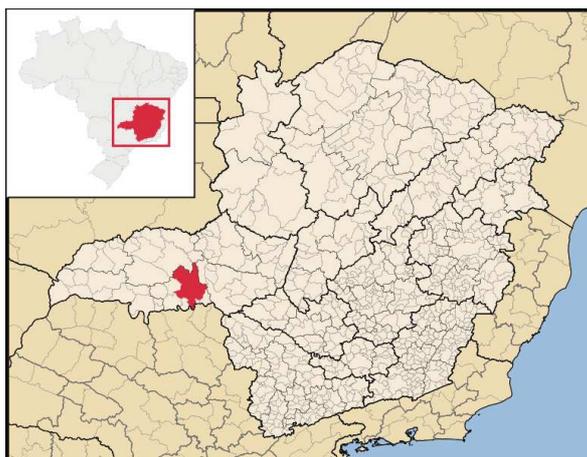


Figura 4.5: Localização da cidade de Uberaba - MG  
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MinasGerais\\_Municip\\_Uberaba.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MinasGerais_Municip_Uberaba.svg)

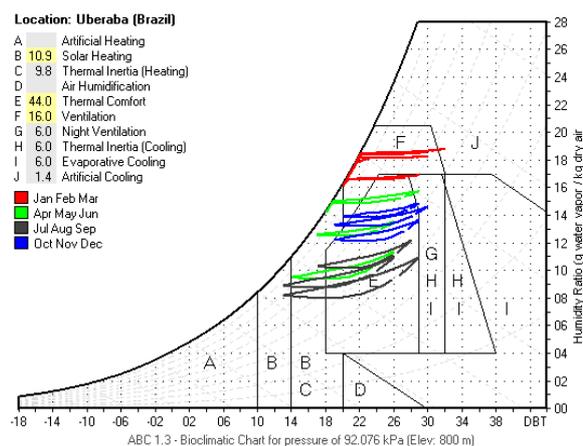


Figura 4.6: Carta Bioclimática de Givoni para Uberaba - MG  
Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

De acordo com a Norma de Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR-15220/3), a cidade de Uberaba localiza-se na zona bioclimática 3 e possui como principais estratégias bioclimáticas o aquecimento solar passivo para o inverno e a ventilação natural no verão, principalmente entre os meses de novembro e abril, conforme observa-se na figura 4.6.

#### 4.1.4 – BRASÍLIA - DF

Brasília (Figura 4.7) encontra-se a 15°50'16" sul, 47°42'48" oeste. O clima de Brasília se apresenta como semi-seco com duas estações bem definidas: a seca e a úmida. As temperaturas médias variam de 18° em julho e 23° em setembro, com grandes variações diárias e as noites mais frias. A precipitação anual é de 1750 mm e a umidade relativa é baixa. A radiação difusa é baixa enquanto a radiação direta é bastante intensa. Os ventos predominantes chuvosos vêm do Norte, enquanto os secos vêm do Sudeste. Os ventos frios normalmente atingem a região pelo Sul. Brasília encontra-se a 1.100 m do nível do mar e possui ainda o agravante de que as massas quentes conduzem pó em suspensão no período quente (GOULART et al, 1997).



Figura 4.7 – Localização da cidade de Brasília – DF

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil\\_State\\_DistritoFederal.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil_State_DistritoFederal.svg)

Segundo a Carta Bioclimática de Givoni, as recomendações para a cidade de Brasília são principalmente o aquecimento solar e a inércia térmica para aquecimento, porém para resfriar, requer ventilação natural em alguns meses (novembro a abril), como é possível observar na figura 4.8.

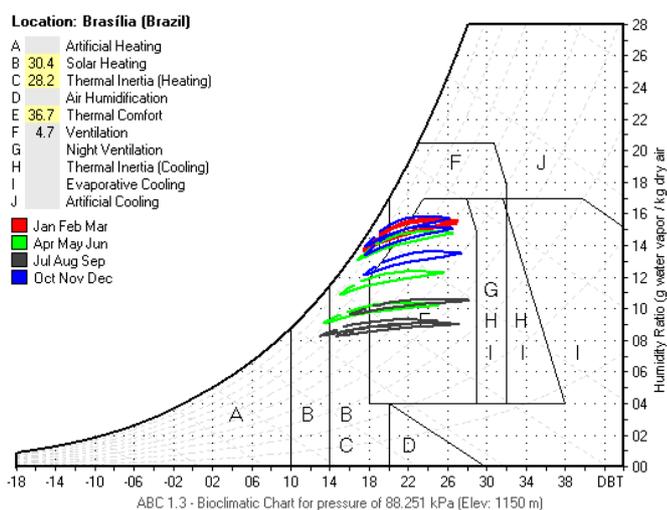


Figura 4.8 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Brasília - DF

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

#### 4.1.5 – ARAÇATUBA - SP

Araçatuba (Figura 4.9) é um município do Estado de São Paulo. Localiza-se a uma latitude 21°12'32" sul e a uma longitude 50°25'58" oeste, com uma altitude de 390 m. O Clima de Araçatuba é o Tropical com seca no inverno (Classificação Climática de Köppen), com Médias anuais de 25,0°C, sendo o mês mais quente o de janeiro com 28,3°C e o mês mais frio o julho com 19,8°C. A máxima absoluta já registrada foi de 43,5°C e a mínima absoluta foi de 3,8°C (SOARES FILHO, 2001).

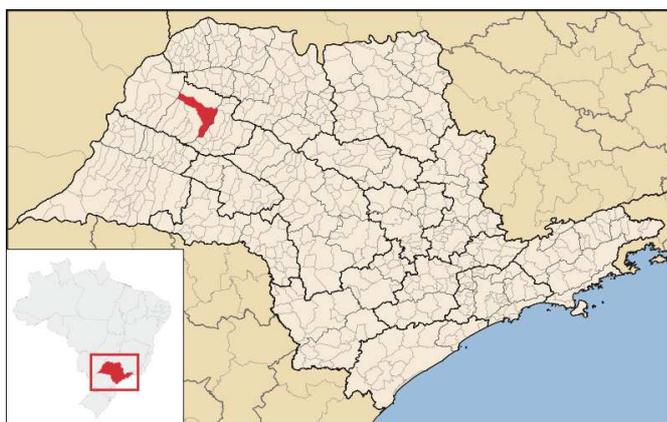


Figura 4.9 – Localização da cidade de Araçatuba – SP.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SaoPaulo\\_Municip\\_Aracatuba.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SaoPaulo_Municip_Aracatuba.svg)

A Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Araçatuba apresenta solicitação de ventilação natural no verão (Dezembro a Março) incluindo a ventilação noturna, como pode-se observar na figura 4.10.

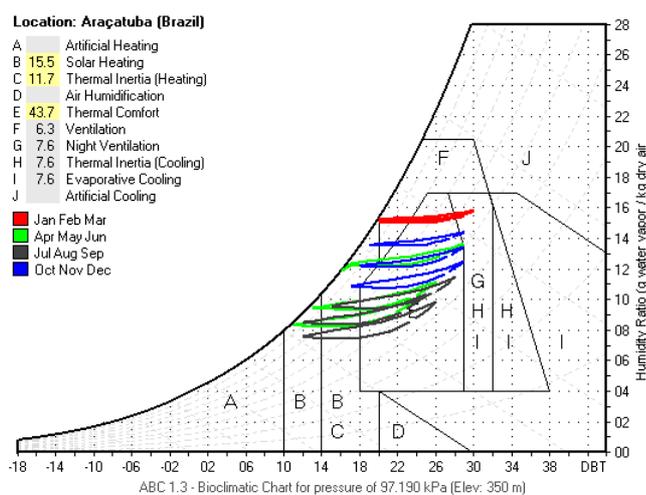


Figura 4.10 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande - MS

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

#### 4.1.6 – CAMPO GRANDE - MS

Campo Grande (Figura 4.11) é um município da região Centro-Oeste, capital do estado de Mato Grosso do Sul. Está localizado geograficamente na porção central deste estado. Possui uma latitude 20°26'34" Sul e uma longitude 54°38'47" Oeste. O clima predominante de Campo Grande, conforme classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso de Savana, caracterizado por má distribuição anual das chuvas, com ocorrência bem definida de um período seco durante os meses mais frios do ano e um período chuvoso durante os meses de verão. A temperatura média anual é em torno de 23°C; dezembro é o mês mais quente, aproximadamente 25°C, e junho o mais frio, com 18°C em média (OLIVEIRA et al, 2003).

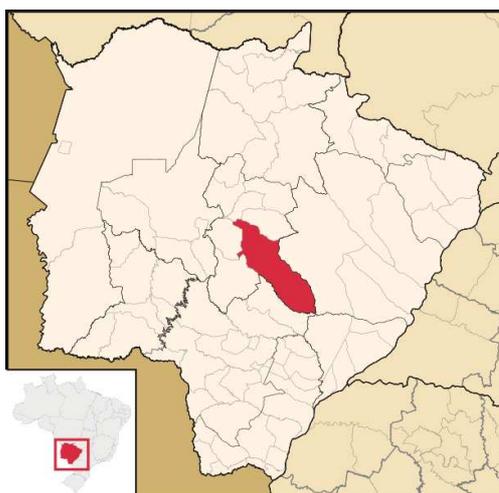


Figura 4.11 – Localização da cidade de Campo Grande – MS.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MatoGrossodoSul\\_Municip\\_CampoGrande.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MatoGrossodoSul_Municip_CampoGrande.svg)

A figura 4.12 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Campo Grande ao longo do ano, segundo a Carta de Givoni, que indica que em 22.9% das horas do ano há a necessidade de ventilação natural, tornando esta uma das principais estratégias para obtenção de conforto, juntamente com o aquecimento solar passivo e a Inércia Térmica para aquecimento.

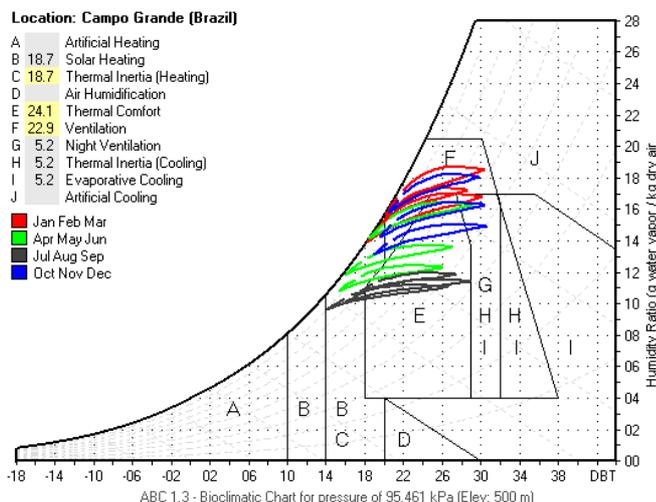


Figura 4.12 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande - MS

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

#### 4.1.7 – PETROLINA – PE

Petrolina (Figura 4.13) é um município pernambucano, banhado pelo rio São Francisco, localizado a uma latitude 09°23'55" sul e a uma longitude 40°30'03" oeste. Em conjunto com o vizinho município de Juazeiro, na Bahia, forma o maior aglomerado urbano do semi-árido. O clima da região é do tipo BSwH, segundo a classificação de Köppen, que corresponde a uma região climaticamente árida, com período chuvoso de janeiro a abril (TEIXEIRA e AZEVEDO, 1996).



Figura 4.13 – Localização da cidade de Petrolina – PE.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Petrolina.png>

As recomendações para a cidade de Petrolina segundo a Carta Bioclimática de Givoni apresentam estratégias como Inércia Térmica para resfriamento e Resfriamento evaporativo como as principais

solicitações para obtenção de conforto, porém, em alguns momentos, principalmente no verão, em que há a necessidade de ventilação natural, conforme apresentado na figura 4.14.

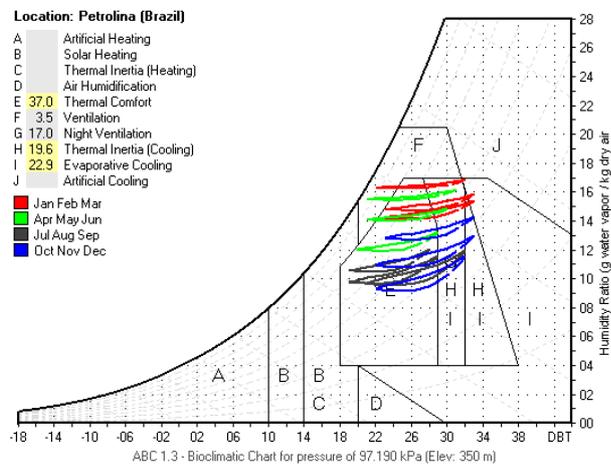


Figura 4.14 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Petrolina – PE.

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

#### 4.1.8 – BELÉM – PA

Belém (Figura 4.15) é a capital do Pará e localiza-se próximo à linha do Equador, com latitude de 01°27'21" sul e longitude 48°30'14", com clima quente e úmido, tipicamente equatorial, que sofre influência direta da floresta amazônica, onde as chuvas são constantes. O índice pluviométrico é de 2889 mm(ano) (GOULART et al, 1997).



Figura 4.15 – Localização da cidade de Belém – PA

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Para\\_Municip\\_Belem.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Para_Municip_Belem.svg)

A figura 4.16 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Belém, conforme a Carta Bioclimática de Givoni, na qual pode-se observar a ampla necessidade de ventilação natural (70.7% das horas anuais) ao longo de todo ano, além de resfriamento artificial.

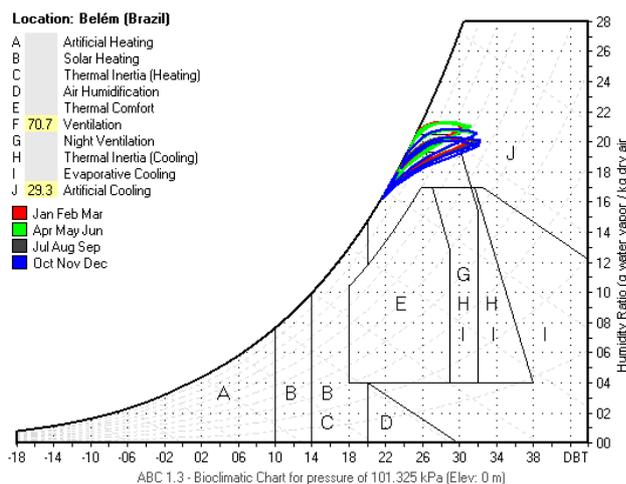


Figura 4.16 – Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Belém – PA.

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

#### 4.2 – CHAMINÉ CONVENCIONAL

As figuras 4.17 a 4.24 apresentam o comportamento da temperatura no interior da chaminé e da TBS (Temperatura de Bulbo Seco) do ar exterior ao longo dos dias de projeto considerados neste trabalho.

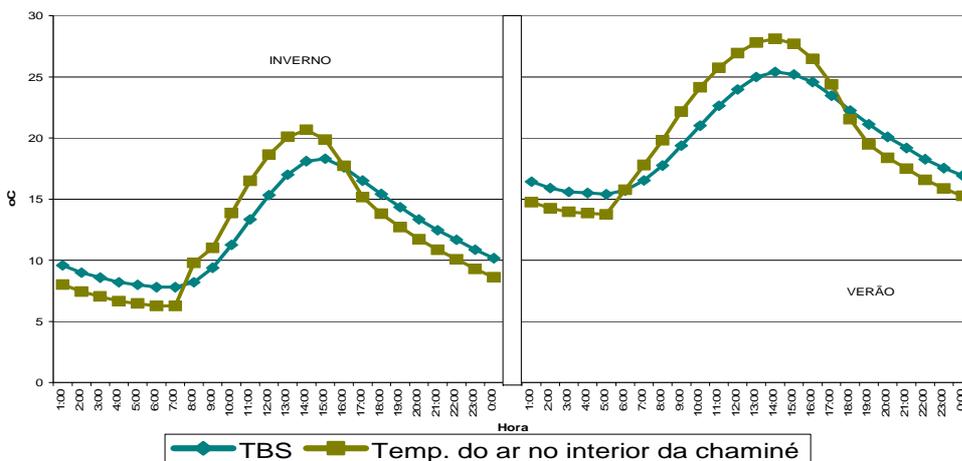


Figura 4.17 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Curitiba – PR

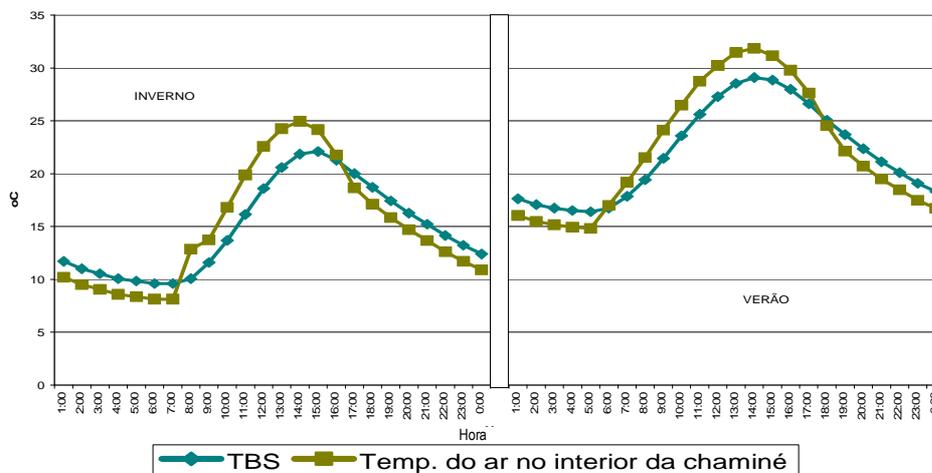


Figura 4.18 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Urussanga – SC.

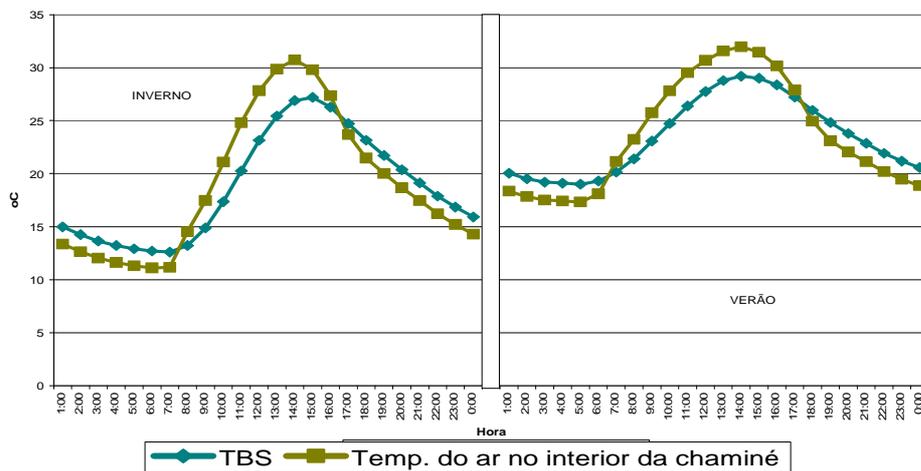


Figura 4.19: Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Uberaba – MG.

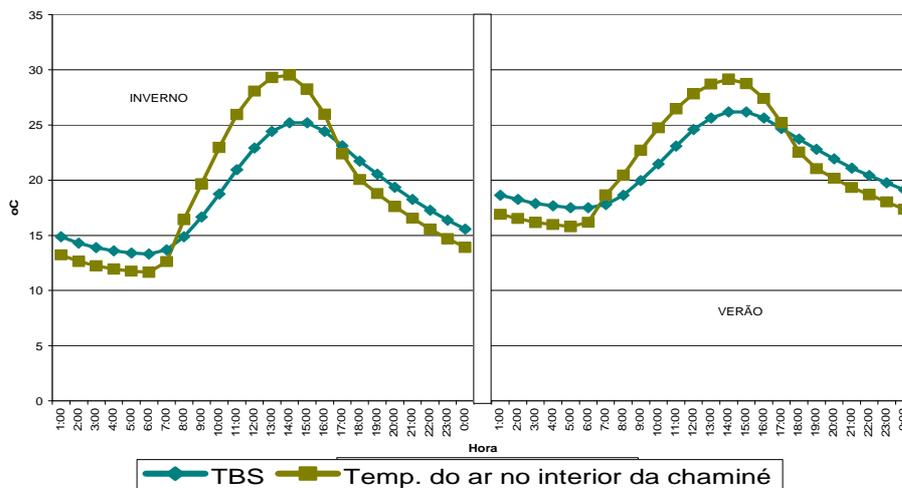


Figura 4.20 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Brasília – DF.

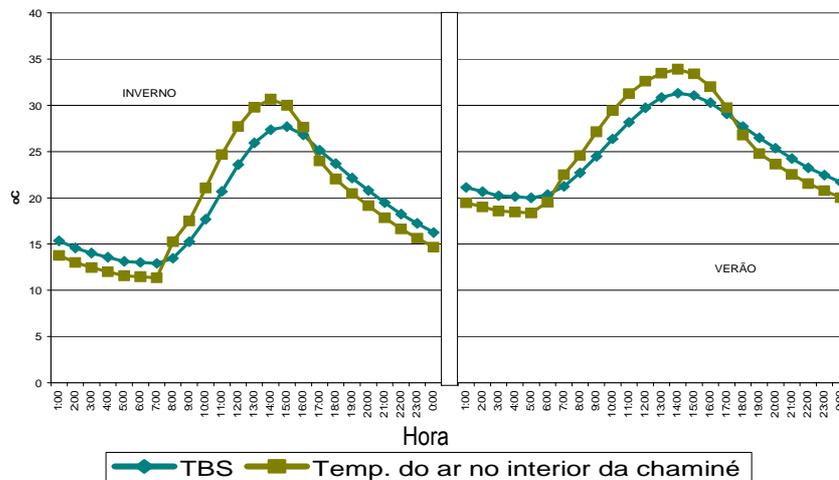


Figura 4.21 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Araçatuba – SP.

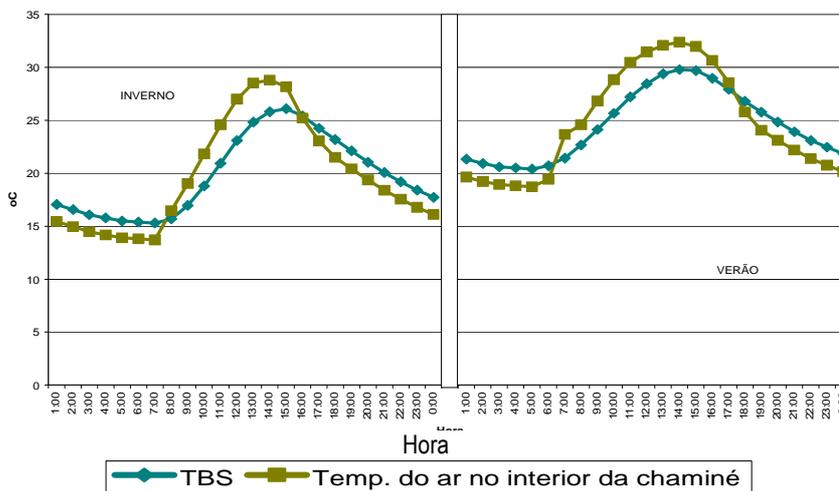


Figura 4.22 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Campo Grande – MS.

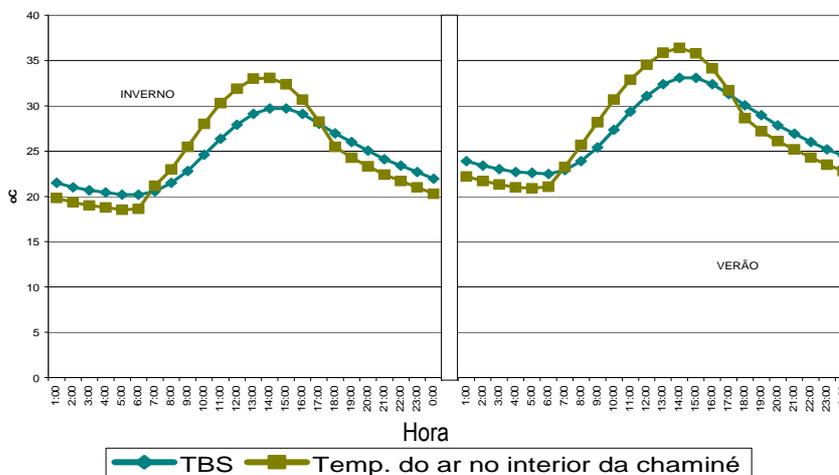


Figura 4.23 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Petrolina – PE.

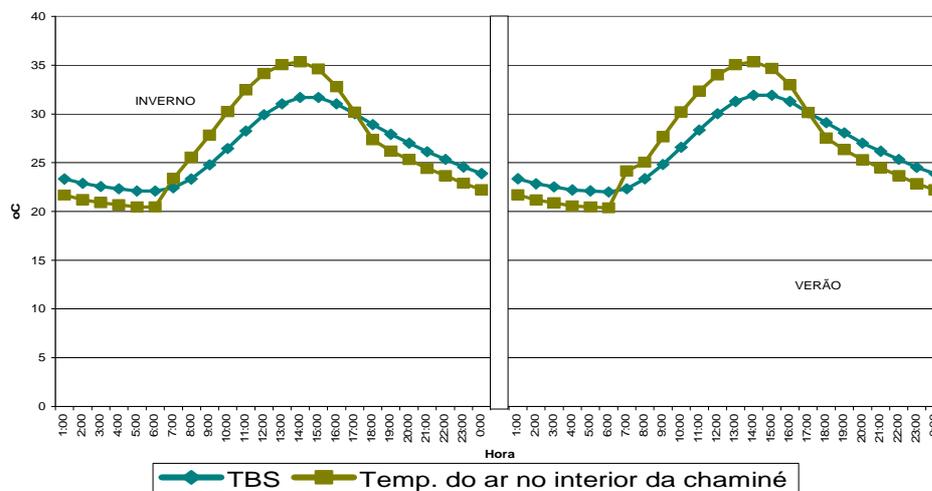


Figura 4.24 – Gráfico do comportamento da temperatura (°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para o modelo com chaminé convencional na cidade de Belém – PA.

A chaminé convencional comporta-se de modo a incrementar a ventilação natural durante o dia, quando há incidência de radiação solar, nota-se que ocorre um aquecimento do ar no interior da chaminé no período diurno, onde a diferença de temperatura ( $\Delta t$ ) entre o ar no interior da chaminé e a TBS externa pode chegar a 4°C, mesmo no período de inverno, em decorrência das trocas térmicas entre as placas de alumínio e o ar, à medida em que estas placas recebem calor por radiação solar.

Este aumento da temperatura do ar interno é provocado principalmente pelas trocas térmicas entre o ar no interior da chaminé e as placas de alumínio que compõem a chaminé, pois estas superfícies possuem alta absorvância, favoreceu o efeito chaminé e conseqüentemente houve um incremento da ventilação natural no interior deste espaço.

Observa-se que caso não houvesse o aquecimento das placas de alumínio que compõem a chaminé por meio da radiação solar, o fluxo do ar alcançaria valores entre 100 e 111Kg/h, pois durante o período noturno as placas estão perdendo calor para o ambiente externo e alcançando temperaturas abaixo da TBS externa, porém conforme ocorre este aquecimento, a taxa de ventilação natural também aumenta chegando a aproximadamente 171 Kg/h no inverno e 166 Kg/h de ar no verão, para as cidades em que este dispositivo apresentou melhor potencial nos horários próximos ao meio dia, quando há maior incidência de radiação solar nas placas de alumínio (Figura 4.25).

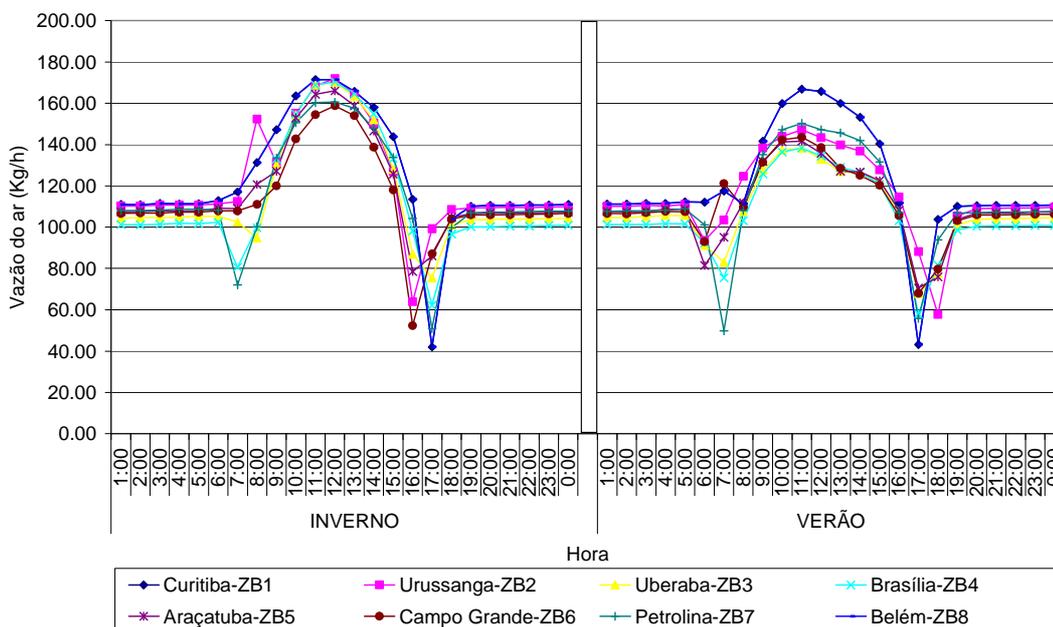


Figura 4.25 – Gráfico do comportamento do fluxo de ar (Kg/h) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.

Deve-se observar também que ocorre uma inversão no sentido do fluxo de ar durante os períodos com e sem a incidência de radiação solar nas placas de alumínio (dia e noite), conforme apresentado na figura 4.26, onde é possível perceber que a chaminé no período da noite funciona como uma chaminé captadora do ar exterior. Esta inversão ocorre nos momentos em que a temperatura do ar no interior da chaminé se iguala à TBS exterior.

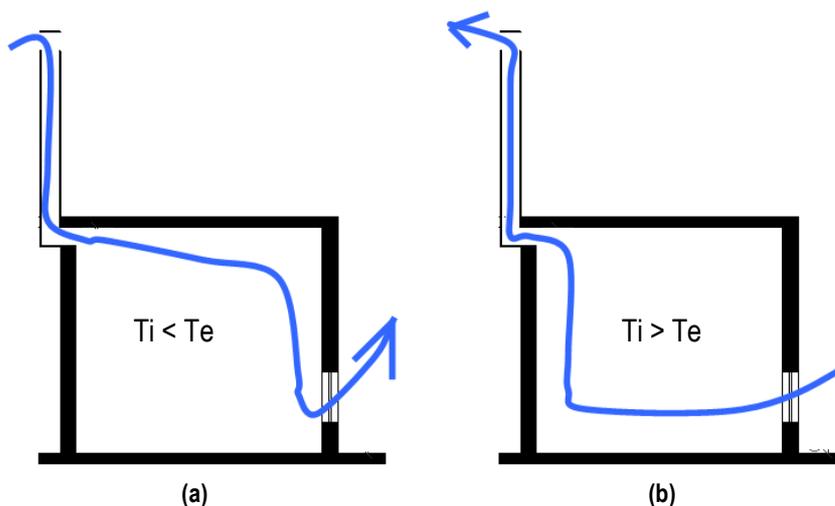


Figura 4.26 – Esquema do fluxo do ar no interior das edificações analisadas (a) para o período noturno e (b) para o período diurno.

Onde:  $T_i$  – Temperatura do ar no interior da Chaminé,  $T_e$  – Temperatura do ar no exterior (TBS)

Em relação à vazão do volume do ar, observa-se que estes valores para o período noturno assumem valores entre 0,026 e 0,028 m<sup>3</sup>/s, no sentido em que a chaminé funciona como abertura de entrada do ar, havendo uma diminuição desta vazão no período em que ocorre a inversão do fluxo, no período diurno. Para este período, há um incremento significativo da ventilação natural, conforme pode-se observar na figura 4.27.

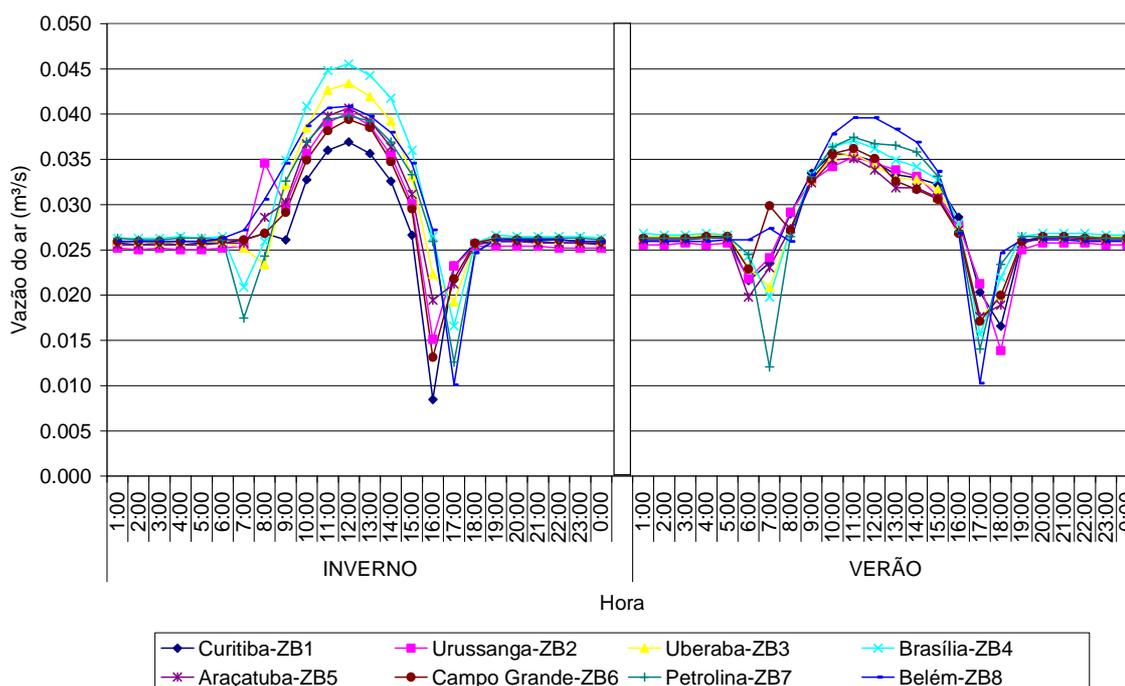


Figura 4.27 – Gráfico do comportamento da vazão do ar (m<sup>3</sup>/s) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.

A velocidade do vento no interior da chaminé convencional, no período noturno ficou aquém do valor mínimo (0,15m/s) para percepção humana, atingindo um valor máximo de 0,146m/s para as cidades de Brasília e Petrolina no inverno e no verão atingindo valores máximos de 0,146m/s em Uberaba e 0,149m/s em Brasília, porém, ainda assim este dispositivo promoveu uma renovação do ar no interior do ambiente, promovendo a remoção de poluentes e impurezas do ar.

Já para o período diurno, observou-se um incremento de aproximadamente 0,08m/s para a velocidade do vento no inverno em relação à ventilação natural do período noturno com a utilização do mesmo dispositivo arquitetônico, sendo a cidade de Curitiba a que obteve menor incremento no inverno (0,06m/s) e Brasília a cidade que apresentou o melhor desempenho, com incremento de aproximadamente

0,09m/s. No verão, a cidade de Belém, apresentou o melhor desempenho com incremento da ventilação natural em 0,08m/s, conforme pode-se observar na figura 4.28.

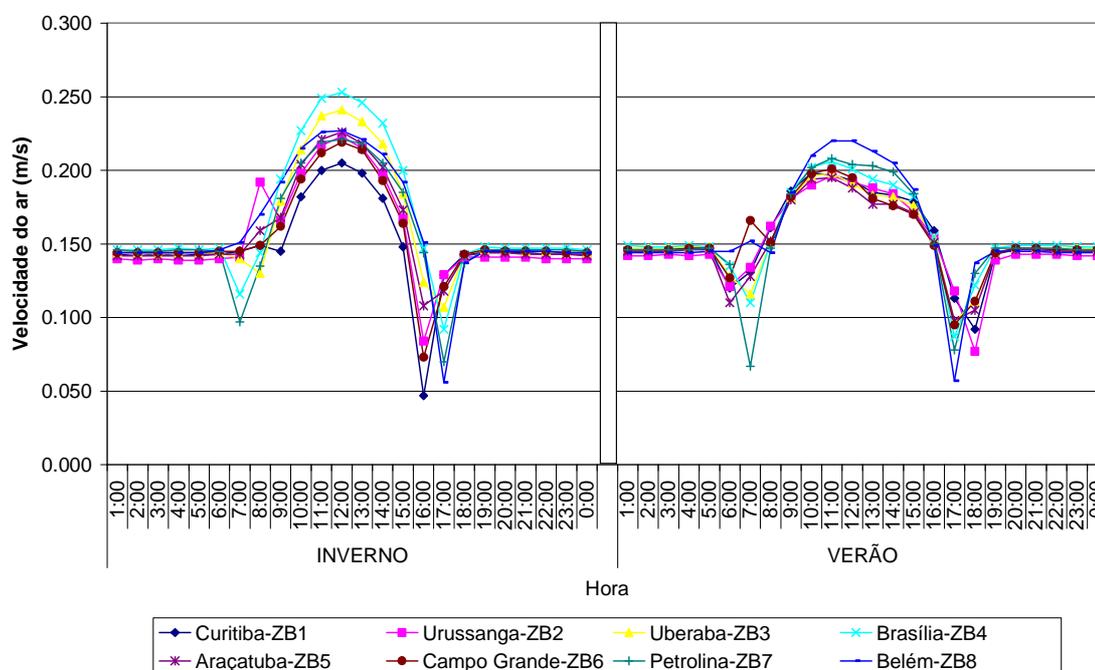


Figura 4.28 – Gráfico do comportamento da velocidade média do ar (m/s) no inverno e no verão para o modelo com chaminé convencional nas cidades simuladas.

### 4.3 – CHAMINÉ SOLAR

Para os modelos dotados de chaminé solar, em que ocorre a inserção de um coletor solar, também ocorre o aquecimento do ar no interior da chaminé, porém, neste caso há o incremento do efeito estufa provocado pelo vidro do coletor, o que acentua a diferença de temperatura ( $\Delta t$ ) entre as temperaturas do ar interno e do ar externo, podendo chegar a 6°C no inverno e 7°C no verão.

As figuras 4.29 a 4.36 apresentam o comportamento da temperatura do ar externo para cada uma das cidades simuladas, além da média das temperaturas obtidas para o interior da chaminé solar em cada um dos casos analisados.

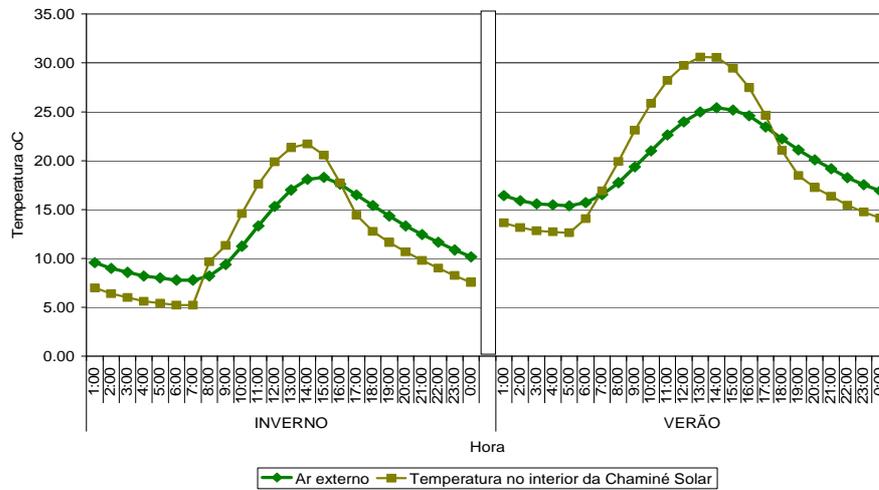


Figura 4.29 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Curitiba – PR.

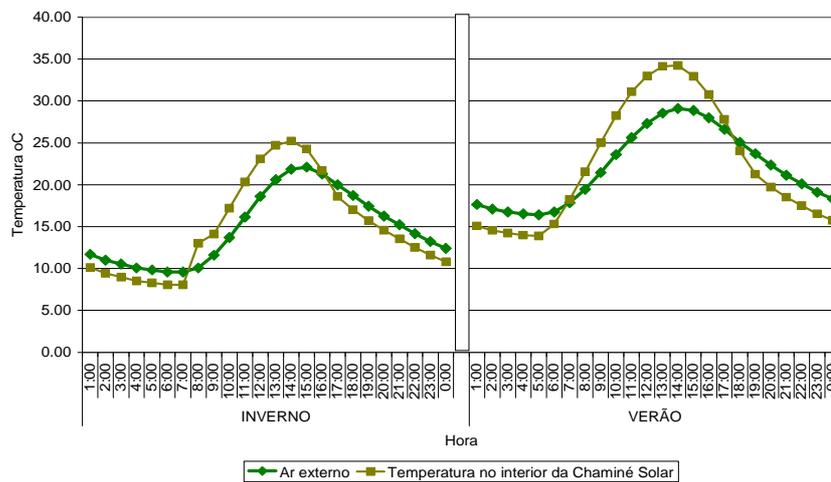


Figura 4.30 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Urussanga - SC.

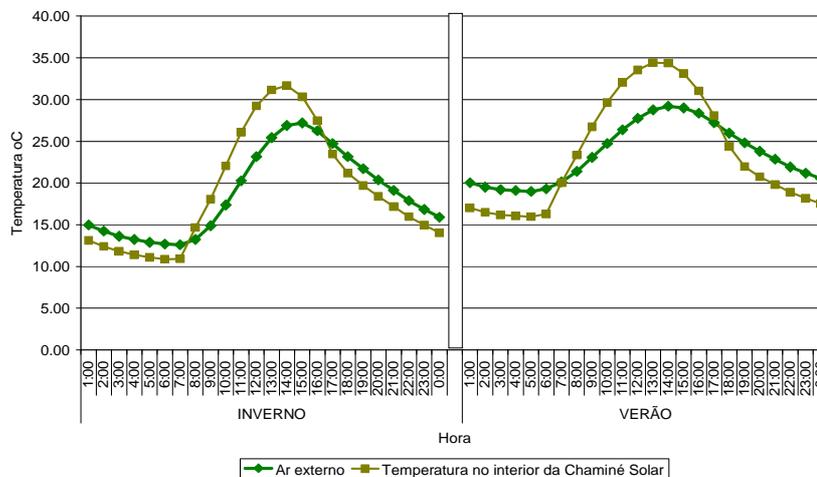


Figura 4.31 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Uberaba - MG.

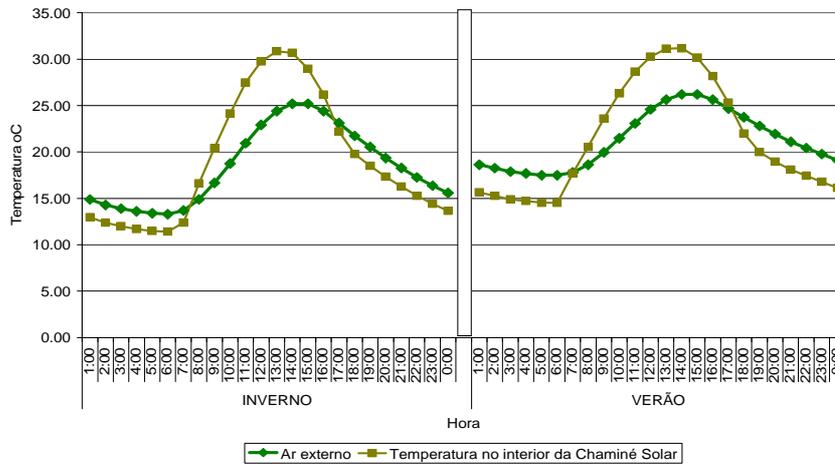


Figura 4.32 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Brasília - DF.

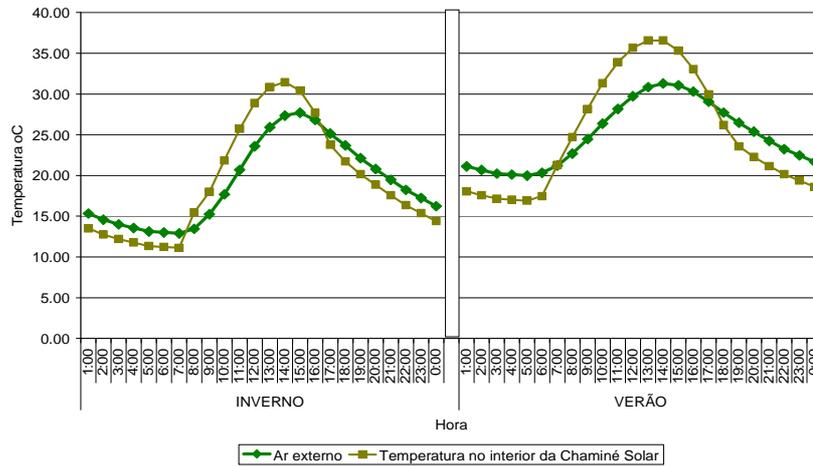


Figura 4.33 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Araçatuba - SP.

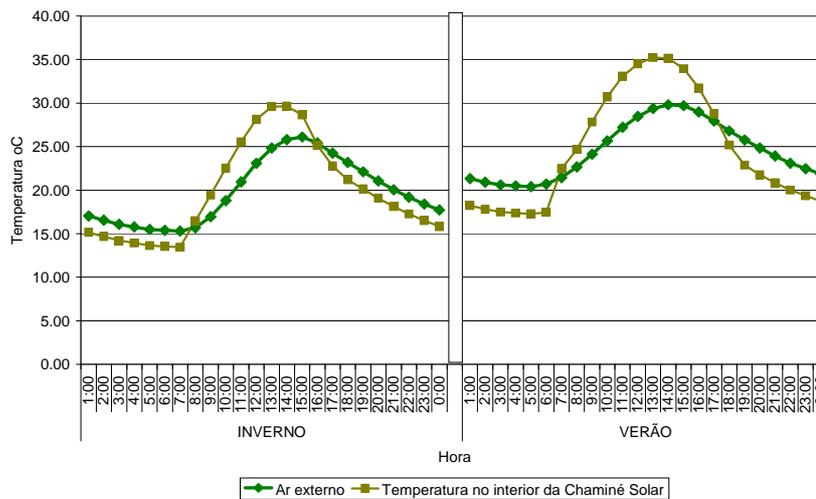


Figura 4.34 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Campo Grande - MS.

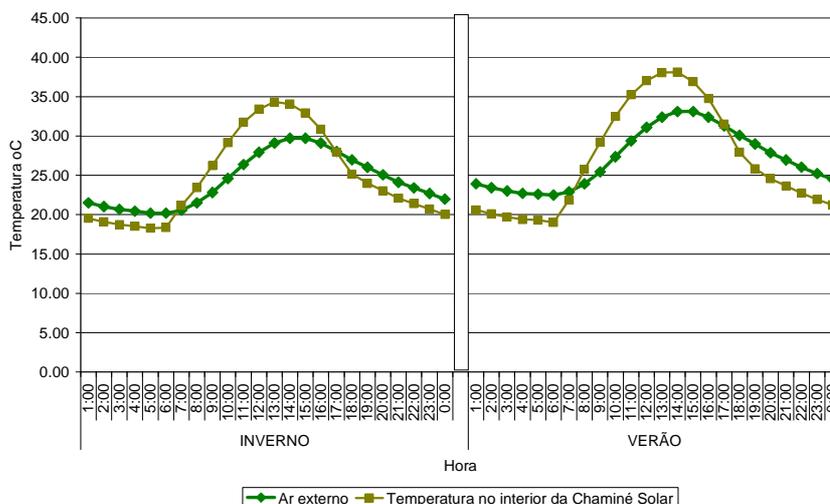


Figura 4.35 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Petrolina - PE.

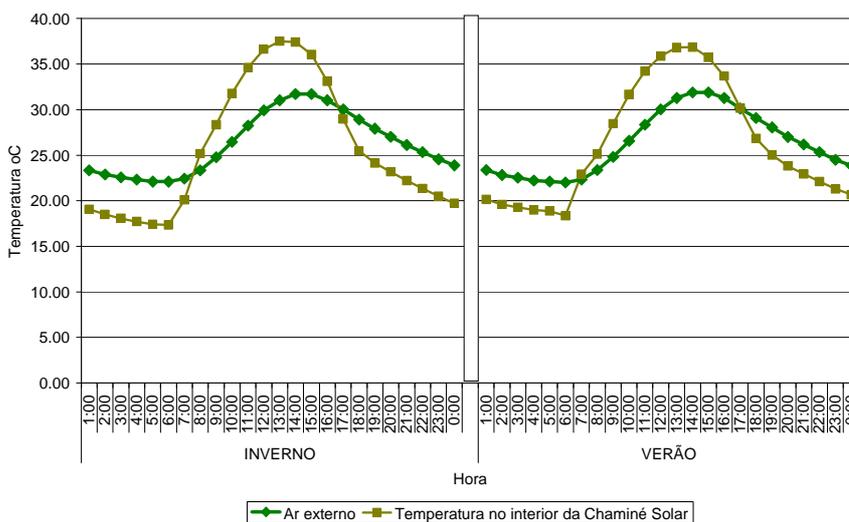


Figura 4.36 – Gráfico do comportamento da temperatura(°C) do ar no exterior e do ar no interior da chaminé para os modelos com chaminé solar na cidade de Belém - PA.

Ocorre então o aumento da ventilação natural no interior destes espaços, para mais de 180 Kg/h de ar no período de inverno, com exceção da cidade de Curitiba, onde neste período a ventilação natural é uma estratégia de projeto indesejável, e mais de 160Kg/h de ar no verão para todas as cidades simuladas. Estes valores geram um incremento de aproximadamente 35% na taxa de ventilação no inverno e 39% no verão (Figura 4.37).

Para estes casos, também ocorre a inversão do fluxo do ar entre o dia e a noite, devido à incidência de radiação solar. Observe-se que nas simulações não foram consideradas cargas térmicas

internas ao ambiente padrão, que poderiam gerar aquecimento do ar no interior da célula, elevando a necessidade de ventilação e as diferenças de temperatura entre interior e exterior.

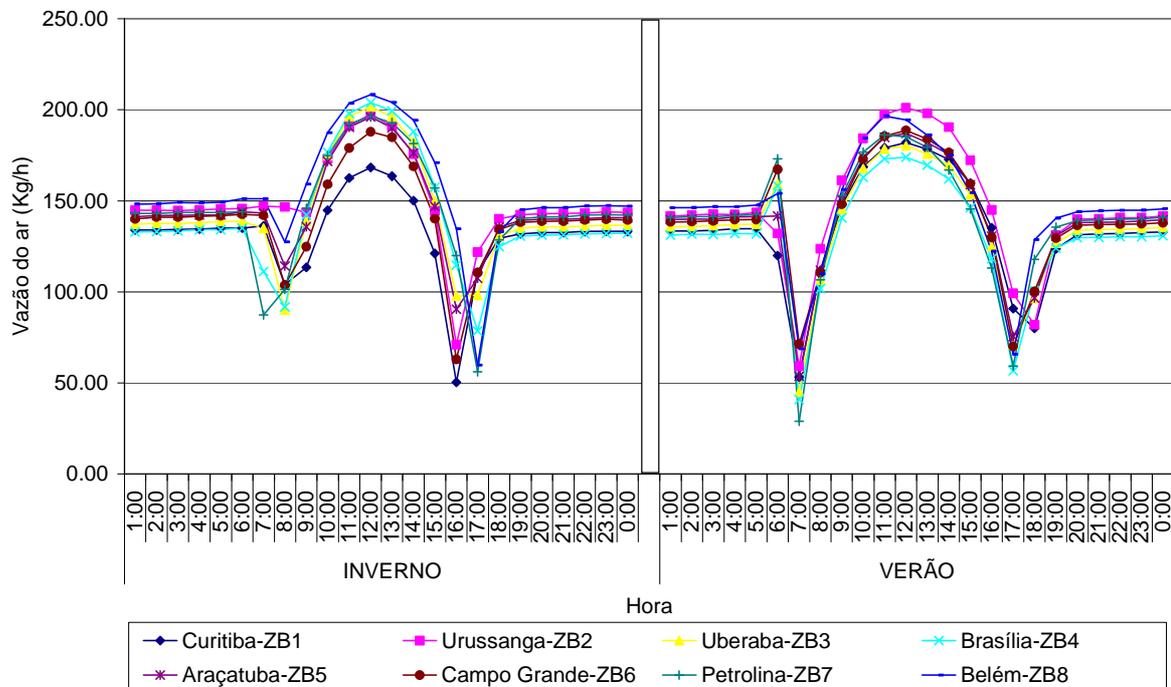


Figura 4.37 – Gráfico do comportamento do fluxo de ar (Kg/h) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.

Observa-se então a partir destas figuras que o aumento da ventilação natural depende da diferença da temperatura entre o ar no interior da chaminé e a TBS externa ( $\Delta t$ ) e não apenas do aumento da temperatura, pois embora no verão a temperatura do ar interno em algumas cidades, como é o caso de Uberaba, aproxime-se de 33°C, este  $\Delta t$  foi menor que no inverno, quando ocorreu um  $\Delta t$  de 6,5°C, resultando uma ventilação natural maior no inverno que no verão.

Sabe-se também que a variação da temperatura interna do ar depende principalmente da radiação solar incidente no coletor, provocando o efeito estufa no interior da chaminé e conseqüentemente aumentando a temperatura do ar interno. Pode-se então afirmar que o incremento da ventilação natural no interior de espaços dotados de chaminé solar depende da diferença de temperatura ( $\Delta t$ ) entre o ar interno e o ar externo e da radiação solar incidente no coletor solar.

Estes valores evidenciaram a eficiência do dispositivo arquitetônico estudado em relação ao fenômeno da ventilação natural, conforme pode-se observar na figura 4.38 onde é apresentado a distribuição da vazão volumétrica do ar ( $m^3/s$ ).

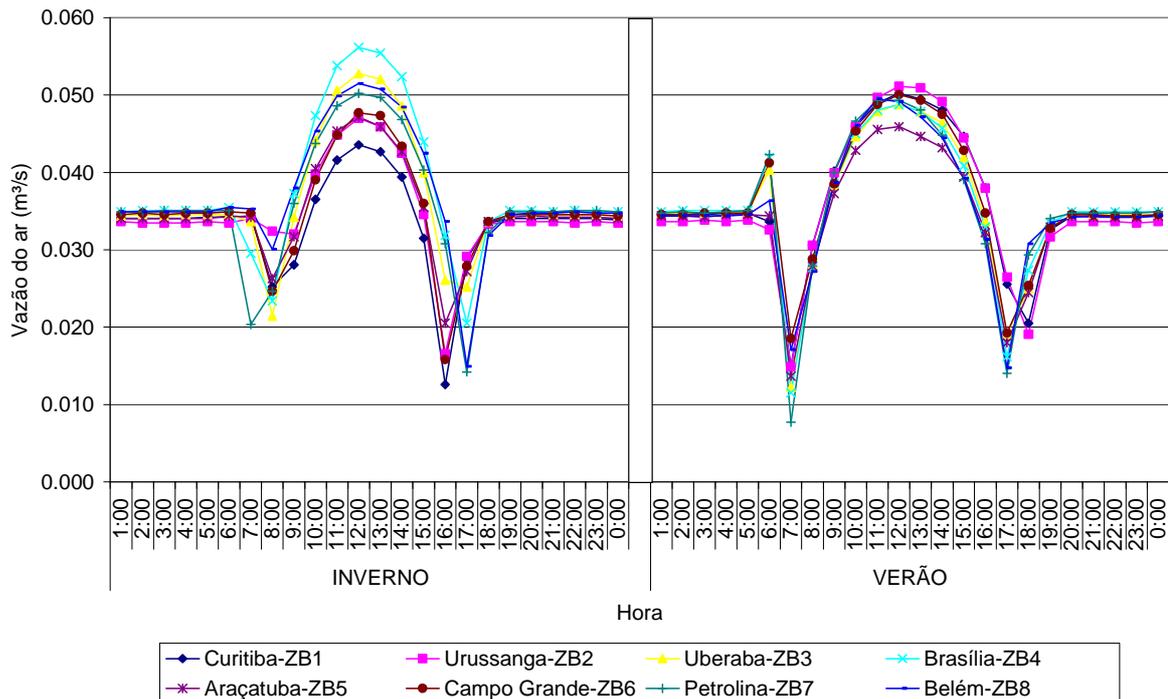


Figura 4.38 – Gráfico do comportamento da vazão do ar ( $m^3/s$ ) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.

Quanto à velocidade do ar ( $m/s$ ), mesmo no período noturno a velocidade do ar apresentou valores acima do mínimo solicitado para a ventilação natural ( $1,5m/s$ ), promovendo um aumento significativo da ventilação natural no interior dos espaços que possuem chaminé solar quando comparados com espaços dotados de chaminé convencional.

A figura 4.39 apresenta a distribuição da velocidade do ar para cada uma das cidades simuladas no inverno e verão, em  $m/s$ .

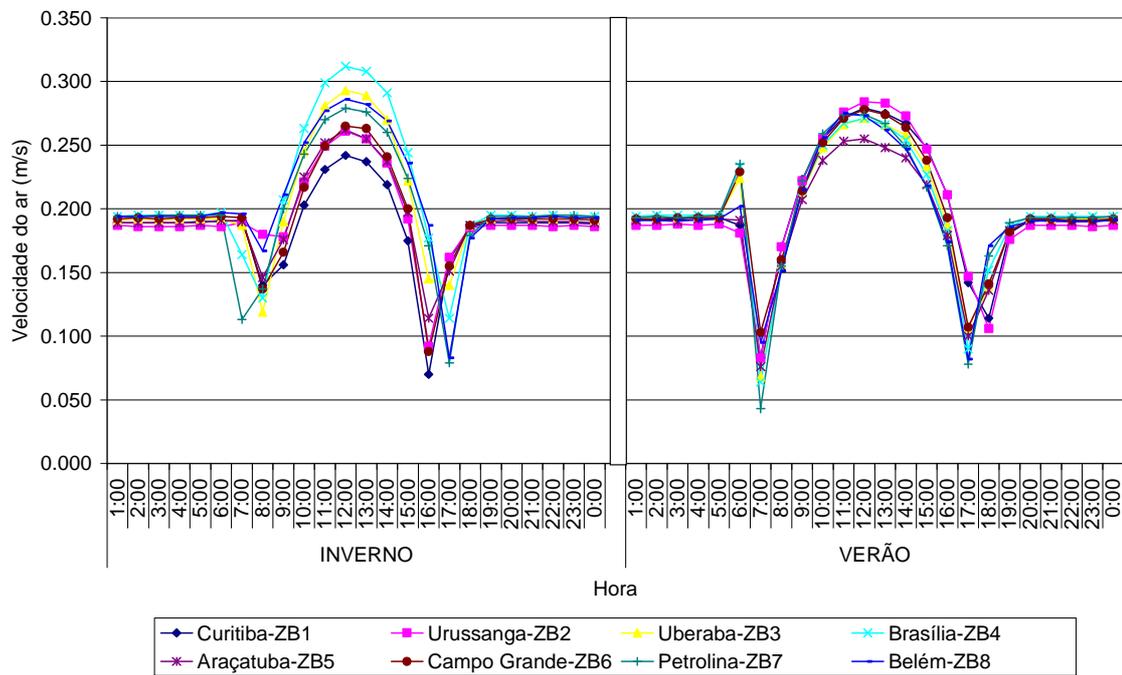


Figura 4.39 – Gráfico do comportamento da velocidade do ar (m/s) para os modelos com chaminé solar para as 8 cidades simuladas.

## 5 ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES

---

Ao comparar os modelos dotados de chaminé solar com o modelo que possui a chaminé convencional, observa-se um incremento significativo na ventilação diurna decorrente da implantação deste dispositivo, que promove um efeito estufa no interior da chaminé tornando o ar menos denso e mais aquecido que o ar exterior, favorecendo a ventilação pelo efeito chaminé.

Este incremento na ventilação natural é observado mesmo nos meses em que não há solicitação de ventilação natural, como é o caso dos meses de inverno. Para as cidades de Curitiba e Urussanga, localizadas nas zonas bioclimáticas 1 e 2, em alguns meses do ano a baixa temperatura solicita aquecimento, dispensando a ventilação natural e solicitando um mecanismo de abertura e fechamento da chaminé solar, de modo que o usuário tenha controle sobre o funcionamento deste dispositivo e utilize-o predominantemente no verão, enquanto no inverno utiliza outras estratégias para obtenção de conforto.

Observa-se também para estes casos que no período de verão, quando há solicitação de ventilação natural, embora o fluxo de ar tenha sofrido um incremento mais significativo, o que torna este dispositivo aplicável para as edificações situadas nestas zonas bioclimáticas, há pouca solicitação de ventilação natural, o que exige cautela no uso deste elemento arquitetônico.

Para a cidade de Uberaba, o uso de chaminés solares pode induzir a ventilação natural no interior dos espaços, visto que esta é uma das principais estratégias bioclimáticas para obtenção de conforto térmico para o verão nesta cidade.

Verifica-se que nas cidades de Brasília e Araçatuba, as chaminés solares promovem um incremento da ventilação natural no interior dos espaços de forma significativa, embora ocorra pouca solicitação de ventilação natural, em apenas 4,7% e 6,3% das horas durante o ano respectivamente.

Para a cidade de Campo Grande, onde a solicitação de ventilação natural ocorre principalmente nos meses entre outubro e maio (estação quente), este dispositivo apresentou resultados favoráveis para que esta estratégia fosse alcançada, incrementando a ventilação diurna nos espaços internos.

Na cidade de Petrolina, as chaminés solares incrementam a ventilação natural no interior dos espaços de forma significativa, mesmo ocorrendo pouca solicitação de ventilação natural, e necessitando de outras estratégias para resfriamento.

Deve-se ter cautela ao utilizar este dispositivo para a cidade de Petrolina, pois possui clima seco, porém uma possibilidade é associar os efeitos da ventilação natural à refrigeração evaporativa, que é uma das principais recomendações para esta cidade.

Para a cidade de Belém, o uso de chaminés solares proporcionou um incremento significativo na ventilação natural nos espaços internos e, tendo em vista que esta é a principal estratégia bioclimática para esta cidade e para toda a Zona Bioclimática 8, este dispositivo arquitetônico apresenta grande potencial de utilização durante todo o ano.

Este dispositivo pode ser melhor aproveitado se utilizado nos meses quentes, em que há solicitação de ventilação natural a partir da análise a Carta Bioclimática de Givoni, havendo a necessidade de um dispositivo de fechamento para este controle na maioria das cidades analisadas, com exceção da cidade de Belém.

A partir dos valores obtidos por simulação, pode-se afirmar que a ventilação natural induzida nos espaços internos por chaminés solares varia associada à variação da incidência de radiação solar no coletor e ao aumento da temperatura do ar no interior da chaminé, provocado pelo efeito estufa e pelas trocas térmicas entre o ar e as superfícies da chaminé.

O impacto do aumento da radiação solar incidente no coletor, uma das principais variáveis que se desejava analisar, foi avaliado em conjunto com o aumento da temperatura do ar no interior da chaminé que também influencia o incremento da ventilação natural em espaços internos a partir da inserção de chaminés solares para edificações localizadas no Brasil, tanto durante o Verão quanto no período de Inverno.

Em geral, o uso de chaminés solares mostrou-se mais eficiente no verão, com exceção na cidade de Belém, a figura 5.1 apresenta o incremento da ventilação natural para as 8 cidades analisadas no inverno e no verão a partir do uso de chaminés solares, comparando-os com o modelo de referência, dotado de chaminé convencional.

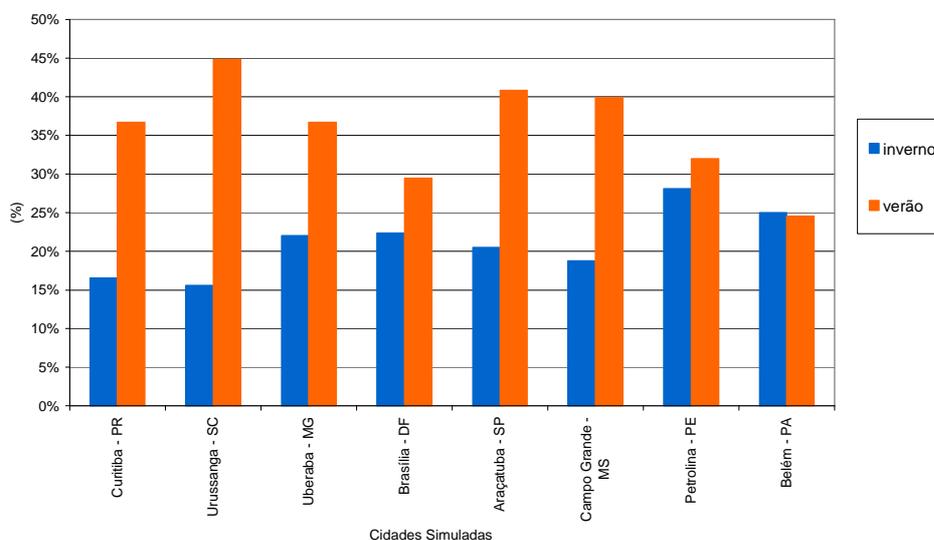


Figura 5.1 – Gráfico do incremento da ventilação natural (em porcentagem para a vazão do ar [Kg/h]) promovido pelo uso de chaminé solar em relação à chaminé convencional nas 8 cidades analisadas.

A temperatura do ar no interior da chaminé pode ser obtida a partir da regressão<sup>13</sup> linear que determina o comportamento desta variável em função da Radiação incidente no coletor solar e da temperatura do ar no ambiente externo, que originou a seguinte equação:

$$T_i = - 0.85516 + 1.0003 (T_e) + 0.01244 (Rad_{\beta}) \quad (\text{Eq.13})$$

Onde:

$T_i$  – Temperatura do ar no interior da Chaminé (°C);

$T_e$  – Temperatura do ar no exterior (°C);

$Rad_{\beta}$  – Radiação incidente no Coletor Solar ( $W/m^2$ ).

Observa-se na figura 5.2 que os valores obtidos por esta regressão estão próximos aos valores obtidos por simulação, já que os pontos distribuem-se ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero, indicando que os valores para temperatura do ar no interior da chaminé calculados tendem a estar sempre próximos aos simulados e que portanto o modelo simplificado corresponde ao comportamento encontrado por meio de simulação. Esta regressão apresentou coeficiente de correlação igual a 0.98.

<sup>13</sup> Em estatística, regressão é uma técnica que permite explorar e inferir a relação de uma variável dependente (variável de resposta) com variáveis independentes específicas (variáveis explicatórias). A análise da regressão pode ser usada como um método descritivo da análise de dados (como, por exemplo, o ajustamento de curvas) sem serem necessárias quaisquer suposições acerca dos processos que permitiram gerar os dados.

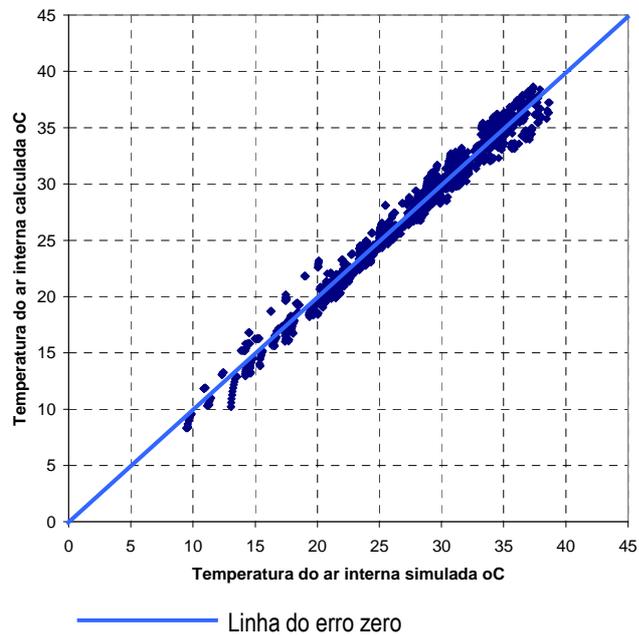


Figura 5.2 – Relação entre os valores da Temperatura do ar no interior da chaminé solar obtidos por simulação e calculador por meio do modelo simplificado.

Ao plotar a relação entre a vazão do ar e as variáveis que a influenciam, observa-se que estes pontos apresentam tendência de curva, fato que indica correlação não linear entre as variáveis analisadas (Figura 5.3).

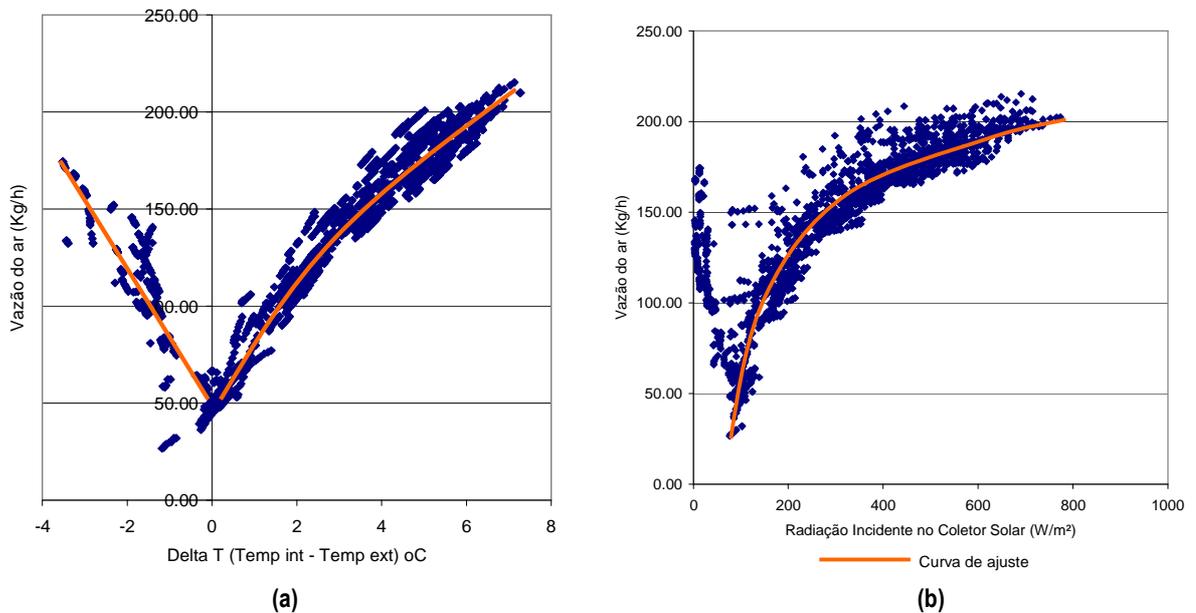


Figura 5.3 – Relação entre a Vazão do ar no interior da chaminé e (a)  $\Delta t$ , (b) Radiação Solar incidente no coletor

Por meio de regressão não linear foi possível determinar a equação cuja curva melhor represente o conjunto de pontos obtidos por simulação para estas variáveis. A partir de um modelo simplificado que permite o cálculo do fluxo do ar no interior de uma edificação dotada de chaminé solar e localizada no Brasil definida da seguinte forma:

Para  $\Delta t < 0$ , quando a Temperatura do ar no interior da Chaminé é menor que a TBS externa (normalmente durante a noite, devido ao calor emitido da chaminé para a atmosfera, por radiação em ondas longas), tem-se:

$$\text{Vazão} = 116.54737 - 1.53316 (T_i) - 23,83867 (\Delta T) - 0.60957 \text{Rad}_\beta + 0.00416 (\text{Rad}_\beta)^2 \quad (\text{Eq. 14})$$

E para  $\Delta t > 0$ , quando a Temperatura do ar no interior da Chaminé é maior que a TBS externa, tem-se:

$$\text{Vazão} = 46.1617 + 0.05564 \text{Rad}_\beta + 33.95327 (T_i - T_e) - 2.49463 (T_i - T_e)^2 \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

Vazão = Vazão do ar em Kg/h

$\text{Rad}_\beta$  – Radiação incidente no Coletor Solar ( $\text{W/m}^2$ );

$T_i$  – Temperatura do ar no interior da Chaminé ( $^\circ\text{C}$ );

$T_e$  – Temperatura do ar no exterior ( $^\circ\text{C}$ )

Nota-se na figura 5.4 que os resultados com a aplicação do modelo simplificado apresentam razoável conformidade com os obtidos através das simulações, tendo-se em conta suas limitações e as hipóteses admitidas, já que os pontos distribuem-se sempre ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero.

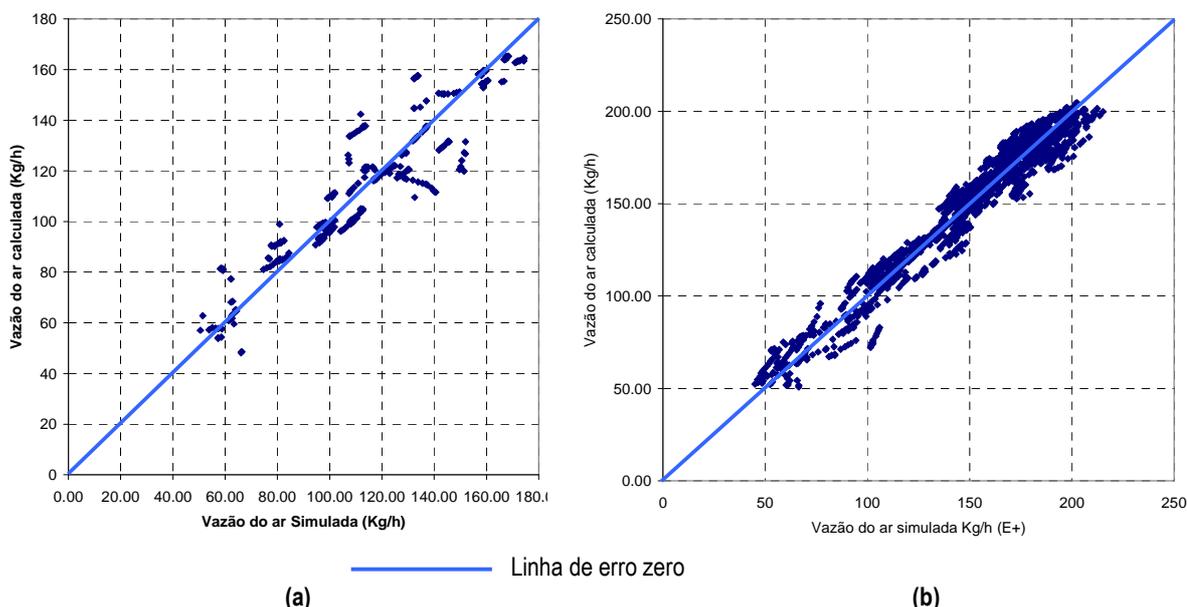


Figura 5.4 - Fluxo do ar calculado X simulado para o caso em que (a)  $\Delta t < 0$  e para o caso em que (b)  $\Delta t > 0$ .

Quanto ao Coeficiente de Correlação<sup>14</sup> para estas regressões, encontrou-se valores de 0.85 para a equação 13 e 0.95 para a equação 14, o que representa uma correlação forte e fortíssima respectivamente, além de direta entre as variáveis analisadas, tornando possível obter por meio de cálculo valores próximos aos simulados. O desvio padrão<sup>15</sup> também foi satisfatório, com valores de 4.04 quando  $\Delta t < 0$  e de 7.06 quando  $\Delta t > 0$ .

Em relação à chaminé convencional, é possível determinar a temperatura do ar no interior da chaminé em função da Temperatura do ar no exterior e da temperatura superficial nas paredes de alumínio que a compõem.

$$T_i = 0.07464 + 0.74844 (T_e) + 0.2453 (T_s) \quad (\text{Eq.16})$$

Onde:

$T_i$  – Temperatura do ar no interior da Chaminé (°C);

$T_e$  – Temperatura do ar no exterior (°C);

$T_s$  – Temperatura superficial nas paredes da chaminé (°C).

<sup>14</sup> O coeficiente de correlação representa a relação entre duas ou mais variáveis. Se existe relação direta, é positivo. Se a relação é inversa, é negativo. Este coeficiente assume apenas valores entre -1 e 1.

<sup>15</sup> Em probabilidade e Estatística, o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística. O desvio padrão define-se como a raiz quadrada da variância.

Observa-se na figura 5.5 que o modelo simplificado obtido por regressão apresentada boa conformidade com os resultados obtidos por meio de simulação, pois os pontos plotados no gráfico (Valores simulados x Valores Calculados) apresentam-se ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero, com mais evidência que os casos anteriores devido a altíssima correlação entre as variáveis analisadas que é 0.99.

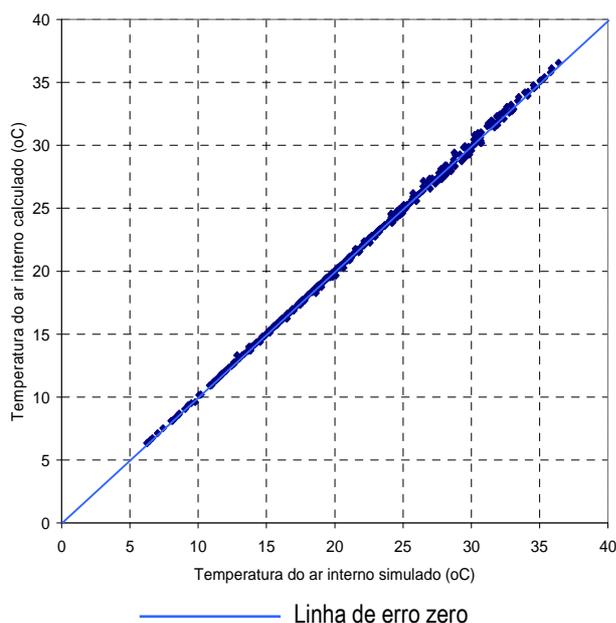


Figura 5.5 – Relação entre os valores da Temperatura do ar no interior da chaminé convencional obtidos por simulação e calculador por meio do modelo simplificado.

É possível também elaborar um modelo simplificado para a vazão do ar em função das variáveis estudadas acima, de modo que seja possível estimá-la sem que haja medições ou simulações do fluxo do ar em chaminés convencionais com características similares às estudadas neste trabalho, deste modo, define-se a vazão do ar para uma chaminé convencional a partir da seguinte equação:

$$\text{Vazão} = 13.03431 + 36.73726(\Delta t) - 0.13019T_s - \frac{34.10197(\Delta t) - 63.61397(\Delta t^2) + 52.3603(T_s) - 0.49047(T_s^2)}{T_i} \quad (\text{Eq.17})$$

Onde:

$\Delta t$  – Diferença de temperatura entre o ar interno e o externo ( $T_i - T_e$ ) (°C)

$T_s$  – Temperatura superficial nas paredes da chaminé (°C)

$T_i$  – Temperatura do ar no interior da chaminé (°C)

A figura 5.6 representa a relação entre os valores da vazão do ar no interior da chaminé convencional obtidos por meio de simulação e calculados através do modelo simplificado, que possui um coeficiente de correlação de 0.93, além de apresentar a distribuição dos pontos no gráfico ao longo da linha de erro zero.

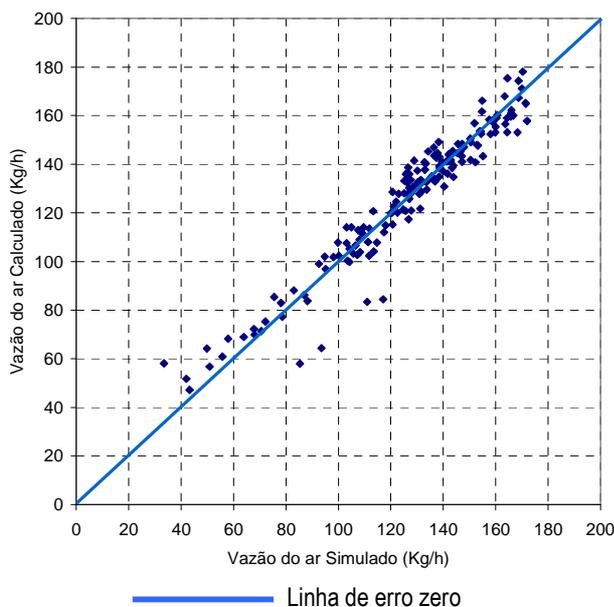


Figura 5.6 – Relação entre os valores da vazão do ar no interior da chaminé convencional obtidos por simulação e calculados por meio do modelo simplificado.

Estas equações obtidas por meio de regressão são aplicáveis apenas para ( $Rad_{\beta} > 0$ ), quando há influência do dispositivo analisado na velocidade do vento no interior das edificações e para as configurações de chaminés apresentadas neste trabalho. O fluxo do ar é dado em Kg/h, porém, a partir da densidade do ar é possível determinar o volume que atravessa o ambiente e conseqüentemente calcular o número de renovações de ar por hora (ren/h).

Sabe-se que quanto mais aquecido estiver o ar, mais leve também será. É possível determinar a densidade de ar em função da sua temperatura, a partir da equação que segue, sugerida por Mathur (et al, 2006):

$$\rho_f = [1.1614 - 0.00353 ( T_{ar} - 300 )] \quad (\text{Eq.18})$$

Onde:

$\rho_f$  – Densidade do ar ( $\text{Kg/m}^3$ )

$T_{ar}$  – Temperatura do ar (em Kelvin)

A radiação solar (em  $W/m^2$ ) incidente no coletor solar pode ser calculada ou medida no plano inclinado, onde encontra-se o coletor.

De posse destas equações, é possível determinar o fluxo potencial de ar em espaços internos a partir de medições ou estimativas de temperatura e radiação solar em edificações construídas no Brasil e dotadas de chaminés solares, com características similares às estudadas neste trabalho, tendo em vista que os aparelhos para medição de velocidade do ar no interior dos espaços, em sua maioria possuem custo elevado, baixa precisão e pouca resistência, enquanto os instrumentos para medição de temperatura do ar, temperatura superficial e de radiação solar são mais acessíveis.

As análises abrangeram diversos climas brasileiros, sendo uma cidade para cada zona bioclimática, de modo a obter valores para a ventilação natural induzida por chaminé solar, indicando ser sempre superior à ventilação induzida por chaminé convencional.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Este trabalho analisou a influencia do uso de chaminés solares no incremento da ventilação natural para espaços internos em 8 cidades brasileiras, localizadas em Zonas bioclimáticas diferentes e para todos os casos, este dispositivo apresentou resultado satisfatório. Porém, observou-se a necessidade de incluir um sistema de fechamento que permita ao usuário controlar a ventilação. Esta necessidade acontece em todas as regiões brasileiras, exceto na zona bioclimática 08 (Cidade de Belém-PA), onde há solicitação de ventilação natural durante todo o ano.

A utilização de simulações computacionais mostrou-se uma ferramenta satisfatória e possibilitou a realização das avaliações desejadas. O software utilizado, além de fornecer dados confiáveis, é capaz de simular as edificações analisadas neste trabalho para os dias de projeto para inverno e verão em um período de tempo reduzido, cada modelo sendo simulado em aproximadamente 3 segundos.

A inserção destas chaminés em uma edificação modifica a distribuição dos campos de pressão, influenciando positivamente no deslocamento do fluxo de ar mesmo no inverno, quando a ventilação natural não é desejada em algumas cidades analisadas.

A alta absorvância das paredes da chaminé promoveram o aquecimento do ar de modo que mesmo nos modelos sem o coletor solar (chaminé convencional) ocorreu um incremento significativo da ventilação diurna, que se torna mais notável a partir do incremento desta placa, para os modelos com chaminé solar.

No período noturno, há uma inversão no sentido do fluxo de ar, visto que nestes modelos não há ocupação nem cargas internas de equipamentos que possam aquecer o ar no interior da chaminé, deste modo, as chaminés durante o período em que não há radiação solar incidindo nas paredes que a compõem, tendem a se comportar de forma similar aos captadores de ar exterior, em que a abertura mais alta funciona como abertura de entrada do ar. Esta estratégia para ventilação natural é bastante usada na arquitetura oriental e possui potencial de uso no Brasil conforme estudos realizados anteriormente (LIMA et al, 2004) (SILVA et al, 2008) (LÔBO e BITTENCOURT, 2003).

A ausência de cargas internas e de pessoas (metabolismo) no interior do ambiente simulado favoreceu esta inversão no sentido do fluxo do ar, pois sem estas cargas térmicas, a temperatura do ar no interior da chaminé apresentou-se menor que a TBS externa para o período noturno.

Para as cidades de Curitiba e Urussanga o uso de chaminés solares deve ser melhor estudado, de modo a não provocar desconforto por frio, principalmente nos meses de inverno, visto que estas localidades possuem clima com períodos de frio e o aumento da ventilação natural pode aumentar as perdas de calor da edificação para o ambiente externo por convecção.

No caso das cidades de Brasília e Araçatuba, este dispositivo apresentou bom desempenho, porém há necessidade dos mesmos cuidados mencionados anteriormente, pois, ainda que estas duas cidades estejam expostas a uma alta radiação solar, possuem grande amplitude térmica e períodos de frio durante a noite e no inverno.

A cidade de Petrolina também possui alta amplitude térmica e pouca solicitação de ventilação natural, pois se trata de um clima seco, porém esta estratégia pode ser utilizada associando a refrigeração evaporativa aos efeitos produzidos pelo uso de chaminé solar, já que a refrigeração evaporativa é uma das principais estratégias bioclimáticas para esta cidade, assim como foi utilizado nos estudos realizados por Maerefat e Haghighi (2010b).

As cidades de Uberaba e Campo Grande têm a ventilação natural como principal recomendação para obtenção de conforto no verão, porém necessitam de aquecimento no inverno, o que possibilita o uso deste dispositivo apenas na estação quente.

Já para a cidade de Belém, o uso de chaminé solar nas edificações pode ser uma estratégia de projeto durante todo o ano, por se tratar de uma cidade com clima quente-úmido onde a ventilação natural é a principal estratégia de projeto para obtenção de conforto térmico dos usuários.

Diante disto, pode-se extrapolar as análises para cada zona bioclimática a respeito das diretrizes para utilização deste dispositivo arquitetônico como estratégia de projeto de modo a incrementar o repertório dos Profissionais de Projeto, conforme apresentado na figura 6.1.

Recomendações para utilização de Chaminés Solares	
Zona Bioclimática 1	Utilização controlada, com pouca necessidade de ventilação natural
Zona Bioclimática 2	Utilização controlada, com pouca necessidade de ventilação natural
Zona Bioclimática 3	Utilização no verão
Zona Bioclimática 4	Utilização moderada no verão
Zona Bioclimática 5	Utilização moderada no verão
Zona Bioclimática 6	Utilização no verão
Zona Bioclimática 7	Utilização moderada, associada à refrigeração evaporativa
Zona Bioclimática 8	Utilização ao longo de todo ano

Figura 6.1 – Diretrizes para utilização de chaminés solares em edificações localizadas no Brasil

Para chaminés com inclinação otimizada, a velocidade do ar interior é máxima ao meio dia, momento em que a radiação solar incidente no coletor também é máxima, aumentando assim o efeito estufa no interior da chaminé e a diferença entre a temperatura do ar no interior da chaminé e a TBS externa.

Foi possível também elaborar um modelo simplificado para determinar a vazão do ar a partir de medições ou estimativas de temperatura (superficial ou do ar) e da Radiação solar incidente no coletor inclinado de modo a facilitar o processo de projeto e tornando possível prever o desempenho deste dispositivo para edificações construídas no Brasil.

Estas equações devem ser utilizadas apenas para chaminés similares às analisadas neste trabalho, com dimensões e materiais semelhantes de modo a validá-las. Foram encontradas as seguintes equações para a chaminé convencional:

$$T_i = 0.07464 + 0.74844 (T_e) + 0.2453 (T_s)$$

$$\text{Vazão (Kg/h)} = \frac{13.03431 + 36.73726(\Delta t) - 0.13019T_s - 34.10197(\Delta t) - 63.61397(\Delta t^2) + 52.3603(T_s) - 0.49047(T_s^2)}{T_i}$$

Para a chaminé solar foram obtidas as seguintes equações:

$$T_i = -0.85516 + 1.0003 (T_e) + 0.01244 (Rad_{\beta})$$

$$\text{Vazão} = 116.54737 - 1.53316 (T_i) - 23,83867 (\Delta T) - 0.60957 Rad_{\beta} + 0.00416 (Rad_{\beta})^2$$

(período noturno –  $\Delta T < 0$ )

$$\text{Vazão} = 46.1617 + 0.05564 \text{ Rad}_\beta + 33.95327 (\text{Ti}-\text{Te}) - 2.49463 (\text{Ti}-\text{Te})^2$$

(período diurno –  $\Delta T > 0$ )

Onde:

Vazão = Vazão do ar em Kg/h

$\text{Rad}_\beta$  – Radiação incidente no Coletor Solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$\Delta T$  –  $(\text{Ti} - \text{Te})$  ( $^\circ\text{C}$ )

$T_s$  – Temperatura superficial nas paredes da chaminé ( $^\circ\text{C}$ );

$T_i$  – Temperatura do ar no interior da Chaminé ( $^\circ\text{C}$ );

$T_e$  – Temperatura do ar no exterior ( $^\circ\text{C}$ )

Este trabalho apresentou algumas limitações, A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que complementariam o trabalho feito nesta dissertação no intuito de avaliar o desempenho do dispositivo arquitetônico analisado. São elas:

- Avaliar o impacto do uso de chaminé solar associado à refrigeração evaporativa para os climas secos do Brasil;
- Avaliar o desempenho da chaminé solar em outros climas Brasileiros;
- Elaborar equações de balanço térmico para este dispositivo, quando construído em climas brasileiros;
- Verificar o impacto que outras variáveis como altura da chaminé, área do coletor solar, material e áreas de abertura e saída do ar possuem na ventilação natural em espaços dotados de chaminé solar;
- Verificar o desempenho da chaminé solar por meio de medições e/ou simulações utilizando CFD.

As edificações em geral, devem ser cuidadosamente planejadas para minimizar gastos excessivos com dispositivos de iluminação e ventilação por meios mecânicos. Artíficos arquitetônicos, tais como as chaminés solares, devem ter seu potencial investigado para auxiliar a construção de edifícios mais adequados ao clima regional, objetivando sempre o maior grau de eficiência energética.

A partir destas observações, pretende-se aprimorar a consciência de que a arquitetura local deve ser conduzida de maneira que os profissionais incorporem uma linguagem adequada e de características próprias, criando uma tipologia regional, dando uma identidade à arquitetura que vem sendo importada ou mal copiada e que perde de vista o mais importante: o conforto dos usuários. Frente à crise energética, necessita-se projetar bem para reduzir o consumo de energia e levar em conta as condições climáticas do meio, aplicando-se as técnicas bioclimáticas.

# 7

## REFERÊNCIAS

AFONSO, Clito; OLIVEIRA, Armando. **Solar chimneys: simulation and experiment**. Energy and Buildings v. 32, p.71–79, 2000

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 (SI)**. Atlanta. 2001.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. Atlanta. 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15220-1. **Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades**. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15220-3. **Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6123, **Forças devidas ao vento em Edificações**, São Paulo, 1988.

BAKER, N. **Passive and low energy building design for tropical island climates**, London, Commonwealth Science Council, 1987.

BANSAL, N K. MATHUR, Rajesh. BHANDARI, M S. **Solar Chimney for Ventilation Enhanced Stack**. Building and Environment, v. 28, n.3, pp373-377, 1993.

BARROZZI G.S., IMBABI M.S.-E., NOBILE E., SOUSA A.C.M., **Physical and Numerical delling of a Solar Chimney-based Ventilation Sy stem for Buildings**. Building and Environment, Vol.27, No.4, October, Oxford: Pergamon Press, pp.433-45. , 1992

BARROS FILHO, Airton M, **Consumo Desagregado de Energia Elétrica por uso final em Shopping Centers na Cidade de São Paulo – Estudo de Casos**, Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP , São Paulo, 2005.

BITTENCOURT, L. S. **Clima e repertório arquitetônico**; Anais do II Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura: PROJETAR 2005- Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **Ventilation as a Cooling Resource for Warm Humid Climates: An Investigation on the Influence of Geometric Aspects of Perforated Block Walls to Improve Ventilation inside Low-Rise Buildings**. Londres: PhD Thesis, Architectural Association Graduate School, 1993.

\_\_\_\_\_. **Uso das cartas solares. Diretrizes para Arquitetos**. Maceió: EDUFAL, 2004

BITTENCOURT, Leonardo S. CANDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**, Maceió, Edufal, 2005.

BOUCHAIR. **Solar Chimney for Promoting Cooling Ventilation in Southern Algeria**, Building Services Engineering Research and Technology, Vol.15, pp.81-93. 1994

BRASIL. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. **BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2007**. Brasília, 2008.

BUREK, S A M and HABEB, A. **Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls**. Energy and Buildings V.39, pp 128-135, 2007.

CARAM, Rosana M; SICHIERI, Eduvaldo P; LABAKI, Lucila C. **Indicativos para emprego apropriado de vidros planos na construção civil, segundo critérios espectrofotométricos**. In: Anais do III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, RS, 1995.

CHEN, Z.D.; BANDOPADHAYHAY, P.; HALDORSSON, J.; BYRJALSEN, C.; HEISELBERG, P.; LI, Y.. **An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux**. In: Building and Environment 38, 2003

CHO, Sung Woo. KATSURAGI, Hiromasa. KIMURA, Ken-ichi. **Numerical Simulation on Natural Ventilation System Combined With Solar Chimney and Underground Coolt**. In: PLEA 99 - Passive and Low Energy Architecture, Melbourne, 1999.

CHOUDHURY, C.; CHAUHAN, P.M.; and H. P. GARG, H.P. **Design curves for conventional solar air heaters.** Renewable Energy, Vol. 6, No. 7, pp. 739-749. 1995

CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação industrial.** Florianópolis: Editora da UFSC. 1999.

CÓSTOLA, Daniel. **Ventilação por ação do vento no edifício: Procedimentos para quantificação.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Arquitetura e Urbanismo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - USP, 2006.

CHUNGLOO, Sudaporn and LIMMEECHOKCHAI, Bundit **A Numerical Study of Natural Ventilation in Buildings - Utilized Solar Chimney and Cool Ceiling.** In: The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)" pp 21-23, Bangkok, Thailand, November 2006.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. RA'E O Espaço Geográfico em Análise,** Curitiba, no 03, p. 229-253, 1999.

DING, Wenting. HASEMI, Yuji. YAMADA, Tokisoshi. **Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney.** Energy and Buildings v. 37, pp 411-418, 2005.

DORNELLES, Kellen A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de determinação e base de dados para Tintas Látex Acrílica e Pva,** Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo / UNICAMP, 2008.

DRORI, U, ZIZKIND, G. **Induced ventilation of a one-story real size building,** Energy and Building. Vol 36, 2004.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes.** New York: John Wiley & Sons, 1980.

FATHY, H. **Natural Energy and Vernacular Architecture.** Chicago: U. P., 1986

FERREIRA, André G. MAIA, Cristiana B. CORTEZ, Márcio F B. VALLE, Ramón M. **Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying.** Solar Energy, v.82, pp 198-205, 2008.

FREIXANET, Victor A. F. **Clima y Arquitectura**, Primeira Edição, Azcapotzalco, Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.

FROTA, Anésia B.; SHIFER, S. R.. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel, 5ª Edição, São Paulo: 2001.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.  
Givoni 98

GONÇALVES, J., DUARTE, D. **Como melhorar a eficiência energética nos edifícios**. Projeto/Design. [www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br), 2001.

GONZALES, Eduardo; OTEIZA, Elke Honz P. de; QUIROS, Carlos. **Proyecto Clima y Arquitectura**. México: Ediciones G. Gilli, 1986.

GOULART, S. LAMBERTS, R., FIRMINO, F. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: NPC/UFSC, 1997.

HAGAN, S; **Environmentally Sustainable Architecture and the New**. In: NUTAU: Sócia Demands, Technological Innovations and the City, São Paulo, 2005.

HAGEL, A. P. L. A. **Análise Computacional da demanda energética de climatização de edifício**. Relatório submetido para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico à Universidade de Brasília, Junho, 2005.

HARRIS D.J., HELWIG N.. **Solar Chimney and Building Ventilation**. Applied Energy, Vol. 84 no.2, February 2006, pp135-146

HEISELBERG, P., SVIDT, K., NIELSEN, P. V. **Characteristics of airflow from open windows**. Building and Environment, v. 36, p. 859-869, 2001.

Helioclim – **Providing Information on Solar Radiation**. European Solar Radiation Atlas. Available from [www.helioclim.net/esra/index.html](http://www.helioclim.net/esra/index.html), 2004.

IEA-International Energy Agency. **World Energy Statistics**, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – INMETRO; **Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Portaria n.º 185, de 22 de junho de 2009.

JYOTIRMAY, Mathur. ANUPMA and SANJAY, Mathur **Experimental Investigation on four different types of Solar Chimneys**. Advances in Energy Research, AER, 2006.

KHEDARI J, WEERAPONG Mansirisub, SOMPONG Chaima, NARIS Pratinthong, JONGJIT Hirunlabh. **Field Measurements of Performance of Roof Solar Collector**, Energy and Buildings, Elsevier Science Ltd. ,Vol 31, pp 171–178, 2000

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

LEÃO JR, Ricardo S N; **Impacto Econômico do uso de Ar Condicionado em Edifícios Residenciais na cidade de Maceió/AL**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado / UFAL, 2008.

LEE, Kwang Ho, STRAND, Richard K. **Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney**. Energy and Buildings v.41, 2009.

LI, Angui; JONES, Phillip; ZHAO, Pingge; WANG, Liping (2004). **Heat Transfer and Natural Ventilation Airflow Rates from Single-sided Heated Solar Chimney for Buildings**. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. November. pp. 233-238. 2004.

LIMA, Livia Melo de; BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christhina Maria; OLIVEIRA, Juliana. **Ventilação natural em edifícios escolares: avaliação da variação de altura de captadores de vento** . In: Anais do X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, São Paulo - SP, 2004.

LOBO, Denise G. F. ; BITTENCOURT, Leonardo S. . **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. Revista Ambiente construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 2003.

MAIA, Cristiana B. FERREIRA, André G . VALLE, Ramón M.CORTEZ, Márcio F B. **Theoretical evaluation of the influence of geometric parameters and materials on the behavior of the airflow in a solar chimney.** Computers & Fluids. V.38, pp 625-636, 2009.

MAEREFAT, M; HAGHIGHI, A. P. **Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney.** Renewable Energy. V.35, 2010a.

MAEREFAT, M; HAGHIGHI, A. P. **Natural cooling of stand-alone houses using solar chimney and evaporative cooling cavity.** Renewable Energy. V.35, 2010b.

MARTINS, Fernando R; PEREIRA, Enio B; ABREU, Samuel L de; COLLE, Sérgio. **Mapas de Irradiação solar para o Brasil – Resultado do projeto SWERA,** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril de 2005.

MARTINS, R.R.; FRANCO, J.B.R.; OLIVEIRA, P.A.V.; FRANZONI, C.D.P. **Secador de grãos com uso de energia solar.** Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, Ano III - Nº1, Jan/Mar, 2002.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação.** 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991.

MATHUR, J.; ANUPMA; MATHUR, S. **Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation.** Energy and Buildings 38, pp. 1156–1163. 2006.

MAZON, A. A. O, SILVA, R. G. O, SOUZA, H. A, **Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas** In: REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 59(2): 179-184, abr. jun. 2006.

MAZON, A. A. O. **Ventilação natural em galpões utilizando lanternins.** Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, UFOP (Dissertação de Mestrado), 2005.

MOESEKE, G V; GATIA, E; REITER, S; HERDE, A de; **Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment densities.** Energy and Building, n.37, 2005.

MONTEIRO, Maurici A; FURTADO, Sandra M. A. **O Clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: Uma abordagem dinâmica.** GEOSUL, N<sup>os</sup> 19/20, Ano X, 1995.

MORAES-DUZAT, R.; BARBOSA, A.P.; VETTER, R. **O secador solar do INPA – uma alternativa econômica para secar madeira**. Anais 3o Encontro Energia Meio Rural. Campinas., 2000.

NUGROHO, A.M and HAMDAN, M. "**Evaluation of Parametrics for the Development of Vertical Solar Chimney Ventilation in Hot and Humid Climate**". The 2nd International Network For Tropical Architecture Conference, at Christian Wacana University, Jogjakarta. 2006.

OLIVEIRA, Alessandra G. ANDRADE FILHO, José D. FALCÃO, Alda L. BRAZIL, Reginaldo P. **Estudo de flebotomíneos (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) na zona urbana da Cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, 1999-2000**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19(4), jul-ago, 2003.

ONG, K.S., CHOW, C.C., **Performance of a Solar Chimney**, Solar Energy 74 1–17, 2003

PADIK, M M. and SHERIF, S A. **On A Simple Analytical Model For Solar Chimneys**. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH n.23, pp.345-349, 1999.

PEIXOTO, Luciana K de O. **Sustentabilidade e Eficiência Energéticas das edificações: O uso da ventilação natural como estratégias de projeto em regiões de clima quente e úmido**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/ UFAL, Maceió, 2005.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima. Condicionamento Térmico Natural**. Porto Alegre: Luzzato, 1986

RORIZ, Maurício. **ABC 1.3 - Architectural Bioclimatic Classification - Free software based on bioclimatic charts proposed by Baruch Givoni**. São Carlos, 2006.

\_\_\_\_\_. **LUZ DO SOL 1.1 - Um software para estimar o calor e a luz provenientes do Sol**. São Carlos, 1995.

\_\_\_\_\_. **ZBBR 1.1 - Zoneamento Bioclimático do Brasil. Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3**, São Carlos, 2004

SAKONIDOU, E.P.; KARAPANTSIOS, T.D.; BALOUKTSIS, A.I.; CHASSAPIS, D. **Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow**. Solar Energy, 82, pp. 80–94. 2008

SANTOS, Z. T. S.. **Secadores Solares de Exposição Direta e Convectivo para Frutas Tropicais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFRN. Natal, Abril, 1997.

SATWIKO, Prasasto. **Solar-Wind Generated Roof Ventilation System (SiVATAS) for a Warm-Humid Climate**, International Journal of Veentilation, Vol 3 No 3, 2005

SILVANI, Marines. **Subsídios para o Projeto da ventilação natural em pavilhões industriais**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia / UPF, Passo Fundo, 2005.

SILVA, Jose W; GUIMARÃES, Ednaldo C; TAVARES, Marcelo. **Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na Estação Meteorológica de Uberaba - MG**. Ciências Agrotécnicas, V.27, n.3, p.665-674, maio/jun., Lavras, 2003.

SILVA, Paula; BITTENCOURT, Leonardo; SILVA, J.; AZEVEDO, Naasson. **Captadores de vento: uma alternativa para favorecer ventilação cruzada: uma proposta para habitação de interesse social. Brasil** In: Anais do XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza - CE, 2008.

SOARES FILHO, Cecílio Viegá. **Avaliação de dez gramíneas forrageiras na região noroeste do estado de São Paulo**. Tese de doutorado apresentada à UNESP/FCAV – Jaboticabal, SP, 2001

SOUZA, L.G.M.; MENDES, J.U.L.; LIMA NETO, H.J.; SANTOS, N.R.G.; MELO,A.V.; SANTOS, R.D. **Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos**. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007. pp. 927-935. 2007.

SZOKOLAY, Steven V. **Introduction to architectural science**. London: Elsevier, 2004.

TEIXEIRA, A.H. de; AZEVEDO, P. V. de. **Zoneamento agroclimático para a videira européia no Estado de Pernambuco, Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, p.139-145, 1996.

TOLEDO, Alexandre M; PEREIRA, Fernando O. R. **Avaliação da ventilação natural em apartamentos, parte 2 – como a MAM-VN avalia**. In: Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, Maceió, 2005.

TOLEDO, E. **Ventilação natural das edificações**. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas - EDUFAL, 1999.

TRINDADE, Sileno C. **Simulação computacional para avaliação da ventilação natural e do desempenho térmico de galpões pré-moldados em clima tropical**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, 2006.

VIEGAS, W. **Fundamentos Lógicos da Metodologia Científica**. 3ª edição revista. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

WAEWSAK. J, HIRUNLABH, Khedari, SHIN U C. **Performance Evaluation of the BSRC multi purpose Bio-Climatic Roof**, Building and Environment, Vol 38, 2003.

YAÑES, G. **Energía Solar, Edificación y Clima**; Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, Madrid, 1982.

ZAMORA, B., KAISER, A.S. **Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by numerical investigation**. Applied Thermal Engineering. V.29, 2009.

# 8 APÊNDICES

## 8.1 – APÊNDICE A – VALORES OBTIDOS POR MATHUR, ET AL (2006) E POR SIMULAÇÃO NO ENERGYPLUS

Radiação Solar na Placa Coletora (W/m <sup>2</sup> )				
hora	45°		30°	
	Mathur (et al, 2006)	Simulação E+	Mathur (et al, 2006)	Simulação E+
10:00	650.00	652.90	755.00	727.68
11:00	730.00	741.94	855.00	848.27
12:00	770.00	798.48	915.00	928.76
13:00	755.00	753.13	900.00	880.19
14:00	700.00	684.44	810.00	792.00
15:00	610.00	583.20	640.00	662.64
16:00	550.00	453.70	590.00	501.89

Taxa de Fluxo Mássico (Kg/h)				
hora	45°		30°	
	Mathur (et al, 2006)	Simulação E+	Mathur (et al, 2006)	Simulação E+
10:00	183.00	180.27	173.00	175.25
11:00	187.00	188.08	179.00	177.60
12:00	189.00	191.14	181.00	178.60
13:00	186.00	186.12	179.00	178.50
14:00	182.00	182.66	174.00	176.01
15:00	177.00	176.50	168.00	169.12
16:00	168.00	164.45	159.00	162.09

### 8.2 – APÊNDICE B – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) NO INTERIOR DA CHAMINÉ SOLAR

		Curitiba - PR												
		Temperatura do ar (°C)												
		Ar externo	2.18 Graus	4.25 Graus	6.37 Graus	12.23 Graus	15.92 Graus	22.7 Graus	27.74 Graus	34.93 Graus	39.3 Graus	44.31 Graus	47.04 Graus	48.83 Graus
INVERNO	1:00	9.59	6.93	6.94	6.86	6.94	6.95	6.99	7.01	7.03	7.05	7.06	7.06	7.07
	2:00	8.99	6.35	6.36	6.28	6.36	6.36	6.41	6.43	6.45	6.46	6.48	6.48	6.48
	3:00	8.59	5.95	5.96	5.89	5.96	5.96	6.00	6.03	6.05	6.06	6.08	6.08	6.08
	4:00	8.20	5.57	5.58	5.51	5.58	5.58	5.62	5.65	5.67	5.68	5.70	5.70	5.70
	5:00	8.00	5.36	5.37	5.31	5.38	5.38	5.42	5.44	5.46	5.48	5.49	5.50	5.50
	6:00	7.80	5.17	5.18	5.12	5.18	5.18	5.23	5.25	5.27	5.28	5.30	5.30	5.30
	7:00	7.80	5.17	5.18	5.12	5.18	5.19	5.23	5.25	5.27	5.28	5.30	5.30	5.31
	8:00	8.20	9.60	9.56	9.45	9.57	9.58	9.65	9.69	9.73	9.78	9.84	9.86	9.89
	9:00	9.39	11.31	11.27	11.12	11.24	11.27	11.31	11.33	11.36	11.39	11.45	11.45	11.45
	10:00	11.27	14.67	14.63	14.40	14.53	14.52	14.58	14.60	14.62	14.64	14.67	14.66	14.65
	11:00	13.34	17.73	17.69	17.39	17.51	17.50	17.56	17.58	17.60	17.62	17.65	17.63	17.62
	12:00	15.33	20.09	20.05	19.68	19.80	19.79	19.86	19.88	19.89	19.92	19.94	19.93	19.91
	13:00	17.01	21.55	21.51	21.12	21.25	21.24	21.31	21.33	21.35	21.37	21.40	21.38	21.37
	14:00	18.10	21.88	21.84	21.46	21.62	21.61	21.68	21.70	21.72	21.75	21.77	21.77	21.76
	15:00	18.30	20.67	20.63	20.30	20.47	20.47	20.53	20.56	20.58	20.61	20.64	20.64	20.64
	16:00	17.61	17.76	17.71	17.43	17.58	17.59	17.67	17.71	17.76	17.82	17.89	17.91	17.92
	17:00	16.52	14.41	14.41	14.23	14.39	14.40	14.45	14.47	14.50	14.52	14.54	14.54	14.54
	18:00	15.42	12.71	12.72	12.57	12.72	12.73	12.77	12.79	12.81	12.83	12.84	12.84	12.84
	19:00	14.34	11.60	11.61	11.47	11.61	11.61	11.66	11.68	11.70	11.71	11.73	11.73	11.73
	20:00	13.34	10.62	10.63	10.50	10.63	10.64	10.68	10.70	10.72	10.73	10.75	10.75	10.75
	21:00	12.45	9.74	9.75	9.63	9.75	9.76	9.80	9.82	9.84	9.86	9.87	9.87	9.87
	22:00	11.66	8.97	8.98	8.87	8.98	8.99	9.03	9.05	9.07	9.09	9.10	9.10	9.10
	23:00	10.87	8.19	8.20	8.10	8.20	8.21	8.25	8.27	8.29	8.31	8.32	8.32	8.33
	0:00	10.17	7.50	7.51	7.42	7.51	7.52	7.57	7.59	7.61	7.62	7.64	7.64	7.64
VERÃO	1:00	16.42	13.60	13.61	13.45	13.61	13.61	13.66	13.68	13.70	13.71	13.72	13.72	13.72
	2:00	15.91	13.10	13.11	12.95	13.11	13.12	13.16	13.18	13.20	13.21	13.23	13.22	13.22
	3:00	15.60	12.79	12.80	12.64	12.80	12.80	12.85	12.87	12.89	12.90	12.91	12.91	12.91
	4:00	15.50	12.68	12.69	12.54	12.70	12.70	12.74	12.76	12.78	12.80	12.81	12.81	12.81
	5:00	15.40	12.59	12.60	12.44	12.60	12.60	12.64	12.66	12.69	12.70	12.71	12.71	12.71
	6:00	15.71	14.30	14.22	14.03	14.18	14.16	14.13	14.10	14.08	14.03	13.96	13.91	13.85
	7:00	16.52	17.18	17.07	16.84	17.03	16.99	16.93	16.90	16.86	16.83	16.79	16.75	16.72
	8:00	17.75	20.25	20.14	19.85	20.05	20.01	19.96	19.92	19.88	19.84	19.78	19.74	19.69
	9:00	19.38	23.53	23.40	23.03	23.22	23.16	23.14	23.09	23.05	23.02	22.97	22.92	22.87
	10:00	21.01	26.35	26.21	25.75	25.91	25.86	25.86	25.83	25.81	25.79	25.76	25.71	25.67
	11:00	22.64	28.75	28.62	28.05	28.17	28.12	28.16	28.16	28.15	28.15	28.14	28.10	28.07
	12:00	23.97	30.33	30.20	29.56	29.65	29.61	29.67	29.67	29.67	29.67	29.67	29.64	29.61
	13:00	24.99	31.19	31.06	30.40	30.50	30.46	30.51	30.52	30.52	30.53	30.53	30.49	30.46
	14:00	25.40	31.10	30.97	30.35	30.48	30.44	30.49	30.49	30.49	30.49	30.49	30.46	30.43
	15:00	25.20	29.93	29.81	29.26	29.43	29.39	29.40	29.39	29.38	29.38	29.36	29.33	29.30
	16:00	24.58	27.86	27.75	27.30	27.52	27.48	27.46	27.44	27.42	27.42	27.41	27.38	27.35
	17:00	23.46	24.84	24.74	24.40	24.65	24.63	24.64	24.64	24.63	24.64	24.65	24.63	24.62
	18:00	22.24	21.10	21.05	20.79	21.03	21.03	21.05	21.07	21.08	21.10	21.11	21.11	21.11
	19:00	21.11	18.43	18.44	18.21	18.43	18.44	18.49	18.51	18.53	18.55	18.56	18.56	18.56
	20:00	20.09	17.22	17.23	17.02	17.23	17.23	17.27	17.29	17.31	17.32	17.33	17.33	17.33
	21:00	19.18	16.31	16.32	16.12	16.32	16.32	16.37	16.39	16.41	16.42	16.43	16.43	16.42
	22:00	18.26	15.41	15.42	15.24	15.43	15.43	15.47	15.49	15.51	15.52	15.53	15.53	15.53
	23:00	17.54	14.70	14.71	14.53	14.71	14.71	14.76	14.78	14.80	14.81	14.82	14.82	14.82
	0:00	16.93	14.10	14.11	13.94	14.11	14.12	14.16	14.18	14.20	14.21	14.22	14.22	14.22

		Urussanga - SC												
		Temperatura do ar (°C)												
		Ar externo	5.18 Graus	7.25 Graus	9.37 Graus	15.23 Graus	18.92 Graus	25.7 Graus	30.74 Graus	37.93 Graus	42.3 Graus	47.31 Graus	50.04 Graus	51.83 Graus
INVERNO	1:00	11.70	9.92	9.92	9.92	9.92	9.95	9.96	9.99	10.00	10.02	10.05	10.03	10.06
	2:00	11.00	9.23	9.23	9.23	9.24	9.26	9.28	9.30	9.32	9.33	9.36	9.35	9.38
	3:00	10.54	8.77	8.77	8.77	8.77	8.80	8.81	8.84	8.85	8.87	8.90	8.88	8.91
	4:00	10.06	8.30	8.30	8.30	8.31	8.34	8.36	8.38	8.40	8.41	8.45	8.43	8.46
	5:00	9.84	8.08	8.08	8.08	8.09	8.11	8.13	8.15	8.17	8.19	8.21	8.20	8.23
	6:00	9.60	7.85	7.85	7.85	7.85	7.88	7.89	7.93	7.94	7.96	7.99	7.97	8.00
	7:00	9.60	7.86	7.86	7.86	7.86	7.89	7.90	7.93	7.94	7.96	7.99	7.98	8.00
	8:00	10.06	13.05	13.07	13.08	13.10	13.14	13.17	13.23	13.27	13.33	13.37	13.52	13.56
	9:00	11.59	14.21	14.20	14.20	14.21	14.26	14.29	14.32	14.35	14.39	14.44	14.45	14.50
	10:00	13.69	17.50	17.45	17.39	17.39	17.43	17.46	17.48	17.50	17.52	17.57	17.53	17.58
	11:00	16.14	20.78	20.68	20.59	20.58	20.63	20.65	20.67	20.68	20.71	20.76	20.70	20.75
	12:00	18.60	23.62	23.48	23.34	23.33	23.38	23.40	23.42	23.44	23.46	23.51	23.45	23.50
	13:00	20.59	25.22	25.07	24.92	24.91	24.96	24.98	25.00	25.02	25.05	25.10	25.04	25.09
	14:00	21.86	25.64	25.52	25.39	25.38	25.43	25.45	25.47	25.49	25.52	25.57	25.52	25.57
	15:00	22.10	24.52	24.44	24.35	24.35	24.38	24.40	24.43	24.45	24.47	24.50	24.49	24.52
	16:00	21.29	21.72	21.66	21.59	21.61	21.65	21.68	21.73	21.77	21.81	21.85	21.87	21.90
	17:00	20.00	18.40	18.39	18.39	18.39	18.42	18.43	18.46	18.48	18.50	18.54	18.54	18.58
	18:00	18.71	16.80	16.80	16.80	16.80	16.84	16.85	16.87	16.88	16.90	16.93	16.90	16.93
	19:00	17.43	15.53	15.53	15.53	15.53	15.56	15.57	15.60	15.61	15.62	15.65	15.62	15.65
	20:00	16.26	14.39	14.39	14.39	14.39	14.42	14.43	14.46	14.47	14.48	14.51	14.49	14.51
	21:00	15.21	13.36	13.36	13.36	13.36	13.39	13.40	13.43	13.44	13.45	13.48	13.46	13.49
	22:00	14.15	12.32	12.32	12.32	12.32	12.35	12.36	12.39	12.40	12.42	12.45	12.42	12.45
	23:00	13.23	11.41	11.41	11.41	11.42	11.45	11.46	11.48	11.50	11.51	11.54	11.52	11.55
	0:00	12.40	10.60	10.60	10.60	10.61	10.63	10.65	10.67	10.69	10.70	10.73	10.71	10.74
VERÃO	1:00	17.63	14.82	14.82	14.82	14.83	14.85	14.87	14.89	14.90	14.92	14.95	14.93	14.96
	2:00	17.07	14.27	14.28	14.28	14.28	14.31	14.32	14.35	14.36	14.38	14.40	14.39	14.42
	3:00	16.74	13.94	13.94	13.94	13.95	13.97	13.99	14.01	14.03	14.04	14.07	14.06	14.08
	4:00	16.51	13.71	13.71	13.72	13.72	13.75	13.76	13.78	13.80	13.81	13.84	13.83	13.85
	5:00	16.40	13.61	13.61	13.61	13.61	13.64	13.65	13.68	13.69	13.71	13.73	13.72	13.75
	6:00	16.74	15.34	15.32	15.30	15.26	15.25	15.23	15.22	15.18	15.14	15.13	14.99	14.98
	7:00	17.86	18.46	18.43	18.40	18.36	18.33	18.29	18.25	18.22	18.18	18.15	18.07	18.04
	8:00	19.44	21.98	21.91	21.85	21.79	21.78	21.74	21.69	21.64	21.60	21.58	21.43	21.42
	9:00	21.45	25.64	25.51	25.38	25.32	25.33	25.30	25.27	25.22	25.19	25.20	25.05	25.05
	10:00	23.59	29.05	28.83	28.61	28.56	28.60	28.59	28.58	28.57	28.56	28.59	28.46	28.50
	11:00	25.62	32.10	31.79	31.47	31.43	31.48	31.48	31.48	31.48	31.48	31.53	31.40	31.45
	12:00	27.30	34.07	33.70	33.33	33.29	33.35	33.36	33.38	33.38	33.38	33.45	33.33	33.40
	13:00	28.54	35.24	34.86	34.48	34.44	34.50	34.51	34.52	34.52	34.52	34.58	34.46	34.51
	14:00	29.10	35.23	34.89	34.55	34.51	34.56	34.57	34.58	34.57	34.58	34.63	34.51	34.56
	15:00	28.87	33.77	33.50	33.22	33.19	33.22	33.22	33.03	33.22	33.22	33.26	33.16	33.20
	16:00	27.98	31.40	31.22	31.03	30.99	31.01	30.98	30.65	30.94	30.92	30.94	30.85	30.87
	17:00	26.62	28.09	27.99	27.89	27.87	27.87	27.87	27.76	27.85	27.84	27.84	27.78	27.79
	18:00	25.05	23.97	23.95	23.92	23.91	23.92	23.92	23.93	23.94	23.95	23.95	23.94	23.95
	19:00	23.70	21.00	21.00	20.99	21.00	21.03	21.04	21.06	21.08	21.10	21.13	21.11	21.14
	20:00	22.36	19.45	19.45	19.45	19.45	19.48	19.49	19.51	19.53	19.54	19.57	19.55	19.57
	21:00	21.12	18.23	18.23	18.23	18.24	18.26	18.28	18.30	18.31	18.33	18.36	18.34	18.36
	22:00	20.11	17.24	17.24	17.24	17.24	17.27	17.28	17.31	17.32	17.33	17.36	17.34	17.37
	23:00	19.09	16.25	16.25	16.25	16.25	16.28	16.29	16.32	16.33	16.34	16.37	16.35	16.38
	0:00	18.31	15.48	15.48	15.48	15.49	15.51	15.53	15.55	15.56	15.58	15.61	15.59	15.62

		Uberaba – MG											
		Temperatura do ar											
		Ar externo	0 Grau	0,6 Graus	6,46 Graus	10,15 Graus	16,93 Graus	21,97 Graus	29,16 Graus	33,53 Graus	38,54 Graus	41,27 Graus	43,06 Graus
INVERNO	1:00	14.98	13.07	13.07	13.08	13.08	13.08	13.11	13.16	13.17	13.18	13.19	13.20
	2:00	14.25	12.35	12.35	12.36	12.36	12.37	12.40	12.44	12.45	12.46	12.47	12.48
	3:00	13.64	11.74	11.74	11.76	11.76	11.76	11.79	11.83	11.85	11.86	11.86	11.88
	4:00	13.23	11.34	11.34	11.35	11.35	11.36	11.39	11.43	11.44	11.45	11.46	11.47
	5:00	12.91	11.03	11.03	11.04	11.04	11.04	11.07	11.12	11.13	11.14	11.15	11.16
	6:00	12.70	10.82	10.82	10.83	10.84	10.84	10.87	10.91	10.93	10.94	10.94	10.96
	7:00	12.60	10.87	10.87	10.87	10.88	10.88	10.91	10.95	10.97	10.97	10.98	11.00
	8:00	13.23	14.59	14.59	14.57	14.57	14.59	14.62	14.70	14.74	14.76	14.78	14.82
	9:00	14.88	18.05	18.05	18.04	17.94	17.95	18.00	18.07	18.10	18.11	18.13	18.17
	10:00	17.36	22.18	22.18	22.17	21.89	21.89	21.95	22.01	22.04	22.05	22.07	22.09
	11:00	20.27	26.33	26.33	26.33	25.88	25.88	25.95	26.00	26.03	26.04	26.05	26.08
	12:00	23.16	29.59	29.59	29.58	29.00	28.99	29.06	29.12	29.14	29.16	29.17	29.20
	13:00	25.43	31.51	31.51	31.50	30.90	30.89	30.96	31.03	31.05	31.07	31.08	31.11
	14:00	26.89	31.95	31.95	31.96	31.44	31.43	31.50	31.57	31.60	31.62	31.64	31.67
	15:00	27.20	30.51	30.51	30.51	30.13	30.13	30.19	30.27	30.29	30.31	30.33	30.37
	16:00	26.27	27.54	27.54	27.54	27.31	27.32	27.37	27.46	27.49	27.51	27.53	27.58
	17:00	24.72	23.44	23.44	23.45	23.38	23.39	23.42	23.47	23.49	23.50	23.52	23.54
	18:00	23.16	21.12	21.12	21.13	21.13	21.13	21.16	21.21	21.22	21.23	21.24	21.25
	19:00	21.71	19.66	19.66	19.67	19.67	19.67	19.70	19.74	19.75	19.76	19.77	19.77
	20:00	20.37	18.34	18.34	18.35	18.35	18.36	18.38	18.43	18.44	18.44	18.45	18.46
	21:00	19.13	17.12	17.12	17.13	17.14	17.14	17.17	17.21	17.22	17.23	17.23	17.25
	22:00	17.89	15.91	15.91	15.92	15.92	15.93	15.96	16.00	16.01	16.02	16.02	16.04
	23:00	16.85	14.90	14.90	14.91	14.91	14.91	14.94	14.98	15.00	15.00	15.01	15.02
	0:00	15.91	13.98	13.98	13.99	13.99	14.00	14.03	14.07	14.08	14.09	14.10	14.11
VERÃO	1:00	20.04	16.96	16.96	16.97	16.98	16.98	17.01	17.05	17.06	17.07	17.07	17.09
	2:00	19.52	16.45	16.45	16.46	16.46	16.49	16.53	16.55	16.55	16.56	16.57	
	3:00	19.20	16.12	16.12	16.13	16.14	16.14	16.17	16.21	16.22	16.23	16.24	
	4:00	19.10	16.01	16.01	16.02	16.03	16.03	16.06	16.10	16.11	16.12	16.13	
	5:00	19.00	15.91	15.91	15.92	15.92	15.93	15.96	16.00	16.01	16.02	16.02	
	6:00	19.32	16.28	16.28	16.27	16.26	16.26	16.28	16.30	16.30	16.30	16.30	
	7:00	20.14	20.25	20.25	20.16	20.12	20.08	20.03	19.96	19.92	19.90	19.88	
	8:00	21.40	23.63	23.63	23.51	23.41	23.36	23.35	23.27	23.22	23.20	23.17	
	9:00	23.06	27.13	27.13	26.99	26.78	26.72	26.71	26.62	26.56	26.54	26.51	
	10:00	24.72	30.11	30.11	29.96	29.62	29.56	29.56	29.49	29.44	29.42	29.41	
	11:00	26.38	32.59	32.59	32.45	31.96	31.89	31.92	31.87	31.84	31.83	31.82	
	12:00	27.74	34.13	34.13	33.99	33.40	33.34	33.38	33.36	33.33	33.33	33.33	
	13:00	28.78	35.00	35.00	34.86	34.26	34.20	34.25	34.15	34.20	34.20	34.20	
	14:00	29.20	34.91	34.91	34.78	34.27	34.21	34.24	33.98	34.18	34.18	34.18	
	15:00	29.00	33.52	33.52	33.41	33.07	33.02	33.05	32.77	33.00	33.00	33.00	
	16:00	28.36	31.31	31.31	31.19	31.02	30.98	30.99	30.85	30.96	30.96	30.96	
	17:00	27.22	28.25	28.25	28.14	28.06	28.04	28.04	28.02	28.03	28.03	28.03	
	18:00	25.98	24.43	24.43	24.40	24.38	24.38	24.39	24.41	24.42	24.43	24.43	
	19:00	24.82	21.91	21.91	21.92	21.92	21.92	21.95	21.99	22.01	22.02	22.02	
	20:00	23.78	20.69	20.69	20.70	20.70	20.71	20.73	20.78	20.79	20.79	20.80	
	21:00	22.86	19.76	19.76	19.77	19.77	19.78	19.80	19.84	19.86	19.86	19.87	
	22:00	21.92	18.84	18.84	18.85	18.85	18.85	18.88	18.92	18.93	18.94	18.94	
	23:00	21.18	18.10	18.10	18.11	18.11	18.11	18.14	18.18	18.20	18.20	18.21	
	0:00	20.56	17.48	17.48	17.49	17.49	17.50	17.53	17.57	17.58	17.59	17.59	

		Brasília - DF										
		Temperatura do ar (°C)										
		Ar externo	0 Grau	2.58 Graus	13.05 Graus	25.28 Graus	34.66 Graus	39.18 Graus	37.39 Graus	29.65 Graus	18.09 Graus	6.27 Graus
INVERNO	1:00	14.88	12.91	12.92	12.92	12.98	13.02	13.03	13.03	13.01	12.93	12.92
	2:00	14.29	12.33	12.33	12.34	12.39	12.43	12.45	12.44	12.42	12.34	12.34
	3:00	13.90	11.94	11.94	11.95	12.00	12.04	12.06	12.05	12.03	11.96	11.95
	4:00	13.60	11.65	11.65	11.66	11.71	11.76	11.77	11.76	11.74	11.67	11.66
	5:00	13.40	11.45	11.45	11.46	11.51	11.55	11.57	11.56	11.54	11.46	11.46
	6:00	13.30	11.36	11.36	11.37	11.42	11.46	11.48	11.47	11.45	11.37	11.37
	7:00	13.69	12.33	12.33	12.33	12.38	12.43	12.45	12.44	12.41	12.33	12.32
	8:00	14.88	16.57	16.55	16.53	16.60	16.64	16.71	16.68	16.63	16.55	16.54
	9:00	16.67	20.46	20.45	20.31	20.39	20.45	20.48	20.46	20.43	20.31	20.44
	10:00	18.75	24.33	24.32	23.97	24.05	24.11	24.14	24.12	24.09	23.96	24.32
	11:00	20.94	27.81	27.80	27.25	27.33	27.38	27.41	27.40	27.36	27.23	27.79
	12:00	22.92	30.19	30.19	29.47	29.56	29.61	29.64	29.63	29.59	29.46	30.18
	13:00	24.40	31.30	31.29	30.57	30.65	30.71	30.74	30.73	30.69	30.55	31.29
	14:00	25.20	31.05	31.05	30.42	30.51	30.57	30.61	30.59	30.55	30.41	31.05
	15:00	25.20	29.21	29.21	28.75	28.84	28.91	28.94	28.92	28.88	28.75	29.20
	16:00	24.40	26.31	26.31	26.03	26.12	26.19	26.23	26.21	26.16	26.04	26.31
	17:00	23.12	22.22	22.22	22.11	22.18	22.25	22.28	22.26	22.22	22.12	22.22
	18:00	21.73	19.72	19.73	19.73	19.78	19.82	19.84	19.83	19.81	19.73	19.74
	19:00	20.54	18.45	18.45	18.46	18.51	18.55	18.56	18.55	18.54	18.46	18.46
	20:00	19.35	17.28	17.29	17.30	17.34	17.38	17.39	17.39	17.37	17.30	17.29
	21:00	18.26	16.22	16.23	16.23	16.28	16.32	16.33	16.33	16.31	16.24	16.23
	22:00	17.26	15.25	15.25	15.26	15.31	15.35	15.36	15.35	15.33	15.26	15.26
	23:00	16.37	14.37	14.37	14.38	14.43	14.47	14.48	14.48	14.46	14.39	14.38
	0:00	15.58	13.60	13.61	13.61	13.66	13.71	13.72	13.71	13.69	13.62	13.61
VERÃO	1:00	18.63	15.60	15.61	15.61	15.66	15.71	15.72	15.71	15.69	15.62	15.61
	2:00	18.26	15.23	15.23	15.24	15.28	15.32	15.34	15.33	15.31	15.24	15.24
	3:00	17.87	14.85	14.85	14.86	14.91	14.94	14.96	14.95	14.93	14.86	14.86
	4:00	17.69	14.66	14.67	14.67	14.72	14.76	14.77	14.77	14.75	14.68	14.67
	5:00	17.50	14.48	14.48	14.49	14.54	14.58	14.59	14.58	14.57	14.49	14.49
	6:00	17.50	14.49	14.49	14.49	14.51	14.54	14.54	14.54	14.53	14.48	14.49
	7:00	17.79	17.86	17.81	17.72	17.62	17.56	17.52	17.54	17.60	17.68	17.76
	8:00	18.63	20.82	20.76	20.61	20.51	20.42	20.37	20.39	20.46	20.56	20.69
	9:00	19.96	23.98	23.90	23.65	23.52	23.40	23.35	23.37	23.47	23.58	23.83
	10:00	21.48	26.80	26.72	26.34	26.21	26.09	26.05	26.07	26.15	26.26	26.64
	11:00	23.08	29.18	29.10	28.59	28.49	28.39	28.38	28.38	28.45	28.51	29.02
	12:00	24.59	30.83	30.75	30.18	30.11	30.03	30.03	30.03	30.07	30.11	30.68
	13:00	25.63	31.65	31.58	31.01	30.96	30.88	30.89	30.89	30.86	30.95	31.50
	14:00	26.20	31.64	31.57	31.10	31.08	31.01	31.01	31.01	30.85	31.05	31.50
	15:00	26.20	30.49	30.43	30.10	30.07	30.03	30.03	30.03	29.87	30.06	30.37
	16:00	25.63	28.40	28.34	28.15	28.11	28.07	28.07	28.07	28.02	28.12	28.28
	17:00	24.69	25.49	25.43	25.30	25.28	25.27	25.27	25.27	25.26	25.28	25.38
	18:00	23.74	22.00	21.99	21.96	21.99	22.02	22.03	22.03	22.01	21.96	21.98
	19:00	22.80	19.92	19.93	19.93	19.98	20.02	20.04	20.03	20.01	19.94	19.93
	20:00	21.95	18.91	18.92	18.92	18.97	19.01	19.02	19.01	19.00	18.93	18.92
	21:00	21.09	18.06	18.06	18.07	18.12	18.16	18.17	18.16	18.14	18.07	18.07
	22:00	20.43	17.39	17.40	17.40	17.45	17.49	17.50	17.49	17.48	17.40	17.40
	23:00	19.77	16.73	16.73	16.74	16.79	16.83	16.84	16.83	16.81	16.74	16.74
	0:00	19.11	16.08	16.09	16.10	16.14	16.18	16.19	16.19	16.17	16.10	16.09

		Araçatuba - SP												
		Temperatura do ar (°C)												
		Ar externo	0 Grau	0.07 Graus	2.05 Graus	7.91 Graus	11.6 Graus	18.38 Graus	23.42 Graus	30.61 Graus	34.98 Graus	39.99 Graus	42.72 Graus	44.51 Graus
INVERNO	1:00	15.34	13.46	13.46	13.46	13.47	13.47	13.51	13.52	13.55	13.57	13.58	13.59	13.59
	2:00	14.57	12.71	12.71	12.71	12.72	12.72	12.75	12.77	12.80	12.81	12.83	12.83	12.84
	3:00	14.01	12.15	12.15	12.16	12.16	12.17	12.20	12.21	12.24	12.25	12.27	12.28	12.29
	4:00	13.57	11.71	11.71	11.72	11.72	11.72	11.76	11.77	11.80	11.81	11.83	11.84	11.85
	5:00	13.12	11.28	11.28	11.28	11.28	11.29	11.32	11.34	11.37	11.38	11.40	11.40	11.41
	6:00	13.02	11.18	11.18	11.18	11.19	11.19	11.22	11.24	11.27	11.28	11.30	11.31	11.31
	7:00	12.90	11.06	11.06	11.07	11.07	11.07	11.11	11.12	11.15	11.16	11.18	11.19	11.20
	8:00	13.46	15.39	15.39	15.38	15.37	15.36	15.41	15.44	15.47	15.50	15.57	15.59	15.62
	9:00	15.24	17.98	17.98	17.96	17.94	17.89	17.94	17.98	18.01	18.04	18.08	18.10	18.11
	10:00	17.68	21.94	21.94	21.89	21.83	21.73	21.78	21.80	21.83	21.85	21.88	21.89	21.91
	11:00	20.68	25.90	25.90	25.81	25.73	25.56	25.61	25.63	25.66	25.68	25.71	25.72	25.73
	12:00	23.59	29.15	29.15	29.04	28.92	28.69	28.74	28.76	28.79	28.81	28.84	28.85	28.86
	13:00	25.92	31.15	31.15	31.03	30.91	30.66	30.72	30.74	30.77	30.80	30.82	30.84	30.85
	14:00	27.36	31.69	31.69	31.59	31.48	31.27	31.32	31.35	31.38	31.41	31.44	31.45	31.46
	15:00	27.70	30.60	30.60	30.51	30.43	30.27	30.33	30.36	30.39	30.42	30.45	30.46	30.48
	16:00	26.81	27.76	27.76	27.71	27.65	27.55	27.61	27.64	27.69	27.72	27.76	27.78	27.80
	17:00	25.14	23.75	23.75	23.74	23.73	23.71	23.74	23.76	23.78	23.80	23.82	23.84	23.85
	18:00	23.69	21.68	21.68	21.68	21.68	21.69	21.72	21.73	21.76	21.77	21.79	21.80	21.80
	19:00	22.14	20.12	20.12	20.12	20.13	20.13	20.16	20.17	20.20	20.21	20.23	20.23	20.24
	20:00	20.80	18.81	18.81	18.82	18.82	18.82	18.86	18.87	18.89	18.91	18.92	18.92	18.93
	21:00	19.47	17.51	17.51	17.51	17.52	17.52	17.55	17.57	17.59	17.61	17.62	17.62	17.63
	22:00	18.24	16.31	16.31	16.31	16.31	16.32	16.35	16.36	16.39	16.40	16.42	16.42	16.43
	23:00	17.24	15.32	15.32	15.32	15.32	15.33	15.36	15.38	15.40	15.42	15.43	15.44	15.44
	0:00	16.24	14.35	14.35	14.35	14.35	14.36	14.39	14.41	14.43	14.45	14.46	14.47	14.48
VERÃO	1:00	21.12	18.00	18.00	18.00	18.01	18.01	18.04	18.06	18.08	18.10	18.11	18.12	18.12
	2:00	20.67	17.54	17.54	17.54	17.55	17.55	17.58	17.60	17.62	17.64	17.65	17.66	17.66
	3:00	20.23	17.10	17.10	17.11	17.11	17.11	17.15	17.16	17.19	17.20	17.21	17.22	17.23
	4:00	20.11	16.98	16.98	16.99	16.99	17.00	17.03	17.04	17.07	17.08	17.10	17.10	17.11
	5:00	20.00	16.87	16.87	16.87	16.88	16.88	16.91	16.93	16.95	16.97	16.98	16.99	16.99
	6:00	20.34	17.53	17.53	17.52	17.50	17.46	17.46	17.46	17.47	17.46	17.45	17.44	17.43
	7:00	21.23	21.54	21.54	21.50	21.46	21.39	21.30	21.26	21.22	21.17	21.13	21.09	21.05
	8:00	22.69	24.98	24.98	24.92	24.87	24.76	24.69	24.65	24.60	24.55	24.49	24.46	24.43
	9:00	24.47	28.56	28.56	28.47	28.39	28.21	28.14	28.10	28.05	27.99	27.94	27.90	27.86
	10:00	26.37	31.81	31.81	31.69	31.56	31.32	31.26	31.23	31.18	31.13	31.10	31.07	31.04
	11:00	28.17	34.46	34.46	34.30	34.13	33.80	33.77	33.76	33.73	33.70	33.68	33.66	33.64
	12:00	29.73	36.25	36.25	36.06	35.87	35.49	35.47	35.47	35.46	35.44	35.43	35.42	35.40
	13:00	30.85	37.17	37.17	36.98	36.78	36.39	36.38	36.38	36.32	36.35	36.35	36.34	36.33
	14:00	31.30	37.14	37.14	36.97	36.79	36.44	36.43	36.43	36.19	36.39	36.39	36.38	36.37
	15:00	31.07	35.76	35.76	35.62	35.49	35.22	35.20	35.19	34.89	35.15	35.15	35.14	35.12
	16:00	30.29	33.35	33.35	33.26	33.18	33.02	33.00	33.00	32.82	32.97	32.98	32.97	32.96
	17:00	29.06	30.14	30.14	30.08	30.03	29.92	29.91	29.91	29.89	29.91	29.91	29.91	29.91
	18:00	27.72	26.21	26.21	26.20	26.19	26.16	26.17	26.18	26.19	26.20	26.21	26.22	26.22
	19:00	26.49	23.54	23.54	23.54	23.55	23.55	23.57	23.58	23.61	23.62	23.64	23.64	23.65
	20:00	25.37	22.22	22.22	22.22	22.22	22.23	22.26	22.27	22.30	22.31	22.32	22.33	22.33
	21:00	24.25	21.10	21.10	21.11	21.11	21.12	21.15	21.16	21.19	21.20	21.21	21.22	21.22
	22:00	23.24	20.11	20.11	20.11	20.12	20.12	20.15	20.17	20.19	20.20	20.22	20.22	20.23
	23:00	22.46	19.33	19.33	19.33	19.33	19.34	19.37	19.38	19.41	19.42	19.44	19.44	19.45
	0:00	21.68	18.57	18.57	18.57	18.57	18.58	18.61	18.62	18.65	18.66	18.68	18.68	18.69

Campo Grande - MS

Temperatura do ar (°C)

		Ar externo	0 Grau	1.32 Graus	7.18 Graus	10.87 Graus	17.65 Graus	22.69 Graus	29.88 Graus	34.25 Graus	39.26 Graus	41.99 Graus	43.78 Graus
INVERNO	1:00	17.05	15.11	15.12	15.12	15.12	15.13	15.16	15.20	15.21	15.23	15.23	15.24
	2:00	16.56	14.64	14.64	14.65	14.65	14.65	14.68	14.72	14.74	14.75	14.76	14.76
	3:00	16.08	14.16	14.17	14.17	14.17	14.18	14.21	14.25	14.26	14.28	14.28	14.29
	4:00	15.79	13.87	13.88	13.88	13.88	13.89	13.92	13.96	13.97	13.99	13.99	14.00
	5:00	15.49	13.59	13.59	13.60	13.60	13.60	13.63	13.67	13.69	13.70	13.71	13.72
	6:00	15.40	13.49	13.50	13.50	13.50	13.51	13.54	13.58	13.59	13.61	13.62	13.62
	7:00	15.30	13.40	13.40	13.41	13.41	13.41	13.44	13.48	13.50	13.51	13.52	13.53
	8:00	15.69	16.42	16.40	16.39	16.40	16.41	16.45	16.51	16.53	16.57	16.59	16.60
	9:00	16.95	19.39	19.38	19.36	19.32	19.33	19.38	19.45	19.47	19.51	19.52	19.54
	10:00	18.80	22.58	22.58	22.57	22.40	22.40	22.46	22.52	22.54	22.57	22.59	22.60
	11:00	20.95	25.70	25.69	25.69	25.39	25.38	25.44	25.50	25.52	25.55	25.57	25.58
	12:00	23.09	28.35	28.34	28.34	27.93	27.92	27.99	28.05	28.07	28.10	28.12	28.13
	13:00	24.84	29.86	29.86	29.85	29.40	29.39	29.46	29.52	29.55	29.58	29.60	29.61
	14:00	25.81	29.86	29.86	29.85	29.43	29.43	29.49	29.55	29.58	29.61	29.63	29.64
	15:00	26.10	28.79	28.78	28.78	28.45	28.46	28.51	28.58	28.60	28.64	28.65	28.67
	16:00	25.42	25.27	25.26	25.25	25.03	25.04	25.06	25.12	25.14	25.19	25.21	25.23
	17:00	24.25	22.75	22.75	22.74	22.73	22.73	22.76	22.80	22.82	22.83	22.84	22.85
	18:00	23.18	21.16	21.16	21.17	21.17	21.17	21.20	21.24	21.25	21.27	21.27	21.28
	19:00	22.11	20.07	20.08	20.08	20.08	20.09	20.12	20.16	20.17	20.18	20.18	20.19
	20:00	21.05	19.03	19.03	19.04	19.04	19.04	19.07	19.11	19.12	19.14	19.14	19.14
	21:00	20.06	18.07	18.07	18.08	18.08	18.08	18.11	18.15	18.16	18.18	18.18	18.19
	22:00	19.19	17.21	17.21	17.22	17.22	17.22	17.25	17.29	17.30	17.32	17.32	17.33
	23:00	18.41	16.45	16.45	16.46	16.46	16.46	16.49	16.53	16.55	16.56	16.57	16.57
	0:00	17.73	15.78	15.78	15.79	15.79	15.79	15.82	15.86	15.87	15.89	15.89	15.90
VERÃO	1:00	21.33	18.18	18.18	18.19	18.19	18.19	18.22	18.26	18.28	18.29	18.30	18.30
	2:00	20.92	17.75	17.76	17.76	17.77	17.77	17.80	17.84	17.85	17.86	17.87	17.88
	3:00	20.61	17.44	17.44	17.45	17.45	17.45	17.48	17.52	17.53	17.55	17.55	17.56
	4:00	20.50	17.33	17.33	17.34	17.34	17.34	17.37	17.41	17.42	17.44	17.44	17.45
	5:00	20.40	17.22	17.23	17.23	17.23	17.24	17.27	17.31	17.32	17.33	17.34	17.34
	6:00	20.71	17.47	17.46	17.45	17.45	17.44	17.47	17.49	17.49	17.49	17.49	17.48
	7:00	21.43	22.83	22.75	22.66	22.58	22.51	22.46	22.34	22.27	22.19	22.14	22.08
	8:00	22.67	25.01	24.95	24.89	24.79	24.73	24.70	24.59	24.55	24.47	24.45	24.42
	9:00	24.12	28.25	28.17	28.10	27.89	27.82	27.80	27.69	27.62	27.55	27.51	27.46
	10:00	25.66	31.22	31.14	31.07	30.71	30.63	30.63	30.53	30.47	30.42	30.38	30.34
	11:00	27.22	33.69	33.62	33.55	33.00	32.92	32.95	32.89	32.84	32.82	32.80	32.77
	12:00	28.46	35.17	35.10	35.03	34.36	34.29	34.34	34.31	34.28	34.27	34.25	34.24
	13:00	29.39	35.88	35.81	35.75	35.03	34.97	35.02	34.98	34.99	34.98	34.97	34.96
	14:00	29.80	35.75	35.69	35.63	34.98	34.93	34.97	34.78	34.93	34.93	34.92	34.90
	15:00	29.70	34.46	34.40	34.35	33.86	33.81	33.84	33.53	33.78	33.79	33.77	33.76
	16:00	28.97	32.05	32.00	31.95	31.67	31.64	31.67	31.46	31.65	31.65	31.64	31.63
	17:00	27.94	28.94	28.89	28.84	28.70	28.68	28.68	28.64	28.69	28.69	28.69	28.70
	18:00	26.80	25.20	25.19	25.18	25.15	25.15	25.17	25.19	25.20	25.21	25.22	25.22
	19:00	25.77	22.82	22.83	22.83	22.83	22.83	22.86	22.90	22.92	22.93	22.94	22.94
	20:00	24.85	21.71	21.71	21.72	21.72	21.72	21.75	21.79	21.81	21.82	21.82	21.83
	21:00	23.92	20.78	20.78	20.79	20.79	20.79	20.82	20.86	20.87	20.88	20.89	20.89
	22:00	23.09	19.95	19.95	19.96	19.96	19.96	19.99	20.03	20.04	20.06	20.06	20.07
	23:00	22.47	19.31	19.32	19.32	19.32	19.33	19.35	19.39	19.41	19.42	19.42	19.43
	0:00	21.85	18.70	18.70	18.71	18.71	18.71	18.74	18.78	18.79	18.81	18.81	18.82

Petrolina - PE

Temperatura do ar (°C)

		Ar externo	0 Grau	0.25 Graus	6.53 Graus	11.57 Graus	18.76 Graus	28.14 Graus	32.66 Graus	30.87 Graus	23.13 Graus
INVERNO	1:00	21.50	19.50	19.50	19.51	19.51	19.54	19.57	19.60	19.59	19.56
	2:00	21.03	19.03	19.04	19.04	19.04	19.08	19.10	19.14	19.13	19.09
	3:00	20.68	18.69	18.69	18.70	18.70	18.74	18.76	18.79	18.78	18.75
	4:00	20.44	18.45	18.46	18.46	18.47	18.50	18.52	18.55	18.54	18.51
	5:00	20.20	18.22	18.23	18.23	18.23	18.27	18.29	18.32	18.31	18.28
	6:00	20.20	18.31	18.31	18.31	18.32	18.35	18.37	18.40	18.39	18.36
	7:00	20.55	21.10	21.08	21.06	21.07	21.14	21.20	21.26	21.23	21.18
	8:00	21.50	23.43	23.41	23.39	23.34	23.38	23.42	23.47	23.44	23.41
	9:00	22.81	26.36	26.34	26.33	26.14	26.19	26.22	26.25	26.23	26.21
	10:00	24.59	29.38	29.36	29.34	28.99	29.04	29.07	29.11	29.09	29.06
	11:00	26.38	32.05	32.03	32.01	31.50	31.55	31.58	31.62	31.60	31.57
	12:00	27.91	33.78	33.76	33.74	33.15	33.20	33.23	33.28	33.26	33.22
	13:00	29.10	34.68	34.66	34.64	34.06	34.11	34.14	34.19	34.17	34.13
	14:00	29.70	34.36	34.34	34.33	33.83	33.88	33.91	33.95	33.93	33.90
	15:00	29.70	33.14	33.13	33.11	32.74	32.79	32.82	32.86	32.84	32.81
	16:00	29.10	30.95	30.94	30.92	30.71	30.76	30.79	30.84	30.82	30.78
	17:00	28.04	27.94	27.93	27.92	27.81	27.87	27.92	28.01	27.96	27.90
	18:00	26.96	25.09	25.10	25.11	25.10	25.14	25.17	25.21	25.19	25.16
	19:00	26.01	23.93	23.93	23.94	23.94	23.97	24.00	24.03	24.01	23.99
	20:00	25.06	22.99	23.00	23.00	23.01	23.04	23.06	23.09	23.08	23.05
	21:00	24.11	22.07	22.07	22.08	22.08	22.11	22.13	22.16	22.15	22.12
	22:00	23.40	21.37	21.37	21.38	21.38	21.41	21.43	21.46	21.45	21.42
	23:00	22.69	20.67	20.67	20.68	20.68	20.71	20.74	20.77	20.76	20.73
	0:00	21.98	19.97	19.98	19.98	19.98	20.02	20.04	20.07	20.06	20.03
VERÃO	1:00	23.91	20.57	20.58	20.58	20.58	20.61	20.63	20.66	20.65	20.63
	2:00	23.41	20.07	20.07	20.08	20.08	20.11	20.13	20.16	20.15	20.12
	3:00	23.01	19.66	19.66	19.67	19.67	19.70	19.72	19.75	19.74	19.71
	4:00	22.70	19.36	19.36	19.37	19.37	19.40	19.42	19.45	19.44	19.41
	5:00	22.61	19.26	19.26	19.27	19.27	19.30	19.32	19.35	19.34	19.32
	6:00	22.50	18.98	18.98	18.98	18.98	19.00	19.02	19.04	19.03	19.01
	7:00	22.90	22.06	22.01	21.95	21.89	21.82	21.77	21.72	21.76	21.78
	8:00	23.91	26.02	25.96	25.90	25.76	25.66	25.57	25.48	25.55	25.61
	9:00	25.43	29.71	29.63	29.55	29.25	29.13	29.01	28.87	28.98	29.06
	10:00	27.34	33.07	32.98	32.89	32.44	32.31	32.19	32.05	32.15	32.24
	11:00	29.37	35.87	35.78	35.69	35.12	35.01	34.90	34.77	34.87	34.95
	12:00	31.09	37.66	37.57	37.48	36.87	36.78	36.68	36.57	36.65	36.73
	13:00	32.39	38.67	38.59	38.50	37.96	37.88	37.75	37.70	37.67	37.84
	14:00	33.10	38.63	38.55	38.47	38.06	37.98	37.82	37.82	37.71	37.94
	15:00	33.10	37.30	37.22	37.15	36.90	36.81	36.69	36.65	36.63	36.77
	16:00	32.39	35.06	34.99	34.92	34.78	34.70	34.61	34.55	34.58	34.66
	17:00	31.29	31.76	31.69	31.61	31.48	31.42	31.36	31.33	31.33	31.39
	18:00	30.07	27.95	27.94	27.93	27.92	27.94	27.95	27.98	27.97	27.95
	19:00	28.97	25.80	25.81	25.81	25.81	25.84	25.87	25.89	25.88	25.86
	20:00	27.85	24.53	24.54	24.54	24.54	24.58	24.60	24.62	24.61	24.59
	21:00	26.94	23.60	23.61	23.61	23.61	23.65	23.67	23.70	23.69	23.66
	22:00	26.03	22.69	22.70	22.70	22.70	22.74	22.76	22.79	22.78	22.75
	23:00	25.22	21.88	21.89	21.89	21.89	21.92	21.94	21.97	21.96	21.94
	0:00	24.51	21.18	21.19	21.19	21.19	21.22	21.24	21.27	21.26	21.24

Belém - PA

Temperatura do ar (°C)

	Ar externo	0 Grau	10.79 Graus	20.17 Graus	24.69 Graus	22.90 Graus	15.16 Graus	3.60 Graus	
INVERNO	1:00	23.33	19.05	19.06	19.09	19.10	19.10	19.06	19.06
	2:00	22.88	18.47	18.48	18.51	18.52	18.52	18.48	18.48
	3:00	22.55	18.04	18.05	18.08	18.09	18.09	18.05	18.05
	4:00	22.32	17.69	17.70	17.73	17.74	17.74	17.70	17.70
	5:00	22.10	17.40	17.41	17.44	17.45	17.45	17.41	17.41
	6:00	22.10	17.32	17.33	17.36	17.37	17.37	17.33	17.33
	7:00	22.44	20.08	20.06	20.10	20.12	20.12	20.07	20.05
	8:00	23.33	25.20	25.13	25.16	25.18	25.18	25.13	25.15
	9:00	24.78	28.49	28.30	28.32	28.33	28.33	28.28	28.42
	10:00	26.45	32.01	31.68	31.70	31.71	31.71	31.66	31.93
	11:00	28.24	34.99	34.51	34.53	34.54	34.54	34.48	34.90
	12:00	29.91	37.05	36.46	36.49	36.50	36.50	36.43	36.96
	13:00	31.03	37.92	37.33	37.36	37.37	37.37	37.30	37.83
	14:00	31.70	37.79	37.27	37.29	37.30	37.30	37.24	37.71
	15:00	31.70	36.35	35.95	35.97	35.99	35.99	35.93	36.27
	16:00	31.03	33.29	33.04	33.06	33.07	33.07	33.03	33.22
	17:00	30.03	29.05	28.87	28.92	28.95	28.95	28.88	28.99
	18:00	28.91	25.48	25.47	25.50	25.51	25.51	25.47	25.48
	19:00	27.91	24.11	24.12	24.15	24.16	24.16	24.12	24.12
	20:00	27.02	23.14	23.15	23.18	23.19	23.19	23.15	23.15
	21:00	26.12	22.18	22.19	22.21	22.23	22.23	22.19	22.18
	22:00	25.34	21.32	21.33	21.36	21.38	21.38	21.34	21.33
	23:00	24.56	20.47	20.48	20.51	20.52	20.52	20.48	20.48
	0:00	23.89	19.69	19.70	19.72	19.74	19.74	19.70	19.69
VERÃO	1:00	23.36	20.10	20.12	20.15	20.16	20.16	20.12	20.11
	2:00	22.83	19.58	19.59	19.62	19.63	19.63	19.59	19.59
	3:00	22.52	19.26	19.27	19.30	19.31	19.31	19.27	19.27
	4:00	22.21	18.95	18.96	18.99	19.00	19.00	18.96	18.96
	5:00	22.11	18.85	18.86	18.89	18.90	18.90	18.86	18.86
	6:00	22.00	18.32	18.33	18.36	18.38	18.38	18.34	18.33
	7:00	22.32	23.19	22.94	22.84	22.78	22.78	22.88	23.01
	8:00	23.36	25.34	25.13	25.03	24.98	24.98	25.07	25.22
	9:00	24.81	28.83	28.48	28.34	28.26	28.26	28.39	28.67
	10:00	26.58	32.21	31.68	31.50	31.39	31.39	31.57	32.00
	11:00	28.36	34.83	34.22	34.01	33.90	33.90	34.09	34.61
	12:00	30.03	36.44	35.85	35.70	35.61	35.61	35.74	36.22
	13:00	31.28	37.30	36.78	36.65	36.59	36.59	36.69	37.09
	14:00	31.90	37.27	36.85	36.73	36.67	36.67	36.76	37.08
	15:00	31.90	36.04	35.73	35.63	35.58	35.58	35.66	35.87
	16:00	31.28	33.92	33.69	33.61	33.57	33.57	33.63	33.79
	17:00	30.13	30.34	30.16	30.13	30.11	30.11	30.13	30.24
	18:00	29.09	26.84	26.83	26.86	26.87	26.87	26.83	26.84
	19:00	28.05	24.98	24.99	25.02	25.03	25.03	24.99	24.99
	20:00	27.00	23.78	23.79	23.82	23.83	23.83	23.79	23.79
	21:00	26.17	22.93	22.94	22.97	22.98	22.98	22.94	22.94
	22:00	25.34	22.09	22.10	22.13	22.15	22.15	22.11	22.10
	23:00	24.50	21.26	21.27	21.30	21.31	21.31	21.27	21.27
	0:00	23.87	20.63	20.64	20.67	20.68	20.68	20.64	20.63

### 8.3 – APÊNDICE C – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VAZÃO DO AR (Kg/h) NA CHAMINÉ SOLAR

		Curitiba - PR											
		Vazão do ar (Kg/h)											
		2.18 Graus	4.25 Graus	6.37 Graus	12.23 Graus	15.92 Graus	22.7 Graus	27.74 Graus	34.93 Graus	39.3 Graus	44.31 Graus	47.04 Graus	48.83 Graus
INVERNO	1:00	137.01	136.61	134.90	136.49	136.29	134.43	133.50	132.57	131.87	131.15	131.03	130.92
	2:00	137.12	136.71	135.00	136.59	136.39	134.50	133.56	132.62	131.89	131.14	131.01	130.89
	3:00	137.55	137.14	135.42	137.01	136.80	134.90	133.95	133.00	132.28	131.52	131.39	131.25
	4:00	137.71	137.30	135.58	137.17	136.96	135.04	134.08	133.12	132.38	131.61	131.47	131.33
	5:00	138.25	137.83	136.10	137.70	137.48	135.55	134.59	133.62	132.88	132.11	131.96	131.82
	6:00	138.31	137.89	136.16	137.76	137.53	135.59	134.62	133.65	132.91	132.13	131.98	131.83
	7:00	139.50	139.08	137.33	138.94	138.72	136.81	135.85	134.89	134.17	133.40	133.26	133.11
	8:00	102.12	100.42	99.40	100.81	101.33	102.66	103.79	104.93	106.14	107.74	108.59	109.44
	9:00	112.78	111.69	110.14	111.28	110.92	113.16	113.87	114.58	115.47	115.72	115.86	115.99
	10:00	145.98	144.92	142.24	143.04	142.90	144.36	144.80	145.24	145.79	146.35	146.17	146.00
	11:00	164.95	164.00	160.38	160.69	160.44	161.91	162.29	162.68	163.17	163.65	163.40	163.15
	12:00	171.79	170.91	166.53	166.23	165.91	167.40	167.78	168.15	168.64	169.10	168.81	168.52
	13:00	167.41	166.56	161.86	161.12	160.80	162.34	162.74	163.15	163.68	164.20	163.91	163.63
	14:00	153.80	152.90	148.33	147.40	147.14	148.80	149.31	149.82	150.45	151.11	150.89	150.68
	15:00	123.10	122.08	118.61	118.04	117.94	119.87	120.62	121.36	122.26	123.24	123.19	123.14
	16:00	49.37	49.09	48.16	48.41	47.43	46.41	47.01	47.61	49.62	55.85	57.19	58.52
	17:00	112.86	112.91	111.92	113.68	113.56	111.25	110.37	109.48	108.58	107.63	107.65	107.66
	18:00	132.07	131.74	130.14	131.72	131.56	129.83	128.98	128.13	127.50	126.86	126.82	126.78
	19:00	134.55	134.18	132.52	134.11	133.95	132.25	131.53	130.81	130.23	129.67	129.65	129.64
	20:00	135.28	134.90	133.23	134.82	134.66	132.93	132.10	131.27	130.67	130.08	130.05	130.02
	21:00	135.32	134.94	133.26	134.85	134.68	132.93	132.22	131.51	130.89	130.28	130.23	130.18
	22:00	136.12	135.73	134.04	135.64	135.46	133.68	132.81	131.93	131.29	130.65	130.59	130.52
	23:00	136.26	135.87	134.18	135.77	135.59	133.78	132.89	132.00	131.33	130.65	130.57	130.48
	0:00	135.91	135.51	133.82	135.41	135.21	133.92	133.02	132.11	131.43	130.73	130.63	130.53
VERÃO	1:00	135.93	135.56	133.88	135.49	135.33	133.69	132.92	132.15	131.65	131.18	131.23	131.27
	2:00	136.04	135.67	133.99	135.59	135.43	133.77	132.99	132.21	131.70	131.22	131.25	131.29
	3:00	136.50	136.12	134.43	136.04	135.87	134.21	133.43	132.64	132.13	131.64	131.67	131.71
	4:00	137.22	136.84	135.14	136.76	136.59	134.93	134.14	133.36	132.86	132.38	132.41	132.45
	5:00	137.26	136.87	135.18	136.79	136.62	134.96	134.17	133.39	132.89	132.40	132.44	132.47
	6:00	132.55	129.41	127.07	127.84	126.34	122.95	120.11	117.27	114.77	107.49	107.29	107.09
	7:00	58.95	56.90	55.71	55.89	54.93	53.39	52.63	51.87	50.97	49.80	48.88	47.95
	8:00	119.53	116.69	114.37	114.84	113.58	112.34	111.24	110.15	109.01	107.41	106.16	104.91
	9:00	156.23	153.44	149.91	150.06	148.78	148.07	147.07	146.07	145.22	143.88	142.70	141.51
	10:00	177.84	175.22	170.17	169.28	168.11	168.10	167.44	166.78	166.37	165.56	164.62	163.68
	11:00	188.19	185.80	179.72	178.06	177.17	177.88	177.70	177.51	177.42	177.14	176.45	175.75
	12:00	192.02	189.68	182.67	180.13	179.32	180.37	180.36	180.36	180.43	180.37	179.74	179.12
	13:00	188.96	186.60	179.10	175.98	175.18	176.37	176.44	176.50	176.64	176.66	176.05	175.44
	14:00	183.37	180.94	173.65	170.62	169.78	170.90	170.92	170.93	171.04	171.03	170.38	169.74
	15:00	170.01	167.44	160.91	158.33	157.34	158.08	157.90	157.72	157.72	157.54	156.82	156.11
	16:00	145.41	142.50	137.27	135.41	134.26	134.72	133.59	132.47	132.53	132.27	131.62	130.96
	17:00	98.28	94.35	90.86	89.60	88.75	89.51	89.55	89.59	90.06	90.37	89.81	89.25
	18:00	78.94	81.23	80.83	82.41	82.52	81.28	80.58	79.87	78.92	77.84	77.76	77.68
	19:00	125.91	125.77	124.26	125.79	125.67	123.98	123.18	122.37	121.75	121.21	121.23	121.26
	20:00	133.73	133.39	131.75	133.34	133.21	131.65	130.94	130.23	129.77	129.37	129.47	129.57
	21:00	134.08	133.73	132.09	133.68	133.54	132.25	131.54	130.83	130.39	130.00	130.10	130.19
	22:00	134.24	134.15	132.50	134.09	133.95	132.37	131.64	130.92	130.45	130.04	130.11	130.18
	23:00	134.95	134.59	132.93	134.53	134.38	132.78	132.04	131.30	130.83	130.39	130.45	130.52
	0:00	135.49	135.12	133.46	135.06	134.90	133.27	132.51	131.75	131.26	130.81	130.86	130.92

		Urussanga - SC											
		Vazão do ar (Kg/h)											
		5.18 Graus	7.25 Graus	9.37 Graus	15.23 Graus	18.92 Graus	25.7 Graus	30.74 Graus	37.93 Graus	42.3 Graus	47.31 Graus	50.04 Graus	51.83 Graus
INVERNO	1:00	147.34	147.29	147.24	147.08	145.92	145.33	144.22	143.66	142.89	141.77	142.34	141.22
	2:00	147.47	147.42	147.37	147.21	146.03	145.42	144.31	143.72	142.93	141.79	142.32	141.18
	3:00	147.43	147.37	147.32	147.15	145.96	145.34	144.21	143.61	142.82	141.67	142.18	141.04
	4:00	147.44	147.39	147.33	147.16	146.52	145.90	144.76	144.15	143.34	142.72	142.66	142.05
	5:00	148.29	148.23	148.18	147.99	146.79	146.16	145.01	144.40	143.59	142.42	142.92	141.75
	6:00	148.22	148.16	148.10	147.92	146.71	146.08	145.82	145.20	144.39	143.22	142.80	141.64
	7:00	149.90	149.84	149.78	149.60	148.41	147.78	146.68	146.06	145.27	144.11	144.58	143.43
	8:00	143.00	143.15	143.30	143.43	144.39	145.17	146.46	147.56	148.91	149.90	151.57	152.59
	9:00	140.09	140.08	140.07	140.35	141.78	142.71	143.77	144.77	145.98	147.47	147.73	149.24
	10:00	172.90	171.89	170.88	170.75	171.88	172.40	172.92	173.39	173.98	175.12	174.23	175.37
	11:00	193.37	191.17	188.97	188.72	189.88	190.32	190.75	191.16	191.68	192.86	191.56	192.75
	12:00	200.81	198.12	195.43	195.10	196.27	196.69	197.10	197.51	197.90	199.08	197.54	198.73
	13:00	194.95	191.80	188.66	188.32	189.53	189.95	190.40	190.82	191.37	192.60	191.19	192.42
	14:00	179.41	176.23	173.05	172.76	174.01	174.51	175.03	175.49	176.10	177.37	176.10	177.38
	15:00	146.24	143.37	140.50	140.37	142.44	143.07	143.84	144.46	145.66	147.81	146.24	148.40
	16:00	70.44	65.37	60.31	61.74	64.67	67.22	70.40	73.17	75.93	79.53	79.92	83.71
	17:00	124.29	124.60	124.92	124.84	123.47	122.89	121.80	121.09	119.81	118.50	118.35	117.06
	18:00	142.19	142.20	142.20	142.09	141.21	140.68	139.67	139.20	138.55	137.69	138.33	137.48
	19:00	144.60	144.57	144.55	144.43	143.36	142.85	141.86	141.42	140.81	139.77	140.67	139.63
	20:00	145.23	145.20	145.17	145.04	143.96	143.43	142.42	141.96	141.32	140.27	141.12	140.06
	21:00	145.35	145.32	145.28	145.15	144.05	143.51	142.48	142.01	141.34	140.27	141.07	140.00
	22:00	145.72	145.68	145.65	145.51	144.39	143.83	142.78	142.27	141.78	140.69	141.21	140.12
	23:00	146.36	146.32	146.28	146.13	145.00	144.43	143.36	142.83	142.11	141.01	141.67	140.57
	0:00	146.19	146.15	146.10	145.95	144.81	144.22	143.14	142.59	141.84	140.73	141.35	140.24
VERÃO	1:00	144.17	144.12	144.08	143.91	142.77	142.18	141.10	140.54	139.80	138.70	139.28	138.18
	2:00	144.78	144.73	144.68	144.51	143.37	142.77	141.67	141.11	140.36	139.25	139.79	138.69
	3:00	145.38	145.33	145.28	145.10	143.96	143.36	142.26	141.69	140.94	139.83	140.37	139.27
	4:00	145.16	145.11	145.06	144.88	143.73	143.13	142.03	141.45	140.70	139.59	140.13	139.02
	5:00	146.16	146.11	146.06	145.87	144.73	144.13	143.03	142.45	141.71	140.59	141.14	140.03
	6:00	140.60	139.81	139.02	137.32	136.88	135.52	133.85	131.76	128.61	128.19	116.83	116.45
	7:00	64.10	63.50	62.91	61.81	61.00	59.96	59.00	58.09	57.07	56.32	53.96	53.25
	8:00	130.64	129.31	127.99	126.57	126.04	124.94	123.67	122.18	120.68	120.17	115.99	115.50
	9:00	169.14	166.52	163.89	162.52	162.59	161.89	160.92	159.78	158.85	158.92	154.92	154.98
	10:00	193.23	188.78	184.32	183.27	183.98	183.75	183.38	182.89	182.56	183.27	180.26	180.96
	11:00	207.61	202.00	196.40	195.52	196.55	196.55	196.57	196.42	196.37	197.40	194.85	195.87
	12:00	212.37	205.60	198.83	198.04	199.29	199.46	199.73	199.75	199.90	201.16	198.68	199.94
	13:00	210.55	203.12	195.69	194.87	196.12	196.26	196.49	196.49	196.64	197.90	195.39	196.64
	14:00	203.09	195.72	188.35	187.48	188.69	188.81	188.97	188.93	189.05	190.27	187.68	188.89
	15:00	183.64	177.18	170.72	169.84	170.96	171.05	167.87	171.10	171.22	172.34	169.89	171.01
	16:00	157.40	151.62	145.84	144.67	145.35	145.64	133.88	143.42	143.46	144.13	141.82	142.48
	17:00	109.83	104.97	100.12	98.90	99.27	98.96	92.27	98.19	97.80	98.16	95.18	95.53
	18:00	79.62	81.51	83.40	83.79	83.28	83.20	82.93	81.97	81.36	80.87	80.97	80.49
	19:00	133.50	133.53	133.56	133.52	132.40	131.85	130.80	130.24	129.48	128.40	129.05	127.97
	20:00	142.08	142.07	142.05	141.91	140.84	140.31	139.29	138.82	138.17	137.12	137.89	136.84
	21:00	142.47	142.44	142.41	142.27	141.19	140.66	139.64	139.16	138.50	137.46	138.20	137.16
	22:00	143.13	143.10	143.06	142.91	141.82	141.28	140.24	139.74	139.07	138.01	138.72	137.66
	23:00	143.17	143.14	143.10	142.95	141.84	141.28	140.23	139.71	139.01	137.93	138.57	137.50
	0:00	144.26	144.22	144.18	144.02	142.90	142.32	141.25	140.71	139.99	138.91	139.51	138.43

		Uberaba - MG										
		Vazão do ar (Kg/h)										
		0 Grau	0,6 Grau	6,46 Grau	10,15 Grau	16,93 Grau	21,97 Grau	29,16 Grau	33,53 Grau	38,54 Grau	41,27 Grau	43,06 Grau
INVERNO	1:00	139.34	139.32	138.97	138.90	138.74	137.62	135.98	135.43	135.13	134.84	134.32
	2:00	139.88	139.87	139.50	139.42	139.26	138.12	136.46	135.89	135.59	135.29	134.75
	3:00	139.81	139.79	139.42	139.34	139.16	138.02	136.33	135.74	135.43	135.13	134.56
	4:00	140.33	140.32	139.94	139.85	139.67	138.52	136.82	136.23	135.92	135.61	135.04
	5:00	140.99	140.97	140.60	140.50	140.32	139.16	137.45	136.86	136.54	136.23	135.66
	6:00	141.01	141.00	140.62	140.52	140.33	139.17	137.45	136.85	136.54	136.23	135.65
	7:00	137.20	137.18	136.92	136.83	136.63	135.48	133.75	133.12	132.81	132.51	131.91
	8:00	87.75	87.74	87.14	87.41	88.12	89.14	91.37	92.45	92.98	93.51	94.82
	9:00	138.36	138.34	137.95	136.37	136.56	137.72	139.12	139.63	139.94	140.26	140.89
	10:00	176.86	176.84	176.62	172.10	172.05	173.31	174.47	174.93	175.21	175.48	176.00
	11:00	200.72	200.70	200.54	192.99	192.83	194.13	195.12	195.50	195.72	195.95	196.34
	12:00	207.14	207.11	207.09	197.94	197.68	198.96	199.98	200.37	200.62	200.86	201.32
	13:00	202.21	202.19	202.13	191.88	191.64	192.94	194.01	194.43	194.73	195.04	195.55
	14:00	188.38	188.36	188.42	178.17	178.03	179.43	180.71	181.21	181.54	181.86	182.51
	15:00	154.52	154.50	154.56	145.19	145.22	146.74	148.50	149.14	149.57	149.99	150.88
	16:00	101.47	101.45	101.57	90.61	91.41	93.60	96.87	98.19	98.95	99.71	101.38
	17:00	98.60	98.58	98.14	101.77	101.21	99.92	97.89	97.05	96.56	96.07	94.65
	18:00	132.37	132.36	132.00	132.34	132.22	131.12	129.73	129.21	128.92	128.63	128.19
	19:00	136.85	136.83	136.49	136.49	136.37	135.34	134.09	133.68	133.46	133.24	132.92
	20:00	137.62	137.61	137.28	137.24	137.12	136.08	134.61	134.18	133.96	133.73	133.38
	21:00	137.66	137.65	137.31	137.27	137.14	136.08	134.58	134.12	133.88	133.64	133.26
	22:00	138.04	138.03	137.69	137.64	137.50	136.42	134.87	134.39	134.13	133.88	133.44
	23:00	138.62	138.60	138.26	138.20	138.05	136.96	135.38	134.88	134.61	134.34	133.88
	0:00	138.73	138.71	138.36	138.30	138.14	137.04	135.44	134.92	134.64	134.36	133.87
VERÃO	1:00	137.85	137.84	137.49	137.42	137.26	136.18	134.63	134.12	133.87	133.61	133.17
	2:00	137.97	137.95	137.60	137.53	137.37	136.28	134.71	134.19	133.93	133.67	133.21
	3:00	138.43	138.41	138.05	137.98	137.81	136.72	135.14	134.62	134.36	134.10	133.64
	4:00	139.16	139.14	138.78	138.70	138.53	137.45	135.87	135.35	135.09	134.84	134.38
	5:00	139.19	139.17	138.81	138.73	138.56	137.48	135.90	135.38	135.12	134.86	134.41
	6:00	158.81	158.79	159.94	160.40	160.56	159.49	158.33	158.22	158.31	158.41	158.78
	7:00	50.97	50.97	48.51	47.25	46.19	45.17	43.16	42.03	41.40	40.76	39.27
	8:00	113.58	113.56	110.51	108.46	107.18	106.66	104.44	103.12	102.42	101.73	99.95
	9:00	153.51	153.49	150.53	146.64	145.23	144.92	142.82	141.41	140.80	140.18	138.35
	10:00	177.29	177.27	174.41	167.72	166.27	166.37	164.64	163.51	163.17	162.83	161.40
	11:00	188.25	188.22	185.58	177.19	175.86	176.38	175.33	174.57	174.43	174.29	173.29
	12:00	190.70	190.68	188.17	177.76	176.51	177.34	176.76	176.22	176.19	176.15	175.45
	13:00	186.99	186.97	184.43	172.87	171.65	172.61	171.34	171.73	171.75	171.77	171.18
	14:00	181.06	181.04	178.37	167.33	166.03	166.86	162.09	165.75	165.76	165.78	165.11
	15:00	163.62	163.60	161.01	152.07	150.93	151.66	144.59	150.28	150.28	150.28	149.54
	16:00	132.91	132.89	129.70	123.73	122.65	123.15	119.43	122.43	122.52	122.60	122.07
	17:00	79.65	79.64	74.07	68.70	67.54	68.06	67.73	68.23	68.46	68.70	69.07
	18:00	95.98	95.97	97.30	98.31	98.45	97.40	96.38	95.89	95.63	95.38	95.12
	19:00	128.45	128.43	128.29	128.35	128.26	127.21	125.70	125.19	124.92	124.65	124.16
	20:00	135.69	135.67	135.35	135.31	135.17	134.15	132.69	132.25	132.03	131.81	131.45
	21:00	136.24	136.22	135.89	135.85	135.71	134.68	133.22	132.77	132.55	132.33	131.96
	22:00	136.41	136.39	136.05	136.00	135.86	134.82	133.33	132.86	132.63	132.39	132.00
	23:00	136.86	136.85	136.51	136.45	136.30	135.25	133.73	133.25	133.01	132.77	132.36
	0:00	137.41	137.40	137.05	136.98	136.83	135.76	134.21	133.72	133.47	133.22	132.79

		Brasília - DF									
		Vazão do ar (Kg/h)									
		0 Grau	2.58 Graus	13.05 Graus	25.28 Graus	34.66 Graus	39.18 Graus	37.39 Graus	29.65 Graus	18.09 Graus	6.27 Graus
INVERNO	1:00	134.49	134.30	134.04	132.73	131.23	130.74	130.98	131.71	133.89	134.11
	2:00	135.06	134.87	134.61	132.77	131.24	130.73	130.98	131.73	134.44	134.68
	3:00	135.48	135.28	135.01	133.17	131.63	131.12	131.37	132.13	134.85	135.09
	4:00	136.05	135.86	135.58	133.73	132.18	131.66	131.92	132.69	135.42	135.66
	5:00	136.11	135.91	135.64	133.77	132.21	131.69	131.95	132.72	135.46	135.72
	6:00	137.01	136.81	136.53	134.66	133.11	132.59	132.85	133.62	136.36	136.61
	7:00	112.95	113.49	113.88	110.92	108.38	107.46	107.92	109.26	113.37	114.03
	8:00	90.94	90.52	90.13	91.63	92.46	94.62	93.54	92.32	90.58	90.09
	9:00	142.52	142.31	139.96	141.80	142.91	143.49	143.20	142.45	140.07	142.10
	10:00	179.36	179.19	173.94	175.47	176.38	176.83	176.61	175.99	173.83	179.02
	11:00	202.77	202.66	194.47	195.79	196.61	197.04	196.83	196.27	194.20	202.54
	12:00	209.86	209.77	199.85	201.12	202.03	202.49	202.26	201.68	199.53	209.68
	13:00	206.07	205.98	194.92	196.26	197.15	197.63	197.39	196.79	194.61	205.89
	14:00	194.18	194.10	183.60	185.14	186.15	186.72	186.44	185.73	183.36	194.03
	15:00	162.74	162.70	152.95	154.86	156.16	156.89	156.52	155.62	152.85	162.66
	16:00	118.58	118.54	109.76	112.62	114.75	115.87	115.31	113.88	110.02	118.50
	17:00	76.96	76.70	84.41	80.61	77.18	74.68	75.93	78.34	83.80	76.44
	18:00	126.38	126.17	126.44	124.66	123.13	122.60	122.87	123.67	126.34	125.97
	19:00	132.37	132.18	132.01	130.38	129.07	128.70	128.89	129.45	131.89	132.00
	20:00	132.94	132.76	132.55	130.91	129.58	129.19	129.39	129.97	132.43	132.58
	21:00	133.03	132.85	132.64	130.96	129.60	129.19	129.39	130.01	132.51	132.68
	22:00	133.69	133.51	133.28	131.57	130.16	129.73	129.95	130.59	133.14	133.33
	23:00	133.92	133.74	133.50	131.75	130.31	129.85	130.08	130.76	133.36	133.55
	0:00	134.08	133.89	133.65	131.88	130.41	129.94	130.17	130.88	133.50	133.71
VERÃO	1:00	132.86	132.68	132.44	130.71	129.75	129.32	129.54	129.73	132.29	132.50
	2:00	133.48	133.29	133.04	131.31	129.89	129.45	129.67	130.33	132.89	133.11
	3:00	133.42	133.23	132.98	131.23	129.80	129.35	129.57	130.24	132.82	133.04
	4:00	133.82	133.63	133.38	131.62	130.19	129.73	129.96	130.63	133.22	133.44
	5:00	133.77	133.58	133.32	131.56	130.12	129.66	129.89	130.57	133.16	133.39
	6:00	158.13	158.82	159.73	158.19	156.99	156.91	156.95	157.18	159.78	159.51
	7:00	46.26	45.05	42.46	39.41	37.47	36.25	36.86	38.64	41.28	43.83
	8:00	107.92	106.50	103.29	100.39	97.91	96.58	97.25	99.27	102.02	105.08
	9:00	148.24	146.77	141.93	139.08	136.31	134.95	135.63	137.78	140.46	145.29
	10:00	171.83	170.36	163.08	160.54	157.97	157.02	157.50	159.30	161.54	168.89
	11:00	182.33	180.91	172.35	170.43	168.39	168.04	168.22	169.47	170.88	179.48
	12:00	183.73	182.37	172.36	171.05	169.45	169.53	169.49	170.32	170.97	181.00
	13:00	179.59	178.24	167.53	166.58	165.14	165.30	165.22	165.21	166.27	176.88
	14:00	171.68	170.33	160.37	159.73	158.17	158.27	158.22	155.47	159.19	168.99
	15:00	153.81	152.42	145.12	144.53	143.60	143.61	143.61	139.71	144.02	151.02
	16:00	125.21	123.54	117.47	116.49	115.48	115.55	115.52	114.48	116.31	121.88
	17:00	66.89	63.42	54.43	53.46	53.66	54.27	53.97	53.02	52.96	59.96
	18:00	100.88	101.24	101.97	100.78	99.63	99.13	99.38	100.05	102.00	101.60
	19:00	125.48	125.37	125.29	123.64	122.28	121.81	122.04	122.70	125.18	125.26
	20:00	131.35	131.18	130.97	129.35	128.06	127.68	127.87	128.43	130.84	131.00
	21:00	131.55	131.38	131.17	129.53	128.23	127.84	128.04	128.61	131.03	131.20
	22:00	131.92	131.74	131.52	129.85	128.52	128.13	128.32	128.91	131.38	131.56
	23:00	132.01	131.83	131.60	129.92	128.56	128.15	128.36	128.97	131.46	131.65
	0:00	132.59	132.41	132.18	130.46	129.07	128.64	128.86	129.49	132.03	132.23

		Araçatuba - SP											
		Vazão do ar (Kg/h)											
		0 Grau	0.07 Graus	2.05 Graus	7.91 Graus	11.6 Graus	18.38 Graus	23.42 Graus	30.61 Graus	34.98 Graus	39.99 Graus	42.72 Graus	44.51 Graus
INVERNO	1:00	143.45	143.45	143.33	143.22	142.99	141.99	141.40	140.32	139.75	139.06	138.79	138.52
	2:00	144.06	144.06	143.94	143.82	143.59	142.27	141.67	140.56	139.98	139.27	138.99	138.70
	3:00	144.35	144.35	144.23	144.10	143.86	142.52	141.91	140.79	140.20	139.48	139.19	138.89
	4:00	144.47	144.47	144.35	144.23	143.98	142.63	142.01	140.89	140.28	139.56	139.26	138.96
	5:00	144.65	144.65	144.53	144.41	144.16	142.79	142.17	141.04	140.42	139.68	139.37	139.07
	6:00	146.23	146.23	146.11	145.98	145.73	144.36	143.74	142.61	141.99	141.27	140.96	140.66
	7:00	145.60	145.60	145.47	145.34	145.09	143.73	143.10	141.98	141.36	140.64	140.34	140.03
	8:00	112.42	112.42	112.17	111.92	111.43	113.02	113.92	115.42	116.35	116.11	116.82	117.53
	9:00	134.99	134.99	134.55	134.11	133.24	134.40	135.37	136.24	136.93	137.73	138.15	138.57
	10:00	172.98	172.98	171.99	171.00	169.03	170.16	170.73	171.28	171.75	172.32	172.59	172.86
	11:00	193.79	193.79	192.09	190.40	187.00	188.10	188.58	189.14	189.58	190.14	190.32	190.50
	12:00	200.63	200.63	198.59	196.54	192.45	193.50	193.95	194.39	194.76	195.23	195.43	195.63
	13:00	195.37	195.37	193.04	190.72	186.06	187.10	187.58	188.15	188.59	189.12	189.34	189.55
	14:00	181.41	181.41	179.05	176.69	171.97	173.16	173.72	174.38	174.86	175.51	175.82	176.13
	15:00	150.43	150.43	148.49	146.56	142.68	144.10	144.82	145.72	146.34	147.18	147.62	148.06
	16:00	93.26	93.26	90.73	88.19	83.11	85.99	87.55	89.53	91.22	93.02	93.96	94.90
	17:00	108.18	108.18	108.75	109.31	110.44	109.01	108.18	107.02	106.14	105.32	104.77	104.22
	18:00	137.22	137.22	137.20	137.17	137.12	135.92	135.48	134.47	133.97	133.45	133.21	132.98
	19:00	140.99	140.99	140.90	140.80	140.62	139.46	138.96	138.15	137.73	137.20	137.03	136.85
	20:00	141.91	141.91	141.81	141.71	141.52	140.34	139.82	138.84	138.40	137.86	137.67	137.49
	21:00	141.85	141.85	141.75	141.65	141.45	140.24	139.71	138.71	138.24	137.66	137.45	137.25
	22:00	142.34	142.34	142.23	142.13	141.92	140.68	140.13	139.10	138.61	137.99	137.76	137.54
	23:00	143.01	143.01	142.90	142.79	142.57	141.32	140.76	139.71	139.19	138.56	138.32	138.08
	0:00	142.82	142.82	142.71	142.60	142.38	141.11	140.53	139.47	138.93	138.27	138.01	137.76
VERÃO	1:00	141.91	141.91	141.80	141.69	141.47	140.22	139.67	138.63	138.12	137.52	137.30	137.07
	2:00	142.04	142.04	141.93	141.82	141.59	140.33	139.77	138.73	138.21	137.61	137.37	137.14
	3:00	142.07	142.07	141.96	141.85	141.62	140.35	139.78	138.74	138.21	137.59	137.35	137.11
	4:00	143.36	143.36	143.24	143.13	142.90	141.62	141.06	140.02	139.49	138.88	138.65	138.41
	5:00	143.39	143.39	143.28	143.16	142.93	141.66	141.09	140.05	139.52	138.91	138.68	138.44
	6:00	132.34	132.34	134.69	137.04	141.74	142.85	143.83	143.83	145.25	147.57	148.65	149.73
	7:00	59.96	59.96	59.03	58.10	56.23	53.67	52.48	51.43	49.97	48.41	47.53	46.66
	8:00	119.12	119.12	117.83	116.53	113.93	111.80	110.67	109.37	107.84	106.22	105.22	104.22
	9:00	159.06	159.06	157.27	155.48	151.91	150.07	149.06	147.76	146.24	144.88	143.89	142.89
	10:00	183.54	183.54	181.04	178.54	173.54	172.17	171.47	170.41	169.21	168.47	167.72	166.98
	11:00	194.77	194.77	191.82	188.88	182.98	182.24	181.90	181.27	180.53	180.24	179.77	179.30
	12:00	197.82	197.82	194.33	190.83	183.85	183.57	183.48	183.14	182.67	182.55	182.26	181.97
	13:00	193.56	193.56	189.67	185.79	178.02	177.93	178.00	177.23	177.40	177.39	177.18	176.97
	14:00	187.44	187.44	183.63	179.82	172.19	171.97	171.96	167.68	171.23	171.23	171.00	170.76
	15:00	169.68	169.68	166.44	163.20	156.73	156.19	156.01	148.47	155.05	155.12	154.83	154.55
	16:00	139.26	139.26	136.62	133.97	128.68	128.37	128.36	121.75	127.81	127.92	127.60	127.28
	17:00	84.75	84.75	81.66	78.58	72.41	71.79	71.66	70.10	71.97	72.50	72.71	72.92
	18:00	95.94	95.94	96.54	97.14	98.33	97.73	97.42	96.75	96.33	95.87	95.78	95.68
	19:00	133.01	133.01	132.98	132.96	132.91	130.87	130.34	129.36	128.85	128.22	127.96	127.71
	20:00	139.86	139.86	139.76	139.67	139.48	138.33	137.82	136.85	136.42	135.90	135.72	135.54
	21:00	139.89	139.89	139.85	139.80	139.70	138.52	138.01	137.04	136.60	136.06	135.88	135.69
	22:00	140.42	140.42	140.32	140.22	140.02	138.83	138.30	137.31	136.85	136.29	136.09	135.89
	23:00	140.95	140.95	140.85	140.74	140.54	139.32	138.79	137.79	137.31	136.74	136.53	136.33
	0:00	141.57	141.57	141.47	141.36	141.15	139.91	139.37	138.35	137.85	137.26	137.04	136.82

		Campo Grande - MS										
		Vazão do ar (Kg/h)										
		0 Grau	1.32 Graus	7.18 Graus	10.87 Graus	17.65 Graus	22.69 Graus	29.88 Graus	34.25 Graus	39.26 Graus	41.99 Graus	43.78 Graus
INVERNO	1:00	142.30	142.11	141.93	141.85	141.69	140.58	138.96	138.44	137.84	137.60	137.36
	2:00	143.28	143.09	142.90	142.82	142.65	141.54	139.90	139.37	138.77	138.53	138.28
	3:00	143.28	143.09	142.90	142.82	142.65	141.52	139.88	139.33	138.72	138.47	138.22
	4:00	143.88	143.69	143.50	143.41	143.24	142.11	140.46	139.91	139.29	139.04	138.79
	5:00	144.09	143.90	143.70	143.61	143.44	142.30	140.64	140.08	139.46	139.20	138.94
	6:00	144.86	144.66	144.47	144.37	144.20	143.06	141.40	140.84	140.22	139.97	139.71
	7:00	144.35	144.15	143.96	143.87	143.69	142.56	140.90	140.34	139.73	139.47	139.21
	8:00	102.76	102.17	101.57	101.82	102.65	102.74	104.15	104.68	105.25	105.63	106.01
	9:00	123.70	123.36	123.02	122.44	122.77	123.76	125.28	126.10	127.09	127.57	128.04
	10:00	159.80	159.59	159.37	156.38	156.42	157.65	158.97	159.47	160.10	160.40	160.71
	11:00	182.11	181.95	181.79	175.75	175.64	176.95	178.14	178.61	179.18	179.44	179.71
	12:00	192.52	192.39	192.26	184.22	184.04	185.38	186.50	186.94	187.49	187.76	188.03
	13:00	189.78	189.70	189.62	180.88	180.70	182.08	183.33	183.82	184.45	184.77	185.09
	14:00	173.61	173.52	173.43	164.55	164.41	165.89	167.33	167.88	168.60	168.97	169.34
	15:00	143.99	143.89	143.79	135.68	135.71	137.22	138.98	139.62	140.49	140.95	141.42
	16:00	62.23	62.81	63.39	64.12	64.07	64.41	62.97	62.42	62.65	61.98	61.31
17:00	111.87	111.92	111.97	112.75	112.60	111.54	109.89	109.23	108.46	108.11	107.75	
18:00	136.18	136.01	135.84	136.10	135.99	134.92	133.40	132.92	132.37	132.16	131.95	
19:00	140.17	140.00	139.82	139.80	139.67	138.64	137.19	136.77	136.30	136.14	135.97	
20:00	140.69	140.51	140.34	140.29	140.16	139.12	137.64	137.21	136.72	136.55	136.37	
21:00	140.95	140.77	140.59	140.54	140.41	139.35	137.84	137.39	136.88	136.69	136.50	
22:00	141.47	141.29	141.11	141.05	140.90	139.83	138.29	137.82	137.28	137.08	136.88	
23:00	142.00	141.81	141.63	141.57	141.42	140.33	138.77	138.28	137.73	137.51	137.30	
0:00	141.64	141.45	141.27	141.20	141.04	139.94	138.36	137.85	137.28	137.05	136.83	
VERÃO	1:00	140.54	140.36	140.18	140.11	139.95	138.87	137.31	136.81	136.26	136.04	135.82
	2:00	140.67	140.48	140.30	140.23	140.06	138.98	137.40	136.89	136.33	136.11	135.89
	3:00	141.16	140.97	140.79	140.71	140.55	139.46	137.88	137.37	136.80	136.58	136.35
	4:00	141.86	141.67	141.48	141.40	141.23	140.15	138.57	138.05	137.50	137.27	137.05
	5:00	141.89	141.70	141.51	141.43	141.26	140.18	138.59	138.08	137.52	137.30	137.08
	6:00	165.78	166.66	167.54	168.08	168.38	167.88	166.80	166.82	167.00	167.25	167.49
	7:00	77.05	76.20	75.35	73.95	72.73	71.86	69.82	68.68	67.19	66.32	65.44
	8:00	119.01	117.41	115.81	113.81	112.29	111.32	108.44	106.12	104.96	103.68	102.41
	9:00	157.74	156.16	154.58	150.55	148.91	148.38	145.69	143.95	142.26	141.13	140.00
	10:00	183.87	182.38	180.89	173.73	172.12	172.04	169.89	168.44	167.37	166.43	165.50
	11:00	196.52	195.16	193.80	184.44	182.99	183.39	182.05	181.11	180.66	180.04	179.42
	12:00	200.52	199.27	198.03	186.16	184.86	185.68	185.01	184.40	184.21	183.82	183.42
	13:00	196.59	195.38	194.17	180.43	179.20	180.26	179.87	179.52	179.49	179.22	178.94
	14:00	189.62	188.37	187.12	173.36	172.10	173.13	169.88	172.32	172.34	172.06	171.79
	15:00	171.21	169.99	168.76	156.95	155.97	156.46	149.86	155.71	155.79	155.49	155.19
	16:00	140.09	138.70	137.30	128.09	127.17	128.03	120.63	127.52	127.62	127.30	126.98
17:00	81.81	79.16	76.51	66.92	65.72	66.39	62.91	66.96	67.66	67.91	68.16	
18:00	99.77	100.37	100.97	101.86	102.01	101.22	100.18	99.63	99.16	98.92	98.67	
19:00	131.34	131.18	131.03	131.15	131.06	130.00	128.51	128.15	127.58	127.27	126.95	
20:00	138.39	138.22	138.04	138.01	137.87	137.10	135.64	135.20	134.71	134.54	134.36	
21:00	138.86	138.68	138.51	138.46	138.32	137.29	135.81	135.37	134.88	134.69	134.51	
22:00	139.13	138.95	138.78	138.72	138.58	137.53	136.03	135.57	135.05	134.86	134.67	
23:00	139.46	139.28	139.10	139.04	138.89	137.83	136.30	135.83	135.31	135.11	134.91	
0:00	140.09	139.91	139.73	139.67	139.51	138.44	136.89	136.40	135.86	135.65	135.43	

		Petrolina - PE								
		Vazão do ar (Kg/h)								
		0 Grau	0.25 Graus	6.53 Graus	11.57 Graus	18.76 Graus	28.14 Graus	32.66 Graus	30.87 Graus	23.13 Graus
INVERNO	1:00	144.39	144.39	144.02	143.94	142.68	142.06	141.06	141.57	142.61
	2:00	144.58	144.58	144.21	144.13	142.85	141.98	141.21	141.73	142.29
	3:00	145.22	145.22	144.85	144.77	143.49	142.36	141.33	141.86	142.92
	4:00	145.18	145.18	144.79	144.71	143.42	142.29	141.25	141.78	142.85
	5:00	145.36	145.36	144.98	144.89	143.59	142.45	141.41	141.95	143.02
	6:00	145.65	145.65	145.34	145.26	143.95	142.82	141.77	142.31	143.38
	7:00	84.05	84.05	81.28	82.56	87.02	90.61	94.41	92.10	89.16
	8:00	101.43	101.43	100.50	99.52	100.77	101.81	102.65	102.23	101.43
	9:00	148.10	148.10	147.28	143.51	144.51	145.26	145.93	145.57	145.00
	10:00	179.01	179.01	178.23	171.47	172.43	173.10	173.73	173.38	172.89
	11:00	197.33	197.33	196.62	188.28	189.23	189.87	190.52	190.17	189.65
	12:00	202.90	202.90	202.21	192.07	193.01	193.69	194.40	194.02	193.45
	13:00	199.75	199.75	199.09	188.30	189.28	189.98	190.71	190.31	189.73
	14:00	187.90	187.90	187.24	176.69	177.71	178.46	179.22	178.79	178.20
	15:00	162.13	162.13	161.44	152.96	154.09	154.98	155.86	155.37	154.66
	16:00	124.03	124.03	123.21	115.43	117.05	118.47	119.88	119.07	117.93
	17:00	57.26	57.26	58.55	58.81	57.46	55.11	50.53	53.86	56.38
	18:00	130.23	130.23	129.81	130.12	128.72	127.33	125.82	126.71	128.01
	19:00	141.81	141.81	141.42	141.40	140.20	139.15	138.23	138.68	139.68
	20:00	142.68	142.68	142.32	142.28	141.10	140.07	139.19	139.62	140.59
	21:00	142.70	142.70	142.35	142.30	141.11	140.06	139.15	139.60	140.59
	22:00	143.69	143.69	143.33	143.27	142.05	140.99	140.06	140.52	141.53
	23:00	143.92	143.92	143.56	143.50	142.26	141.19	140.23	140.71	141.73
	0:00	143.74	143.74	143.37	143.31	142.06	140.97	139.99	140.49	141.52
VERÃO	1:00	142.41	142.41	142.05	141.99	140.80	139.76	138.84	139.29	140.28
	2:00	142.95	142.95	142.59	142.53	141.32	140.27	139.35	139.80	140.80
	3:00	142.90	142.90	142.54	142.47	141.25	140.20	139.26	139.73	140.73
	4:00	143.36	143.36	142.99	142.93	141.71	140.64	139.70	140.17	141.17
	5:00	144.13	144.13	143.76	143.69	142.47	141.41	140.47	140.94	141.94
	6:00	174.26	174.26	174.31	174.40	173.11	171.99	171.04	171.46	172.59
	7:00	31.92	31.92	30.07	29.57	28.84	27.44	26.64	27.07	27.82
	8:00	114.28	114.28	111.02	107.91	105.23	102.74	99.53	101.87	103.65
	9:00	162.52	162.52	159.10	153.31	150.46	147.81	144.41	146.86	148.83
	10:00	188.52	188.52	185.01	176.04	173.29	170.76	167.46	169.82	171.76
	11:00	198.11	198.11	194.72	184.57	182.28	180.16	177.27	179.36	181.03
	12:00	197.31	197.31	194.01	182.68	180.92	179.18	176.62	178.48	179.95
	13:00	191.61	191.61	188.23	177.08	175.43	173.03	171.63	171.50	174.63
	14:00	178.05	178.05	174.50	165.49	164.22	160.73	160.50	158.15	163.39
	15:00	155.38	155.38	151.50	145.44	143.31	139.81	139.14	137.42	142.26
	16:00	122.65	122.65	118.15	113.35	110.67	108.16	105.59	107.12	109.24
	17:00	56.20	56.20	55.58	59.79	60.97	61.19	61.13	60.35	62.05
	18:00	117.74	117.74	118.29	118.94	118.13	117.45	116.85	117.16	117.80
	19:00	136.92	136.92	136.63	136.64	135.53	134.56	133.74	134.13	135.05
	20:00	140.39	140.39	140.06	140.03	139.10	138.15	137.35	137.72	138.64
	21:00	140.88	140.88	140.54	140.50	139.37	138.67	137.85	138.23	139.16
	22:00	141.09	141.09	140.75	140.71	139.83	138.84	137.99	138.40	139.34
	23:00	141.51	141.51	141.17	141.12	139.96	138.95	138.08	138.50	139.46
	0:00	142.45	142.45	142.10	142.04	140.86	139.84	138.95	139.38	140.35

		Belém - PA						
		Vazão do ar (Kg/h)						
		0 Grau	10.79 Graus	20.17 Graus	24.69 Graus	22.90 Graus	15.16 Graus	8.60 Graus
INVERNO	1:00	149.32	148.88	147.63	147.09	147.10	148.72	148.95
	2:00	149.47	149.03	147.76	147.21	147.22	148.86	149.10
	3:00	150.15	149.70	148.43	147.88	147.89	149.53	149.78
	4:00	150.03	149.57	148.30	147.74	147.75	149.40	149.65
	5:00	150.30	149.85	148.56	148.00	148.01	149.68	149.93
	6:00	152.24	151.77	150.50	149.94	149.95	151.60	151.86
	7:00	151.43	150.18	151.45	151.98	151.99	150.62	149.69
	8:00	128.41	126.55	127.46	127.97	127.98	126.64	127.12
	9:00	161.66	158.04	158.56	158.86	158.87	157.69	160.08
	10:00	192.01	185.59	186.07	186.27	186.28	185.13	190.41
	11:00	209.70	201.17	201.55	201.76	201.77	200.56	208.10
	12:00	215.30	205.57	206.01	206.24	206.26	204.93	213.73
	13:00	211.74	201.09	201.60	201.86	201.88	200.47	210.12
	14:00	201.81	191.37	191.85	192.12	192.13	190.73	199.72
15:00	177.09	168.57	169.04	169.33	169.35	167.98	175.44	
16:00	140.24	132.21	132.89	133.34	133.35	131.77	138.29	
17:00	62.23	58.63	58.20	59.21	59.22	58.48	62.22	
18:00	133.53	133.78	132.81	132.29	132.30	133.60	133.28	
19:00	146.02	145.67	144.48	143.97	143.98	145.53	145.68	
20:00	147.27	146.88	145.71	145.22	145.23	146.75	146.93	
21:00	147.32	146.93	145.75	145.24	145.25	146.79	146.98	
22:00	148.18	147.77	146.57	146.06	146.07	147.63	147.83	
23:00	148.44	148.03	146.81	146.28	146.29	147.88	148.08	
0:00	148.11	147.69	146.45	145.91	145.92	147.53	147.75	
VERÃO	1:00	147.23	146.80	145.57	145.03	145.16	146.64	146.87
	2:00	147.31	146.88	145.64	145.10	145.22	146.72	146.95
	3:00	147.86	147.42	146.17	145.63	145.76	147.26	147.50
	4:00	147.81	147.37	146.12	145.57	145.69	147.20	147.45
	5:00	148.64	148.19	146.93	146.38	146.51	148.02	148.27
	6:00	155.11	154.64	153.33	152.75	152.89	154.46	154.73
	7:00	73.72	69.44	67.14	66.00	66.06	68.15	70.89
	8:00	116.12	110.79	107.82	106.25	106.34	109.03	112.84
	9:00	164.65	156.94	153.43	151.47	151.60	154.72	160.87
	10:00	195.47	185.03	180.47	178.28	178.43	181.88	191.27
	11:00	208.45	196.68	192.38	189.94	190.11	193.91	204.10
	12:00	205.66	193.94	190.51	188.62	188.78	191.44	201.34
	13:00	196.45	185.46	182.64	181.16	181.32	183.43	192.19
	14:00	184.88	174.64	171.82	170.37	170.52	172.54	180.51
15:00	163.20	154.45	151.68	150.25	150.38	152.38	158.89	
16:00	130.62	122.48	119.75	118.31	118.41	120.46	126.06	
17:00	62.15	66.49	66.14	66.28	66.34	66.35	65.72	
18:00	129.27	129.12	128.04	127.53	127.64	129.08	129.30	
19:00	141.40	141.10	139.98	139.50	139.62	140.98	141.10	
20:00	144.96	144.58	143.44	142.95	143.08	144.46	144.62	
21:00	145.53	145.14	143.97	143.48	143.60	145.00	145.19	
22:00	145.75	145.36	144.18	143.67	143.80	145.22	145.41	
23:00	145.83	145.43	144.23	143.72	143.84	145.28	145.49	
0:00	146.68	146.26	145.04	144.51	144.63	146.11	146.32	

**8.4 – APÊNDICE D – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) E VAZÃO DO AR (Kg/h) NO INTERIOR DA CHAMINÉ CONVENCIONAL**

		Vazão do Ar (Kg/h)								Temperatura do ar (°C)							
		Chaminé Convencional								Chaminé Convencional							
		Curitiba-ZB1	Urussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8	Curitiba-ZB1	Urussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
INVERNO	1:00	111.01	110.23	104.32	101.18	107.47	106.67	108.12	111.01	21.67	10.20	13.37	13.22	13.76	15.43	19.83	21.67
	2:00	110.87	110.26	104.68	101.13	107.65	106.91	108.15	110.87	21.22	9.51	12.65	12.63	13.00	14.95	19.36	21.22
	3:00	111.46	110.66	104.63	101.38	107.89	106.93	108.18	111.46	20.90	9.05	12.04	12.24	12.45	14.47	19.01	20.90
	4:00	111.26	110.64	104.89	101.79	107.80	107.27	108.69	111.26	20.67	8.58	11.63	11.95	12.00	14.18	18.78	20.67
	5:00	111.31	110.62	105.30	101.69	107.83	107.28	108.70	111.31	20.46	8.35	11.32	11.75	11.56	13.89	18.55	20.46
	6:00	112.86	111.24	105.28	102.37	109.12	107.88	108.25	112.86	20.47	8.13	11.11	11.66	11.47	13.80	18.62	20.47
	7:00	117.10	112.40	102.47	80.60	108.99	107.86	72.11	117.10	23.35	8.13	11.15	12.62	11.35	13.70	21.18	23.35
	8:00	131.25	152.30	94.76	99.74	120.68	110.99	100.18	131.25	25.57	12.85	14.54	16.43	15.26	16.47	22.99	25.57
	9:00	147.16	130.92	130.28	132.89	127.02	119.95	133.55	147.16	27.82	13.74	17.46	19.67	17.49	19.03	25.48	27.82
	10:00	163.65	155.09	154.33	154.74	152.84	142.76	150.52	163.65	30.23	16.82	21.10	22.97	21.07	21.83	28.02	30.23
	11:00	171.48	168.36	168.72	168.77	164.31	154.48	160.31	171.48	32.46	19.88	24.81	25.95	24.67	24.57	30.30	32.46
	12:00	171.35	171.94	169.99	170.30	165.98	158.82	160.56	171.35	34.15	22.59	27.84	28.08	27.72	27.00	31.90	34.15
	13:00	165.82	164.38	163.39	164.46	158.85	154.02	157.56	165.82	35.06	24.26	29.86	29.31	29.78	28.52	33.00	35.06
	14:00	158.01	150.42	151.89	154.87	146.54	138.63	147.88	158.01	35.35	24.95	30.73	29.52	30.66	28.80	33.09	35.35
	15:00	143.84	126.77	127.93	133.28	125.62	118.03	133.67	143.84	34.61	24.17	29.79	28.26	30.01	28.16	32.37	34.61
	16:00	113.44	63.89	86.93	98.15	78.55	52.37	104.19	113.44	32.79	21.77	27.37	25.98	27.65	25.20	30.69	32.79
	17:00	41.98	99.19	75.44	62.09	86.03	87.09	50.90	41.98	30.17	18.65	23.69	22.40	23.99	23.05	28.29	30.17
	18:00	103.89	108.55	101.06	96.61	104.71	103.97	99.64	103.89	27.35	17.12	21.47	20.06	22.02	21.50	25.48	27.35
	19:00	110.11	109.27	103.57	100.14	106.51	105.90	106.99	110.11	26.19	15.85	20.00	18.79	20.46	20.42	24.28	26.19
	20:00	110.52	109.45	103.74	100.24	106.82	105.94	107.23	110.52	25.31	14.70	18.68	17.62	19.15	19.37	23.34	25.31
21:00	110.57	109.56	103.85	100.52	106.85	105.98	107.29	110.57	24.43	13.66	17.45	16.55	17.84	18.40	22.41	24.43	
22:00	110.66	109.55	103.88	100.56	106.96	106.28	107.71	110.66	23.65	12.62	16.23	15.57	16.62	17.54	21.70	23.65	
23:00	110.72	109.75	104.19	100.84	107.14	106.36	107.74	110.72	22.89	11.70	15.21	14.69	15.63	16.77	21.00	22.89	
0:00	111.04	109.83	104.29	100.94	107.20	106.64	107.78	111.04	22.22	10.89	14.29	13.91	14.65	16.10	20.30	22.22	
VERÃO	1:00	111.16	110.07	104.70	101.33	107.60	106.60	107.60	111.16	21.70	16.05	18.35	16.91	19.45	19.64	22.20	21.70
	2:00	111.15	110.04	104.72	101.29	107.49	106.50	107.96	111.15	21.18	15.49	17.83	16.54	19.00	19.23	21.71	21.18
	3:00	111.54	110.47	105.04	101.28	107.57	106.96	107.85	111.54	20.88	15.17	17.52	16.16	18.56	18.93	21.31	20.88
	4:00	111.52	110.31	105.67	101.64	108.68	107.55	108.27	111.52	20.57	14.94	17.42	15.98	18.46	18.83	21.01	20.57
	5:00	112.21	111.13	105.66	101.56	108.66	107.54	108.91	112.21	20.47	14.83	17.32	15.79	18.35	18.73	20.92	20.47
	6:00	112.12	93.51	91.26	92.27	81.50	92.91	101.03	112.12	20.36	17.00	18.10	16.17	19.53	19.43	21.07	20.36
	7:00	117.44	103.49	82.98	75.51	95.13	121.14	49.83	117.44	24.14	19.19	21.14	18.67	22.51	23.67	23.26	24.14
	8:00	111.31	124.70	107.56	103.13	111.79	109.56	107.99	111.31	25.05	21.53	23.24	20.46	24.57	24.57	25.67	25.05
	9:00	141.63	138.43	127.61	125.79	131.87	131.44	135.09	141.63	27.64	24.13	25.74	22.71	27.14	26.82	28.19	27.64
	10:00	159.84	143.87	137.37	136.35	141.26	142.22	147.21	159.84	30.20	26.50	27.82	24.75	29.43	28.84	30.70	30.20
	11:00	166.72	147.08	138.18	138.29	141.50	143.59	150.30	166.72	32.32	28.74	29.54	26.46	31.26	30.47	32.90	32.32
	12:00	165.71	143.31	133.02	134.27	135.67	138.54	147.14	165.71	33.99	30.25	30.68	27.81	32.60	31.46	34.55	33.99
	13:00	159.97	139.83	126.90	128.91	127.07	128.53	145.67	159.97	35.05	31.47	31.58	28.71	33.47	32.07	35.87	35.05
	14:00	153.23	136.84	126.21	126.59	126.71	125.02	142.01	153.23	35.34	31.86	31.96	29.16	33.91	32.39	36.40	35.34
	15:00	140.35	127.79	122.02	120.72	122.51	120.30	131.60	140.35	34.66	31.17	31.45	28.76	33.40	31.98	35.80	34.66
	16:00	111.70	114.68	106.54	103.12	108.29	105.70	107.18	111.70	32.99	29.79	30.15	27.40	32.03	30.66	34.14	32.99
	17:00	43.22	88.20	67.80	57.93	70.54	67.97	55.75	43.22	30.14	27.63	27.90	25.20	29.75	28.56	31.71	30.14
	18:00	103.79	57.74	77.40	81.61	75.91	79.70	93.81	103.79	27.52	24.54	24.96	22.53	26.79	25.77	28.65	27.52
	19:00	110.05	105.47	101.18	98.58	103.75	103.14	106.83	110.05	26.33	22.12	23.10	21.04	24.78	24.05	27.19	26.33
	20:00	110.35	108.94	103.78	100.57	106.79	105.94	106.95	110.35	25.29	20.71	22.04	20.17	23.64	23.11	26.09	25.29
21:00	110.52	109.10	104.07	100.59	106.83	105.95	107.26	110.52	24.47	19.49	21.12	19.33	22.54	22.19	25.19	24.47	
22:00	110.55	109.25	104.08	100.72	106.93	106.03	107.30	110.55	23.65	18.49	20.20	18.68	21.55	21.38	24.29	23.65	
23:00	110.58	109.29	104.41	100.74	107.32	106.22	107.39	110.58	22.83	17.49	19.47	18.03	20.78	20.76	23.50	22.83	
0:00	110.74	109.72	104.36	100.77	107.36	106.24	107.67	110.74	22.21	16.71	18.86	17.38	20.01	20.15	22.80	22.21	

**8.5 – APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VAZÃO DO AR (m³/s)  
MÉDIA EM CADA CIDADE SIMULADA**

		Chaminé Convencional							
		Curitiba-ZB1	Urussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
INVERNO	1:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	2:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	3:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	4:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	5:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026
	6:00	0.026	0.025	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	7:00	0.026	0.025	0.025	0.021	0.026	0.026	0.017	0.027
	8:00	0.027	0.035	0.023	0.026	0.029	0.027	0.024	0.031
	9:00	0.026	0.030	0.032	0.035	0.030	0.029	0.033	0.035
	10:00	0.033	0.036	0.039	0.041	0.037	0.035	0.037	0.039
	11:00	0.036	0.039	0.043	0.045	0.040	0.038	0.039	0.041
	12:00	0.037	0.040	0.043	0.046	0.041	0.039	0.040	0.041
	13:00	0.036	0.039	0.042	0.044	0.039	0.038	0.039	0.040
	14:00	0.032	0.036	0.039	0.042	0.036	0.035	0.037	0.038
	15:00	0.027	0.030	0.033	0.036	0.031	0.030	0.033	0.035
	16:00	0.009	0.015	0.022	0.026	0.019	0.013	0.026	0.027
	17:00	0.023	0.023	0.019	0.017	0.021	0.022	0.013	0.010
	18:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025
	19:00	0.026	0.025	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	20:00	0.026	0.025	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	21:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	22:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	23:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
	0:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026

		Chaminé Solar							
		Curitiba-ZB1	Urussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
INVERNO	1:00	0.034	0.034	0.034	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	2:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	3:00	0.034	0.033	0.034	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	4:00	0.034	0.033	0.034	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	5:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	6:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	7:00	0.034	0.034	0.034	0.030	0.034	0.035	0.020	0.035
	8:00	0.025	0.032	0.021	0.023	0.026	0.025	0.025	0.030
	9:00	0.028	0.032	0.034	0.037	0.032	0.030	0.036	0.038
	10:00	0.036	0.040	0.044	0.047	0.041	0.039	0.044	0.045
	11:00	0.042	0.045	0.051	0.054	0.045	0.045	0.049	0.050
	12:00	0.044	0.047	0.053	0.056	0.047	0.048	0.050	0.051
	13:00	0.043	0.046	0.052	0.055	0.046	0.047	0.050	0.051
	14:00	0.039	0.042	0.049	0.052	0.043	0.043	0.047	0.048
	15:00	0.032	0.035	0.040	0.044	0.035	0.036	0.040	0.043
	16:00	0.013	0.017	0.026	0.032	0.021	0.016	0.031	0.034
	17:00	0.029	0.029	0.025	0.020	0.027	0.028	0.014	0.015
	18:00	0.033	0.033	0.034	0.034	0.034	0.034	0.032	0.032
	19:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	20:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	21:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	22:00	0.034	0.034	0.034	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	23:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035
	0:00	0.034	0.033	0.034	0.035	0.034	0.034	0.035	0.035

VERÃO	1:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	2:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	3:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	4:00	0.026	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	5:00	0.026	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	6:00	0.022	0.022	0.023	0.024	0.020	0.023	0.025	0.026
	7:00	0.024	0.024	0.021	0.020	0.023	0.030	0.012	0.027
	8:00	0.029	0.029	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026
	9:00	0.033	0.033	0.033	0.033	0.032	0.033	0.033	0.033
	10:00	0.036	0.034	0.035	0.036	0.035	0.036	0.036	0.038
	11:00	0.035	0.035	0.036	0.037	0.035	0.036	0.037	0.040
	12:00	0.035	0.034	0.034	0.036	0.034	0.035	0.037	0.040
	13:00	0.033	0.034	0.033	0.035	0.032	0.033	0.037	0.038
	14:00	0.033	0.033	0.033	0.034	0.032	0.032	0.036	0.037
	15:00	0.032	0.031	0.032	0.033	0.031	0.031	0.033	0.034
	16:00	0.029	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
	17:00	0.020	0.021	0.018	0.016	0.018	0.017	0.014	0.010
	18:00	0.017	0.014	0.020	0.022	0.019	0.020	0.023	0.025
	19:00	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026
	20:00	0.026	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	21:00	0.026	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	22:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	23:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
	0:00	0.026	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026

VERÃO	1:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034
	2:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034
	3:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034
	4:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.034
	5:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
	6:00	0.034	0.033	0.040	0.042	0.034	0.041	0.042	0.036
	7:00	0.015	0.015	0.012	0.012	0.014	0.019	0.008	0.017
	8:00	0.031	0.031	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.027
	9:00	0.040	0.040	0.038	0.039	0.037	0.039	0.040	0.039
	10:00	0.046	0.046	0.045	0.045	0.043	0.045	0.047	0.046
	11:00	0.049	0.050	0.048	0.048	0.045	0.049	0.049	0.050
	12:00	0.050	0.051	0.049	0.049	0.046	0.050	0.049	0.049
	13:00	0.050	0.051	0.048	0.048	0.045	0.049	0.048	0.047
	14:00	0.048	0.049	0.046	0.046	0.043	0.048	0.045	0.044
	15:00	0.045	0.044	0.042	0.041	0.039	0.043	0.039	0.039
	16:00	0.038	0.038	0.034	0.033	0.032	0.035	0.031	0.031
	17:00	0.026	0.026	0.019	0.016	0.018	0.019	0.014	0.015
	18:00	0.020	0.019	0.025	0.027	0.024	0.025	0.029	0.031
	19:00	0.033	0.032	0.033	0.034	0.033	0.033	0.034	0.034
	20:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.034	0.035	0.034
	21:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.034	0.035	0.034
	22:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.034	0.035	0.034
	23:00	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.034	0.035	0.034
	0:00	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034

### 8.6 – APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÕES PARA A VELOCIDADE DO AR (m/s) MÉDIA EM CADA CIDADE SIMULADA

		Velocidade média do ar (m/s)							
		Chaminé Convencional							
		Curtiba-ZB1	Unussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
INVERNO	1:00	0.143	0.140	0.144	0.146	0.142	0.144	0.146	0.144
	2:00	0.142	0.139	0.144	0.146	0.142	0.144	0.145	0.144
	3:00	0.143	0.140	0.143	0.146	0.142	0.144	0.145	0.144
	4:00	0.142	0.139	0.144	0.147	0.142	0.144	0.146	0.144
	5:00	0.143	0.139	0.144	0.146	0.142	0.144	0.146	0.144
	6:00	0.143	0.140	0.144	0.147	0.143	0.145	0.145	0.146
	7:00	0.145	0.141	0.140	0.116	0.143	0.145	0.097	0.151
	8:00	0.149	0.192	0.130	0.144	0.159	0.149	0.135	0.170
	9:00	0.145	0.166	0.179	0.194	0.168	0.162	0.181	0.192
	10:00	0.182	0.198	0.214	0.227	0.204	0.194	0.205	0.215
	11:00	0.200	0.217	0.237	0.249	0.221	0.212	0.219	0.226
	12:00	0.205	0.223	0.241	0.253	0.226	0.219	0.221	0.227
	13:00	0.198	0.215	0.233	0.246	0.218	0.214	0.218	0.221
	14:00	0.181	0.197	0.218	0.232	0.202	0.193	0.205	0.211
	15:00	0.148	0.167	0.184	0.200	0.173	0.164	0.185	0.192
	16:00	0.047	0.084	0.124	0.147	0.108	0.073	0.144	0.151
	17:00	0.129	0.129	0.107	0.092	0.118	0.121	0.070	0.056
	18:00	0.143	0.141	0.143	0.143	0.142	0.143	0.137	0.137
	19:00	0.144	0.141	0.146	0.148	0.144	0.146	0.146	0.145
	20:00	0.144	0.141	0.146	0.147	0.144	0.145	0.146	0.145
	21:00	0.144	0.141	0.145	0.147	0.143	0.145	0.146	0.145
	22:00	0.143	0.140	0.145	0.147	0.143	0.145	0.146	0.145
	23:00	0.143	0.140	0.144	0.147	0.143	0.144	0.146	0.144
	0:00	0.143	0.140	0.144	0.146	0.142	0.144	0.145	0.144

		Velocidade média do ar (m/s)							
		Chaminé Solar							
		Curtiba-ZB1	Unussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
INVERNO	1:00	0.189	0.187	0.191	0.194	0.189	0.192	0.194	0.194
	2:00	0.189	0.186	0.192	0.195	0.189	0.193	0.194	0.194
	3:00	0.189	0.186	0.191	0.195	0.189	0.192	0.195	0.194
	4:00	0.189	0.186	0.192	0.195	0.189	0.193	0.195	0.194
	5:00	0.190	0.187	0.192	0.195	0.189	0.193	0.195	0.194
	6:00	0.190	0.186	0.192	0.197	0.191	0.194	0.195	0.197
	7:00	0.191	0.189	0.187	0.164	0.190	0.193	0.113	0.196
	8:00	0.140	0.180	0.119	0.130	0.146	0.137	0.137	0.167
	9:00	0.156	0.178	0.190	0.207	0.176	0.166	0.200	0.211
	10:00	0.203	0.221	0.245	0.263	0.225	0.217	0.243	0.252
	11:00	0.231	0.249	0.281	0.299	0.252	0.249	0.270	0.277
	12:00	0.242	0.261	0.293	0.312	0.262	0.265	0.279	0.286
	13:00	0.237	0.255	0.289	0.308	0.255	0.263	0.276	0.282
	14:00	0.219	0.236	0.270	0.291	0.237	0.241	0.260	0.269
	15:00	0.175	0.192	0.222	0.244	0.197	0.200	0.224	0.236
	16:00	0.070	0.092	0.145	0.177	0.114	0.088	0.171	0.187
	17:00	0.160	0.162	0.140	0.114	0.151	0.155	0.079	0.083
	18:00	0.186	0.185	0.187	0.187	0.187	0.187	0.179	0.177
	19:00	0.189	0.187	0.192	0.195	0.190	0.192	0.194	0.192
	20:00	0.189	0.187	0.193	0.195	0.191	0.192	0.194	0.193
	21:00	0.189	0.187	0.192	0.194	0.190	0.192	0.194	0.193
	22:00	0.189	0.186	0.192	0.195	0.190	0.192	0.195	0.194
	23:00	0.189	0.187	0.192	0.194	0.190	0.192	0.195	0.193
	0:00	0.188	0.186	0.191	0.194	0.189	0.191	0.194	0.193

		Velocidade média do ar (m/s)							
		Chaminé Convencional							
		Curtiba-ZB1	Unussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
VERÃO	1:00	0.146	0.142	0.147	0.149	0.145	0.146	0.146	0.144
	2:00	0.146	0.142	0.147	0.148	0.145	0.146	0.146	0.144
	3:00	0.146	0.143	0.147	0.148	0.145	0.146	0.146	0.144
	4:00	0.147	0.142	0.148	0.149	0.146	0.147	0.146	0.144
	5:00	0.147	0.143	0.148	0.148	0.146	0.147	0.147	0.145
	6:00	0.120	0.121	0.128	0.135	0.110	0.127	0.136	0.145
	7:00	0.131	0.134	0.116	0.110	0.128	0.166	0.067	0.152
	8:00	0.161	0.162	0.151	0.151	0.152	0.151	0.147	0.144
	9:00	0.186	0.181	0.181	0.185	0.180	0.182	0.184	0.185
	10:00	0.198	0.190	0.196	0.202	0.194	0.198	0.202	0.210
	11:00	0.197	0.196	0.198	0.206	0.195	0.201	0.208	0.220
	12:00	0.193	0.192	0.191	0.201	0.188	0.195	0.204	0.220
	13:00	0.185	0.188	0.183	0.194	0.177	0.181	0.203	0.213
	14:00	0.183	0.184	0.182	0.190	0.177	0.176	0.199	0.205
	15:00	0.179	0.172	0.176	0.182	0.171	0.170	0.184	0.187
	16:00	0.159	0.154	0.154	0.155	0.151	0.149	0.150	0.149
	17:00	0.113	0.118	0.097	0.087	0.098	0.095	0.078	0.057
	18:00	0.092	0.077	0.111	0.122	0.105	0.111	0.130	0.137
	19:00	0.143	0.139	0.144	0.147	0.143	0.144	0.147	0.145
	20:00	0.147	0.143	0.147	0.149	0.146	0.147	0.147	0.145
	21:00	0.147	0.143	0.147	0.149	0.146	0.147	0.147	0.145
	22:00	0.146	0.143	0.147	0.149	0.145	0.146	0.147	0.144
	23:00	0.146	0.142	0.147	0.148	0.145	0.146	0.146	0.144
	0:00	0.146	0.142	0.147	0.148	0.145	0.146	0.146	0.144

		Velocidade média do ar (m/s)							
		Chaminé Solar							
		Curtiba-ZB1	Unussanga-ZB2	Uberaba-ZB3	Brasília-ZB4	Araçatuba-ZB5	Campo Grande-ZB6	Petrolina-ZB7	Belém-ZB8
VERÃO	1:00	0.192	0.187	0.193	0.194	0.191	0.192	0.193	0.191
	2:00	0.192	0.187	0.193	0.195	0.191	0.192	0.194	0.191
	3:00	0.192	0.188	0.193	0.195	0.190	0.193	0.193	0.191
	4:00	0.193	0.187	0.194	0.195	0.192	0.193	0.194	0.191
	5:00	0.193	0.188	0.194	0.195	0.192	0.193	0.195	0.192
	6:00	0.187	0.181	0.224	0.233	0.191	0.229	0.235	0.202
	7:00	0.083	0.083	0.068	0.064	0.076	0.103	0.043	0.095
	8:00	0.170	0.170	0.156	0.154	0.155	0.160	0.155	0.151
	9:00	0.223	0.222	0.213	0.214	0.207	0.214	0.222	0.215
	10:00	0.255	0.255	0.248	0.250	0.238	0.252	0.259	0.256
	11:00	0.272	0.276	0.266	0.267	0.253	0.271	0.274	0.275
	12:00	0.279	0.284	0.271	0.271	0.255	0.278	0.274	0.273
	13:00	0.275	0.283	0.266	0.266	0.248	0.274	0.267	0.262
	14:00	0.267	0.273	0.258	0.254	0.240	0.264	0.249	0.247
	15:00	0.248	0.247	0.233	0.227	0.219	0.238	0.217	0.218
	16:00	0.211	0.211	0.187	0.183	0.179	0.193	0.171	0.174
	17:00	0.142	0.147	0.106	0.090	0.100	0.107	0.078	0.082
	18:00	0.114	0.106	0.139	0.152	0.136	0.141	0.163	0.171
	19:00	0.181	0.176	0.183	0.186	0.183	0.182	0.189	0.186
	20:00	0.191	0.187	0.192	0.194	0.191	0.192	0.193	0.190
	21:00	0.191	0.187	0.192	0.194	0.190	0.192	0.193	0.191
	22:00	0.191	0.187	0.192	0.194	0.190	0.191	0.193	0.190
	23:00	0.192	0.186	0.192	0.194	0.190	0.191	0.193	0.190
	0:00	0.192	0.187	0.192	0.194	0.191	0.192	0.194	0.191