

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DIFERENÇAS NA SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
EDIFICAÇÕES DECORRENTES DO USO DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS DE SÍTIOS E ANOS
DISTINTOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

JOYCE CORRENA CARLO

Florianópolis, fevereiro de 2002

DIFERENÇAS NA SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
EDIFICAÇÕES DECORRENTES DO USO DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS DE SÍTIOS E ANOS
DISTINTOS

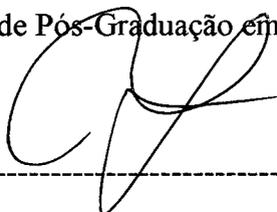
JOYCE CORRENA CARLO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

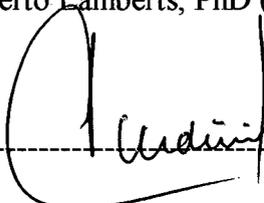
MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo

programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

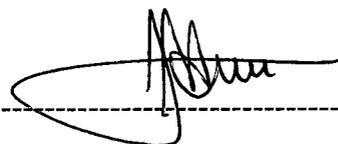


Prof. Roberto Lamberts, PhD (Orientador)

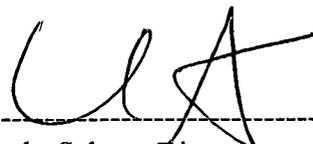


Prof. Jucilei Cordini (Coordenador do Curso)

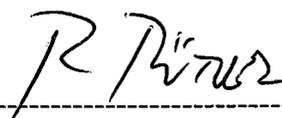
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. José Antônio Bellini da Cunha Neto (UFSC)



Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt (UFAL)



Prof. Ricardo Rüther, PhD (UFSC)

Queremos anos de prática profissional, queremos anos de vida pessoal, carregando em nós seus nomes, seus valores e suas bênçãos. Suas bênçãos, levamos ao saber que continuam a torcer por nós; seus valores, foram anos para aprender e acreditamos estar prontos; e seus nomes, estes queremos honrar mais e mais a cada dia de nossas vidas. Agradecer aqui é o começo de uma homenagem que há de continuar a cada projeto, estudo ou obra que assinarmos, orgulhando-nos de estar assinando os nomes que vocês, nossos pais e mães nos cederam.

Reafirmo mais uma vez as palavras que disse em minha formatura.
Estarei sempre agradecendo e homenageando-os em cada trabalho de minha vida.
A meus pais, Murilo e Laisse.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Roberto Lamberts, pela orientação e pelo exemplo a ser seguido na vida profissional.

À comissão examinadora, professores Leonardo Bittencourt, Ricardo Rüther e José A. Bellini da Cunha Neto.

Aos pesquisadores do LabEEE Ana Lígia Papst, Alexandra Maciel, Antônio César Batista, Fernando Westphal e Kelly Loureiro que contribuíram diretamente com este trabalho através de trocas de informações e discussões.

Às pesquisadoras do LABCON, Roberta e Catharina, pela amizade acima de tudo e pelo apoio e incentivo durante os momentos de dificuldade.

Aos pesquisadores Sérgio Tavares, Isabel Salamoni e acadêmicos Érika Suzuki, Nadiesda dos Santos, Alexandre Lee, Rafael Moretti e Deivis Marinoski que contribuíram indiretamente com este trabalho.

Ao Prof. Bellini do LMPT e ao engenheiro Vilmar Grüdtner pela experiência adquirida no Building Simulation'01.

Ao CLIMERH e seu coordenador Gerson Conceição pelos dados climáticos da estação automática do Itacorubi.

Ao LABSOLAR e ao pesquisador Samuel Luna de Abreu pelos dados climáticos da estação do LABSOLAR.

Ao geógrafo Maurício Pamplona pela gentileza ao ceder uma cópia de sua dissertação durante o período de greve.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

A Cristian, Eric e Emily, que mesmo distantes sempre me fizeram sentir próxima de casa.

A meus pais,

E a Deus.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xvii
RESUMO	xix
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	1
1.2. FERRAMENTAS	2
1.3. O PROGRAMA DOE 2.1-E.....	2
1.4. ARQUIVOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS EM SIMULAÇÕES	4
1.5. OBJETIVO DO TRABALHO	6
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	6
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. CLIMATOLOGIA URBANA	8
2.1.1. FUNDAMENTOS	8
2.1.2. A CIDADE, AS TROCAS DE ENERGIA E O TOPOCLIMA	12
2.1.2.1. SUPERFÍCIES	12
2.1.2.2. GEOMETRIA E MORFOLOGIA URBANAS	13
2.1.2.3. VEGETAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	14
2.1.2.4. CALOR ANTROPOGÊNICO	15
2.1.2.5. ALBEDO, RADIAÇÃO SOLAR E RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	17
2.1.2.6. TEMPERATURA DO AR E TEMPERATURA SUPERFICIAL	19
2.1.2.7. VENTOS	21
2.1.2.8. UMIDADE	22
2.1.3. CLIMA URBANO E CONSUMO DE ENERGIA	22

2.2. SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA	25
2.2.1. ENTRADA DE DADOS – ARQUIVOS CLIMÁTICOS	26
2.2.2. MODELOS DE EDIFICAÇÕES	28
2.2.3. SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS EM EDIFICAÇÕES	30
<u>CAPÍTULO 3. CIDADES ESTUDADAS</u>	32
3.1. RIO DE JANEIRO	32
3.2. MANAUS	33
3.3. FLORIANÓPOLIS	35
<u>CAPÍTULO 4. METODOLOGIA</u>	39
4.1. ARQUIVOS CLIMÁTICOS	39
4.1.1. ARQUIVOS CLIMÁTICOS ORIGINAIS – ANÁLISE E SELEÇÃO	40
4.1.2. PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS	49
4.1.2.1. DADOS AUSENTES	49
4.1.2.2. UMDADE RELATIVA	49
4.1.2.3. PRESSÃO	50
4.1.2.4. VENTO	50
4.1.2.5. RADIAÇÃO GLOBAL	52
4.1.2.6. RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA	56
4.1.3. FORMATO DOS ARQUIVOS PARA COMPILAÇÃO NO DOE 2.1-E	57
4.2. DEFINIÇÃO DOS PROTÓTIPOS	58
4.3. DEMAIS DADOS DE ENTRADA FIXADOS NA SIMULAÇÃO	60
4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS	61
<u>CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	63
5.1. RIO DE JANEIRO	63
5.1.1. ANÁLISE DO CLIMA	63
5.1.2. CONSUMO ANUAL DE ENERGIA NO RIO DE JANEIRO	67
5.1.3. DISCUSSÃO	69
5.2. MANAUS	70

5.2.1. ANÁLISE DO CLIMA	70
5.2.2. CONSUMO ANUAL DE ENERGIA EM MANAUS	76
5.2.3. DISCUSSÃO	77
5.3. FLORIANÓPOLIS	79
5.3.1. ANÁLISE DO CLIMA	79
5.3.2. RESULTADOS: CONSUMO, CARGAS DE PICO E GANHOS TÉRMICOS	86
5.3.2.1. CONSUMO	86
5.3.2.2. CARGAS DE PICO	90
5.3.2.3. GANHOS TÉRMICOS	93
5.3.3. DISCUSSÃO	97
5.3.4. ANÁLISE DA RADIAÇÃO GLOBAL MEDIDA NO ITACORUBI	102
5.4. DISCUSSÃO FINAL	103
CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO	107
6.1. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 Estrutura de funcionamento dos cinco módulos do DOE 2.1-E elaborada por PEDRINI (1997).
- Figura 02 Diversificação escalar intra-urbana de MONTEIRO (1990).
- Figura 03 Médias de temperatura anual de 30 em 30 anos em Helsinki de 1829-1995. Linha fina: médias publicadas originariamente, incorretas devido à mudança de localização da estação climática. Linha espessa: médias corrigidas.
- Figura 04 Adaptação das edificações e da forma urbana típicas ao tipo de clima segundo a latitude.
- Figura 05 Mancha urbana e áreas verdes na área de estudo de PAMPLONA (1999), na porção insular de Florianópolis, Santa Catarina.
- Figura 06 Mapeamento do albedo na área central da porção insular de Florianópolis, Santa Catarina.
- Figura 07 Isolinhas de carga de resfriamento (em kW) para temperatura de *set point* de 27° C sobre a malha urbana de Atenas, Grécia, em agosto de 1996.
- Figura 08 Climas existentes no Brasil.
- Figura 09 Localização dos aeroportos na Baía da Guanabara.
- Figura 10 Vista panorâmica da topografia e ocupação urbana na região dos aeroportos no Rio de Janeiro.
- Figura 11 Localização dos aeroportos na cidade de Manaus.
- Figura 12 Ocupação no entorno do Aeroporto de Ponta Pelada.
- Figura 13 Ocupação no entorno do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes.
- Figura 14 Ilha de Santa Catarina.
- Figura 15 Ocupação urbana e topografia nas áreas onde estão localizadas as estações climáticas.
- Figura 16 Foto aérea do Aeroporto Hercílio Luz e entorno em Florianópolis.
- Figura 17 Foto aérea do Campus UFSC e Bairro Itacorubi e parte do centro.

- Figura 18 Método 01 de estimativa da radiação global horária.
- Figura 19 Método 02 para estimativa da radiação global horária.
- Figura 20 Frequência de ocorrência de diferenças entre método 01 e método 02.
- Figura 21 Gráfico de dispersão entre as médias mensais da radiação global calculada e do Atlas Solar Brasileiro no Rio de Janeiro.
- Figura 22 Gráfico de dispersão entre as médias mensais da radiação global calculada e do Atlas Solar Brasileiro em Manaus.
- Figura 23 Fachada norte e vista do protótipo 49, menos sensível ao ambiente externo. As proteções solares não estão representadas nas vistas.
- Figura 24 Fachada norte e vista do protótipo 79, mais sensível ao ambiente externo.
- Figura 25 Planta das cinco zonas condicionadas dos protótipos 49 e 79.
- Figura 26 Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1987.
- Figura 27 Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1988.
- Figura 28 Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1989.
- Figura 29 Graus hora para resfriamento no Rio de Janeiro, para TBS base de 26,7° C.
- Figura 30 Porcentagem de graus hora para resfriamento no Rio de Janeiro, para TBS base de 26,7° C e suas diferenças por ano.
- Figura 31 Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1987.
- Figura 32 Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1988.
- Figura 33 Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1989.

- Figura 34 Correlação das médias de 1987 a 1989 da umidade relativa horária entre os aeroportos do Rio de Janeiro.
- Figura 35 Melhor correlação encontrada entre a TBS de Eduardo Gomes e Ponta Pelada ocorreu no ano de 1990.
- Figura 36 Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1990 em Manaus.
- Figura 37 Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1991 em Manaus.
- Figura 38 Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1992 em Manaus.
- Figura 39 Graus hora em Manaus para temperatura base de $26,7^{\circ}\text{C}$.
- Figura 40 Porcentagem relativa dos graus hora em Manaus para temperatura base de $26,7^{\circ}\text{C}$ e suas diferenças por ano.
- Figura 41 Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1990.
- Figura 42 Frequência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia em 1990 em Manaus.
- Figura 43 Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1991.
- Figura 44 Frequência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia em 1991 em Manaus.
- Figura 45 Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1992.
- Figura 46 Frequência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia em 1992 em Manaus.
- Figura 47 Soma anual da radiação global horária em Manaus e suas diferenças em relação ao máximo.
- Figura 48 Correlação entre as médias horárias de 1990 a 1992 da umidade relativa dos aeroportos de Manaus.

- Figura 49 Correlação entre as TBS de Hercílio Luz e Labsolar em 1996 em Florianópolis.
- Figura 50 Correlação entre as TBS do Labsolar e do Itacorubi em 1996 em Florianópolis.
- Figura 51 Correlação entre as TBS de Hercílio Luz e Itacorubi em 1996 em Florianópolis.
- Figura 52 Correlação entre as TBS de Hercílio Luz e Labsolar em 1997 em Florianópolis.
- Figura 53 Correlação entre as TBS do Labsolar e do Itacorubi em 1997 em Florianópolis.
- Figura 54 Correlação entre as TBS de Hercílio Luz e Itacorubi em 1997 em Florianópolis.
- Figura 55 Graus dia e graus hora em Florianópolis para temperatura base, T_b , de $26,7^{\circ} \text{C}$.
- Figura 56 Porcentagem graus hora em Florianópolis para temperatura base, T_b , de $26,7^{\circ} \text{C}$ e suas diferenças entre sítios quantificadas em relação ao máximo.
- Figura 57 Freqüência de ocorrência da umidade relativa em 1996.
- Figura 58 Freqüência de ocorrência da umidade relativa em 1997.
- Figura 59 Médias mensais de umidade relativa em 1996.
- Figura 60 Médias mensais de umidade relativa em 1997.
- Figura 61 Soma da radiação global anual em Florianópolis.
- Figura 62 Porcentagem, relativa ao máximo, da soma da radiação global anual em Florianópolis.
- Figura 63 Freqüência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1995.
- Figura 64 Freqüência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1996.
- Figura 65 Freqüência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1997.

- Figura 66 Frequência de ocorrência da radiação direta em Florianópolis em 1996.
- Figura 67 Frequência de ocorrência da radiação direta em Florianópolis em 1997.
- Figura 68 Porcentagem das diferenças de graus dia entre o TRY e os sítios estudados em Florianópolis.
- Figura 69 Porcentagem das diferenças nos níveis de radiação anual nos sítios estudados e do TRY de Florianópolis.
- Figura 70 Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, em 1996 na cidade de Florianópolis.
- Figura 71 Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, em 1996 na cidade de Florianópolis.
- Figura 72 Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, no ano de 1996.
- Figura 73 Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, no ano de 1996.
- Figura 74 Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, no ano de 1997.
- Figura 75 Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, no ano de 1997.
- Figura 76 Cargas de pico nos protótipos nos anos de 1996 e 1997 em Florianópolis.
- Figura 77 Média dos ganhos térmicos anuais por componente no protótipo 49 em Florianópolis.
- Figura 78 Média dos ganhos térmicos anuais por componente no protótipo 79 em Florianópolis.
- Figura 79 Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 49 em 1996.
- Figura 80 Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 79 em 1996.
- Figura 81 Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 49 em 1997.
- Figura 82 Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 79 em 1997.

- Figura 83 Soma dos ganhos térmicos anuais em Florianópolis em 1996 e 1997.
- Figura 84 Diferenças entre a radiação global medida no Labsolar e no Itacorubi em dias de céu claro.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 Radiação em localidades de Dehli, Índia, comparadas à área rural.
- Tabela 02 Porcentagem de horas com dados registrados nos arquivos originais do National Climatic Data Center, EUA.
- Tabela 03 Porcentagem média de horas com observações de nebulosidade nas estações do Rio de Janeiro.
- Tabela 04 Porcentagens de dados horários dos fatores climáticos dos arquivos do Rio de Janeiro.
- Tabela 05 Porcentagem de dados existentes de nebulosidade em Manaus segundo o ano e estação.
- Tabela 06 Porcentagem de dados existentes por fator climático nos arquivos de Manaus.
- Tabela 07 Porcentagem de horas com registros de nebulosidade nos arquivos climáticos de Hercílio Luz e de radiação global nos arquivos climáticos do LABSOLAR e da estação do CLIMERH no Itacorubi.
- Tabela 08 Porcentagem de dados existentes por fator climático nos arquivos de Florianópolis dos anos de 1995 a 1997.
- Tabela 09 Consumos e porcentagens das diferenças entre consumos de dois arquivos climáticos do Itacorubi, com dados variados de vento.
- Tabela 10 Porcentagens das diferenças de consumo entre protótipos e porcentagens das diferenças de consumo entre anos nos arquivos do Itacorubi com dados variados de vento.
- Tabela 11 Coeficientes de regressão da equação de PITTA (2001) para Florianópolis.

- Tabela 12 Coeficiente c da equação 06 ajustado para as cidades do Rio de Janeiro e Manaus.
- Tabela 13 Origem dos dados de cada localidade compilados para o formato *.bin.
- Tabela 14 Características de duas edificações simuladas por Signor (1999) para o clima de Florianópolis.
- Tabela 15 Dados de saída extraídos do DOE 2.1-E e processados para análise.
- Tabela 16 Média das horas de calmaria no Rio de Janeiro por período de ocorrência.
- Tabela 17 Consumo anual de energia elétrica no Rio de Janeiro em kWh/m² e porcentagens das diferenças de consumo anual entre protótipos.
- Tabela 18 Porcentagens das diferenças de consumo entre sítios no Rio de Janeiro.
- Tabela 19 Porcentagens das diferenças de consumo entre anos no Rio de Janeiro.
- Tabela 20 Resumo das diferenças entre fatores climáticos e consumo no Rio de Janeiro.
- Tabela 21 Consumo anual de energia elétrica no Manaus em kWh/m² e porcentagens das diferenças de consumo anual entre protótipos.
- Tabela 22 Porcentagens das diferenças de consumo entre sítios em Manaus.
- Tabela 23 Porcentagens das diferenças de consumo entre anos em Manaus.
- Tabela 24 Resumo das diferenças entre fatores climáticos e consumo em Manaus.
- Tabela 25 Diferenças na soma da radiação global anual entre anos em Florianópolis.
- Tabela 26 Consumo anual de energia elétrica nos protótipos, em kWh/m², e porcentagens das diferenças de consumo entre protótipos em Florianópolis.
- Tabela 27 Porcentagens das diferenças de consumo entre sítios em Florianópolis.
- Tabela 28 Porcentagem das diferenças de consumo entre anos em Florianópolis.
- Tabela 29 Porcentagem da diferença entre os consumos do TRY e os consumos dos sítios estudados.
- Tabela 30 Porcentagem média das diferenças entre os consumos do TRY e os consumos nos anos estudados.
- Tabela 31 Porcentagem média das diferenças entre os consumos do TRY e os consumos dos sítios.

- Tabela 32 Soma das médias dos ganhos térmicos por componente e as porcentagens das diferenças entre os ganhos térmicos do TRY e sítios em cada ano simulado.
- Tabela 33 Resumo das diferenças entre fatores climáticos, consumo, cargas de pico e ganhos térmicos em Florianópolis.
- Tabela 34 Resumo dos coeficientes de determinação entre os sítios e as diferenças de consumo entre sítios.
- Tabela 35 Porcentagem das diferenças médias de consumo entre o TRY e os sítios, agrupadas por ano.
- Tabela 36 Resumo dos fatores climáticos e desempenho dos protótipos nas três cidades estudadas.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AC Jobim	Antonio Carlos Jobim (Aeroporto Internacional)
ACJ	Antonio Carlos Jobim (Aeroporto Internacional)
Acob	Área cobertura
Afac	Área fachada
α_{cob}	Absortância da cobertura
α_{par}	Absortância da parede
A_{planta}	Área planta
A_{tot}	Área total
CLIMERH	Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina
EG	Eduardo Gomes (Aeroporto Internacional)
H	Radiação global diária
H0	Radiação global extraterrestre diária
HL	Hercílio Luz (Aeroporto Internacional)
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
I	Radiação global horária
I0	Radiação global extraterrestre horária
I_b	Radiação direta horária
I_d	Radiação difusa horária
ILD	<i>Internal load density</i>
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
IT	Itacorubi
IT ₀	Arquivo do Itacorubi com dados de vento em 3 horas do dia somente
IT _{HL}	Arquivo do Itacorubi com dados de vento de Hercílio Luz
k_t	Índice de nebulosidade horária do céu
LabEEE	Laboratório de Eficiência energética em Edificações
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
LS	LABSOLAR
N	Nebulosidade

p	Pressão barométrica
PF	<i>Projection factor</i>
PP	Ponta Pelada (Aeroporto)
r_t	Razão da radiação global horária pela radiação global diária
SC	<i>Shading coefficient</i>
SD	Santos Dumont (Aeroporto)
TBS	Temperatura de bulbo seco
TBU	Temperatura de bulbo úmido
T_d	Temperatura de ponto de orvalho
U_{cob}	Coefficiente global de transferência de calor da cobertura
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
U_{par}	Coefficiente global de transferência de calor da parede
UR	Umidade relativa
ω	Ângulo horário
ω_s	Ângulo do pôr do sol
WWR	<i>Window to wall ratio</i>
Z	Altitude

RESUMO

O clima da cidade é regido não somente pelo clima regional, mas também pelas alterações provocadas na estrutura urbana. A paisagem urbana, por não ser uniforme, provoca diferenças no microclima que tendem a afetar o desempenho térmico de uma edificação e, por conseguinte, o seu consumo de energia elétrica.

A simulação pode fornecer subsídios rápidos e econômicos para previsão do consumo e de condições de conforto, a partir do conhecimento dos sistemas de aquecimento e resfriamento do edifício, bem como de suas características construtivas e de uso. É então, uma ferramenta que deve ter suas alternativas de uso avaliadas para estimar com maior precisão o desempenho térmico de uma edificação e fornecer subsídios concretos sobre o procedimento mais adequado para cada caso estudado. Uma das variáveis intervenientes na simulação do consumo de energia elétrica é o arquivo climático utilizado. Este apresenta diferenças quando medido em estações climáticas distintas de uma mesma cidade de acordo com a localização da estação na paisagem urbana, o que reflete em diferenças de consumo nos edifícios simulados.

O presente trabalho visa avaliar as diferenças de consumo de edificações simuladas em sítios distintos em uma mesma cidade e em diferentes anos através do uso de arquivos climáticos horários cujos dados foram medidos em mais de um ano nas estações climáticas localizadas nestes sítios.

Foi utilizado o VisualDOE 2.61 para simular dois protótipos de edificações: um mais sensível às variações do ambiente externo – com grande área de janela na fachada, sem *brises*, alto coeficiente global de transmissão de calor das paredes e telhado – e outro menos sensível – com pequena área de janela, grande área de alvenaria, com *brises* horizontais e baixo coeficiente global de transmissão de calor, dentre outras características a densidade de carga interna. Três cidades que continham duas ou mais estações climáticas com dados disponíveis foram selecionadas: Rio de Janeiro, Manaus e Florianópolis. De um total de 92 arquivos climáticos, foram selecionados 20 arquivos climáticos cujo critério foi a disponibilidade de dados climáticos registrados nas 8760 horas do ano. Dados climáticos ausentes foram interpolados para completar as horas necessárias para simular o consumo em um ano completo. Fatores climáticos como nebulosidade foram adotados para duas estações da mesma cidade quando estes não estavam registrados no arquivo climático. A radiação solar em Florianópolis foi estimada através de dados de nebulosidade na estação que não mediu a radiação

solar. No Rio de Janeiro e em Manaus, cidades cujas estações não mediram a radiação solar, coeficientes mensais da equação usada para Florianópolis foram ajustados para estimar a radiação global através da nebulosidade horária tendo dados do Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE E PEREIRA, 1998).

O resultado dos consumos indicou diferenças entre sítios que variam em função do tipo de dado climático. Em sítios onde houve diferenças de radiação solar entre os arquivos climáticos provenientes de diferentes estações, a diferença de consumo dos protótipos entre sítios foi alta, chegando a 18 %. Em sítios onde não houve diferenças de radiação solar entre os arquivos climáticos, as diferenças de consumo entre sítios dependeram da diferença dos graus hora entre os arquivos climáticos: quando esta foi da ordem de 50 %, a diferença no consumo foi significativa, chegando a 8 %, quando a diferença dos graus hora foi menor que 10 %, não houve diferenças significativas no consumo entre sítios. Os consumos dos protótipos menos sensíveis às variações do ambiente externo apresentaram diferenças entre sítios somente relacionadas aos graus hora. Já a comparação do consumo de um arquivo TRY com os demais sítios e anos simulados apresentou diferenças significativas entre sítios de até 10 %, não apresentando variação entre os anos.

ABSTRACT

The city climate is ruled by the surrounding regional climate and it is modified by the urban structure. The urban landscape of a city modifies the microclimate surrounding a building and affects its thermal performance and its energy consumption.

A building simulation can forecast the thermal comfort within a building and its related energy consumption by the characterization of heating and cooling systems, envelope and schedules of occupation. If the input data are evaluated, the thermal performance of a building can be more accurately estimated and information can be provided so the best procedure can be applied for each study case. One of the variables that affects an energy consumption simulation is the climatic file. It presents differences when it is measured by different climatic stations of the same city according to the climatic station location on the urban landscape. The choice of a climatic station in a city can reflect on consumption differences in the simulated buildings.

The present work intends to evaluate the consumption differences of a building simulated for different sites of a city and different climatic years, using climatic files measured on climatic stations located at these sites.

The VisualDOE 2.61 program was used to simulate the energy consumption of two prototype buildings: one more sensitive to external changes – with large windows on its facades, without solar protection, high thermal transmittance on walls and roof – and the other less sensitive to external changes – with small windows on its facades, horizontal solar protection, low thermal transmittance on walls and roof.

Three cities that have at least two climatic stations were selected: Rio de Janeiro, Manaus and Florianópolis. Among 92 climatic files, 20 were selected to be compiled to DOE 2.1-E format. The criteria to select the years for the simulation was the availability of climatic data on 8760 hours of the year in order to minimize the data adjustments and filling of blank cells. Missing climatic data were interpolated to complete the 8760 hours needed to simulate the energy consumption on one year. Climatic factors such as cloud cover were adopted for two stations of the same city when they were not registered on one of the climatic stations. Solar radiation in Florianópolis was estimated through cloud cover data on the climatic station that did not measure solar radiation. Monthly coefficients of an equation developed for Florianópolis were adjusted to estimate total radiation

using hourly cloud cover data in Rio de Janeiro and Manaus, cities in which the climatic stations did not measure solar radiation.

The results indicate consumption differences between sites that vary according to the climatic data differences between these sites. The prototypes consumption difference between sites was high, about 18 %, in sites that presented solar radiation differences between climatic data files. The prototypes consumption difference between sites depended upon the difference in the degree hours in sites where solar radiation data was equal in the climatic files: when degree hours difference between sites was about 50 %, the consumption differences reached 8 %, when degree hours difference between sites was about 10 %, no consumption difference between sites were found. The consumption of the prototypes less sensitive to external changes presented differences between sites related solely to the degree hours. The consumption comparison between a TRY file and the other simulated sites and years presented differences between sites of 10 % while it did not present differences between years.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Crises de energia e necessidade de redução no consumo de energia elétrica são realidades mundiais, afetando desde os EUA (CEC, 1999), líder econômico mundial e grande consumidor de energia, até o Brasil, onde uma crise energética em 2001 exigiu do país um plano de racionamento de energia em quatro de suas regiões (GCE, 2001).

Em 1999, 14 % da energia elétrica gerada no Brasil era consumida pelo setor comercial (GCE, 2001). O sistema de ar condicionado, comumente presente em edifícios comerciais, corresponde, no Brasil, a cerca de 20 % da energia elétrica total consumida em um edifício (GELLER, 1990). O incentivo a edificações energeticamente eficientes torna-se então uma forma de reduzir a demanda de energia elétrica nestes edifícios comerciais atendendo às metas de conservação de energia elétrica do Ministério das Minas e Energia (GCCE, 1986).

Dentre as técnicas para a redução da demanda de energia consumida pelo sistema de ar condicionado, SANTAMOURIS (1999) recomenda “adequar o microclima inserido no ambiente urbano através do uso de materiais mais apropriados, do aumento das áreas verdes e da ocupação apropriada à paisagem natural e a adaptar as edificações às condições específicas do clima da cidade a fim de incorporar medidas para redução do consumo de energia e de ganhos solares, compensando as alterações radicais nas características térmicas, aerodinâmicas, de irradiação e de umidade do ambiente urbano”. Estas alterações a que se refere SANTAMOURIS (1999) são devido à parcela extra de calor que a cidade descarrega sobre o edifício, proveniente da dinâmica urbana que aumenta a carga térmica do ambiente externo exigindo ainda mais do sistema de ar condicionado dos edifícios. Em ambientes muito urbanizados, é comum o efeito da ilha de calor, que acarreta maior consumo de energia elétrica das edificações localizadas nestas áreas por necessitar de um sistema de ar condicionado que compense, internamente, os efeitos provocados pela ilha de calor no ambiente externo. AKBARI et al (1993) mostraram que existe um aumento de 2,6 % a 3,6 % da carga elétrica máxima para cada aumento de 1° C na temperatura externa ao edifício em aglomerados urbanos cuja população seja maior que 100 mil habitantes. Embora um aumento em 1 % na carga do edifício pareça pouco, este aumento, quando analisado na escala urbana, pode representar um significativo aumento no consumo de energia e na capacidade instalada do sistema elétrico de uma grande cidade ou metrópole.

1.2. FERRAMENTAS

Uma técnica eficiente disponível para engenheiros e arquitetos para estimar o consumo de energia de uma edificação é a simulação termo-energética. As ferramentas, ou programas utilizados, que estimam cargas de aquecimento e resfriamento, temperaturas internas, cargas elétricas de iluminação e equipamentos, trabalham com interações complexas entre o ambiente externo, as características do edifício e seus padrões de uso e ocupação.

Ferramentas como o Energy Plus, COMIS (*Conjunction of Multizone Infiltration Specialist*), DOE 2 e TRNSYS (*Transient Systems Simulation*) são utilizados no mundo, tendo cada uma suas potencialidades e limitações. O Energy Plus é o mais recente programa, ainda em desenvolvimento, que pretende reunir as potencialidades de programas como o DOE 2 e COMIS, além de incluir outras estimativas como o fluxo de ar interzonas. O COMIS é um programa que modela o fluxo de ar nas zonas e qualidade do ar de ambientes internos. O DOE 2 estima o consumo de energia de uma edificação fornecendo relatórios horários sobre o seu desempenho e de seus sistemas e o TRNSYS é um programa que conecta os diferentes sistemas termo-energéticos envolvidos na simulação, como coletores solares ou sistemas de HVAC. (CRAWLEY et al, 2001 e HONG et al, 2000)

Geralmente, estes programas são utilizados para dimensionar os sistemas de HVAC e sistemas centrais de transformação de energia, avaliar novos sistemas antes de serem implementados e fornecer subsídios para análise das demandas de energia das edificações e dos custos dos sistemas envolvidos no desempenho termo-energético do edifício, dentre outros vários objetivos. Eles simulam o desempenho térmico de edifícios e do sistema de ar condicionado de acordo com os dados de entrada inseridos no modelo, com os ganhos internos de calor e com as condições do ambiente externo.

1.3. O PROGRAMA DOE 2.1-E

Para se entender o procedimento adotado, faz-se uma breve apresentação do programa utilizado. O VisualDOE 2.61 é uma interface gráfica comercial do DOE 2.1-E, programa de domínio público desenvolvido pelo LBL – Lawrence Berkeley Laboratory. O DOE 2.1-E realiza simulações horárias do consumo de energia elétrica de edifícios e de seus custos, fornecendo uma descrição do clima do entorno, da arquitetura, materiais, padrões de uso de ocupação e equipamento de HVAC (HONG et al, 2000). Trabalha com partição interna formada por zonas, condicionadas por um sistema de HVAC comum ou independente a todas as zonas, onde calcula

os ganhos térmicos e cargas de resfriamento assumindo uma temperatura do ar constante antes de calcular as taxas de extração de calor do sistema e utilizando a temperatura da zona da hora anterior para estimar o fluxo de calor pelas paredes que separam as zonas (HONG et al, 2000)

O DOE 2.1-E é composto por cinco módulos de cálculo: *BDL*, *loads*, *systems*, *plant* e *economics*. O primeiro, *BDL* – *Building Description Language*, traduz para o código do computador as informações do modelo construído, incluindo os valores *default* e as características definidas pelo usuário. Os demais módulos são subprogramas que utilizam os dados de saída do subprograma anterior para realizar seus cálculos. O *loads* calcula as “cargas térmicas (...) impostas pelo clima, pela ocupação interna, pela iluminação e pelos equipamentos” (www.labee.ufsc.br/apresentacao.html). O *systems* é composto pelo sistema secundário de climatização artificial, como ventiladores, dutos, controles de temperatura e umidade, e estima o consumo de energia do sistema secundário. Já o *plant* é composto pelo sistema primário de climatização artificial, como resfriadores de líquido, caldeiras e bombas hidráulicas, calculando o consumo de energia por uso final. Por fim, o *economics* calcula os custos da energia consumida pelo edifício. Neste trabalho, as informações são extraídas, em sua maioria, das estimativas do *loads* e do *systems*, além do consumo final calculado pelo *plant*.

PEDRINI (1997) elaborou um fluxograma que descreve a estrutura de funcionamento dos cinco módulos em que mostra que os dados dos arquivos climáticos são utilizados pelos módulos do *loads*, *systems* e *plant* (figura 01). Para se efetuar a simulação, são necessários então a compilação dos arquivos climáticos, que em geral não são fornecidos no formato ajustado para DOE 2.1-E, mas no formato padrão da *World Meteorological Organization*, WMO, ou em um formato específico da estação climática. Estes devem conter dados horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, direção do vento, velocidade do vento, pressão, nebulosidade ou radiação solar global e direta, temperatura do solo, densidade do ar, entalpia, dentre outros. A partir destes fatores e das demais variáveis de entrada do programa, é calculado o consumo de energia da edificação nos subprogramas do *systems* e *plant*.

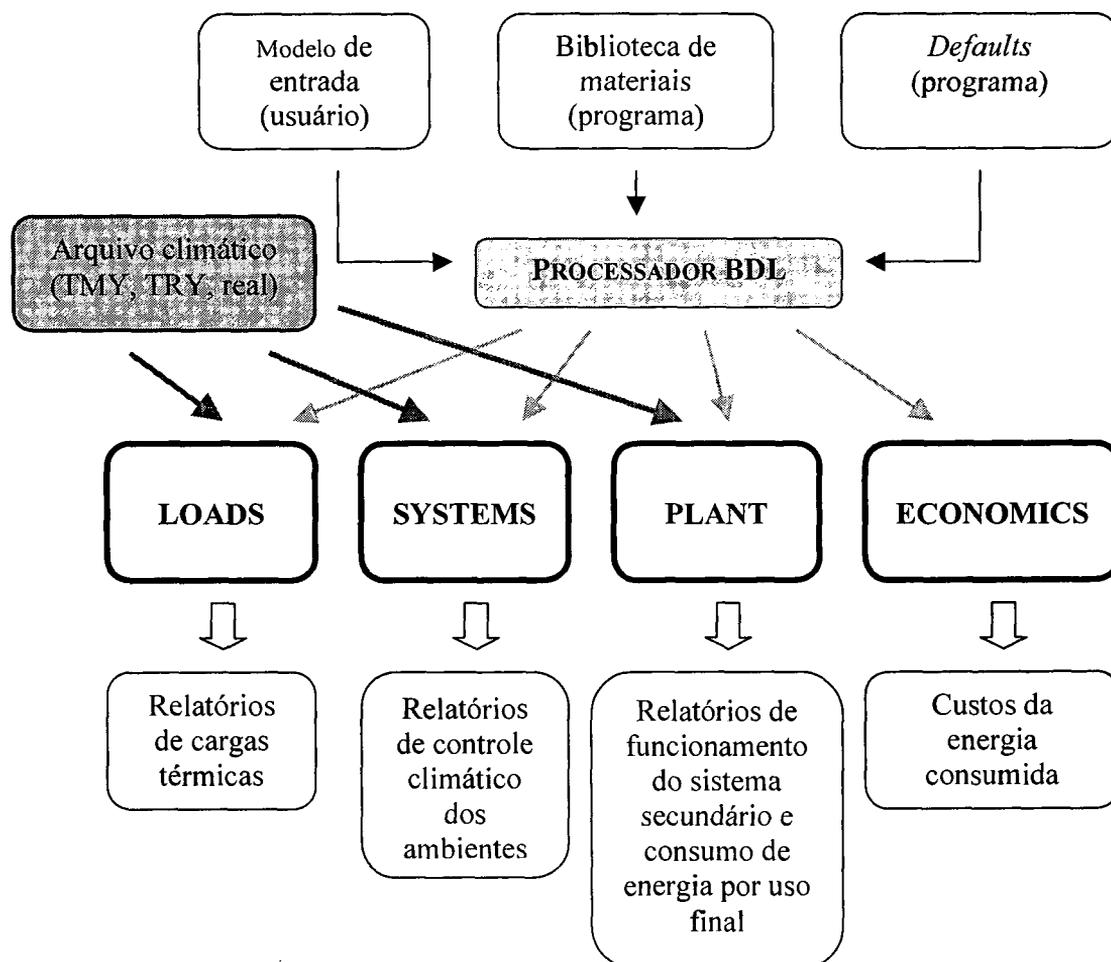


FIGURA 01 – Estrutura de funcionamento dos cinco módulos do DOE 2.1-E elaborada por PEDRINI (1997).

1.4. ARQUIVOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS EM SIMULAÇÕES

Para quantificar o consumo de energia elétrica em um edifício, simulações termo-energéticas são utilizadas em razão de sua eficiência em fornecer um rápido resultado proveniente de um cálculo complexo que não depende somente do desempenho individual de cada componente, mas também do desempenho de um sistema integrado de interações complexas e dinâmicas com o ambiente e seus sistemas (HONG et al, 2000).

Incluem-se, dentre as variáveis intervenientes no consumo de uma edificação, as variáveis arquitetônicas – forma, materiais, orientação - a infiltração, as condicionantes climáticas, o sistema de HVAC e a geração interna de calor. Entender a relevância de cada variável na

simulação do consumo de energia dos edifícios é necessário para melhor manipular os dados de entrada ou para ter conhecimento das limitações e potencialidades dos resultados obtidos.

Uma destas variáveis são os arquivos climáticos – que na simulação representam o ambiente externo dentro do qual a edificação está inserida –, cujos dados registram condições como as de temperatura, umidade ou ventilação medidas nas estações climáticas. Estas estações, quando localizadas na zona rural, registram as condições climáticas independentes da influência da dinâmica urbana. Quando inseridas no meio urbano, no entanto, as estações registram, além das condições climáticas regionais, as mudanças provocadas pelas trocas de calor entre a cidade e o ambiente, mudanças estas que variam de acordo com as condições geomorfológicas – topografia, hidrologia –, de ocupação – densidade de edifícios, tipo de materiais, impermeabilização do solo –, de uso da cidade – ações antropogênicas – e da cobertura vegetal.

Se na simulação os arquivos climáticos representam o meio imediato ao qual o edifício simulado está exposto, na realidade os dados dos arquivos climáticos representam o meio ao qual a estação climática está exposta. A estação raramente está próxima ao sítio onde se localiza, em projeto ou fisicamente, o edifício simulado. Esta diferença entre os dados registrados nos arquivos climáticos e os dados do sítio onde se localiza o edifício reflete-se em uma diferença de consumo de energia elétrica entre o modelo simulado e o real. Esta diferença é maior quanto mais distintas forem as características do entorno da estação climática e do entorno do edifício. Se a estação climática é localizada fora da zona urbana, o que é comum pois estas são comumente instaladas em aeroportos, a diferença no desempenho da edificação simulada pode ser ainda maior.

Uma forma de minimizar estas diferenças é adotar arquivos climáticos medidos em estações cuja localização seja a mais próxima possível à localização do edifício simulado ou cujas características do entorno sejam as mais semelhantes possíveis ao entorno do edifício simulado. Entretanto, MENDES et al (2001) constataram que dados climáticos completos e de qualidade no território brasileiro são uma das principais dificuldades encontradas por pesquisadores para a realização das simulações. Além disso, não é viável a instalação de estações climáticas em diversos locais de uma mesma cidade, o que dificulta a obtenção de arquivos climáticos medidos em estações fisicamente próximas à localização do edifício simulado. Deve-se então conhecer as diferenças de consumo de energia provocadas pelo uso de arquivos climáticos medidos em diferentes estações para, pelo menos, poder quantificá-las quando não avaliar qual o arquivo climático mais adequado a cada caso simulado.

Além de avaliar as diferenças no desempenho térmico de edificações causadas pelo uso de arquivos climáticos medidos em diferentes estações, é também interessante avaliar as diferenças nos resultados das simulações com o uso de arquivos climáticos de diferentes anos. Assim, será possível conhecer até que ponto é recomendável, ou não, utilizar um arquivo TRY em um modelo preditivo ou um ano real em uma calibração.

1.5. OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho visa avaliar as diferenças de consumo de energia em edificações simuladas em arquivos climáticos medidos em diferentes sítios e em diferentes anos.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Nos capítulos a seguir, é descrito o trabalho desenvolvido para análise dos arquivos climáticos e dos resultados das simulações em três capitais brasileiras, em face da qualidade dos arquivos climáticos e da localização de suas estações.

No capítulo dois é descrito o estado da arte de dois subtemas cuja revisão embasa esta pesquisa: climatologia urbana e simulação de edificações. O primeiro subtema trata dos fatores climáticos e da cidade que intervêm nas trocas de calor do meio urbano e por conseguinte, no consumo de uma edificação. O segundo subtema, simulação de edificações, comenta algumas questões acerca da simulação termo-energética merecedoras de destaque neste trabalho, como arquivos climáticos e modelos de edificações.

O capítulo três apresenta a localização das cidades escolhidas para as simulações, Rio de Janeiro, Manaus e Florianópolis, bem como uma breve descrição dos sítios onde se localizam as estações climáticas.

O capítulo quatro descreve a metodologia adotada, como a análise e seleção dos arquivos climáticos utilizados, o tratamento de seus dados de acordo com cada fator climático, estimativas de radiação solar e as características dos protótipos simulados.

Os resultados e a discussão são apresentados no capítulo cinco. Neste, são descritas as características dos fatores climáticos mais relevantes em cada ano e sítio, como a temperatura, os graus dia e graus hora, a radiação solar, a velocidade do vento e a umidade relativa. Estas são então analisadas em função dos resultados do consumo e das diferenças de consumo entre os sítios e os anos simulados. São também descritas as condições de ganhos de calor pelo ambiente interno provenientes do exterior. A discussão final compara algumas questões acerca dos fatores

climáticos e do consumo dos protótipos entre as três cidades estudadas: Rio de Janeiro, Manaus e Florianópolis.

Finalmente, a conclusão é apresentada no capítulo seis, bem como citadas algumas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas são listadas ao final do trabalho.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CLIMATOLOGIA URBANA

2.1.1. FUNDAMENTOS

Os estudos de climatologia urbana são uma importante contribuição para a análise energética no edifício, por se tratar, segundo TAESLER (1986), do “estudo e previsão das condições atmosféricas em assentamentos humanos”. Ele identificou dois enfoques do estudo da climatologia urbana: os impactos da cidade na atmosfera e os impactos do clima no funcionamento, economia e segurança do ambiente construído (TAESLER, 1986). Ambos os enfoques relacionam-se aos estudos de eficiência energética.

A cidade está inicialmente submetida a um clima regional que implica em respostas em sua forma para se adequar às condições climáticas. As características da forma urbana que melhor respondem ao tipo de clima regional foram sintetizadas por GOLANY (1996):

- Quente e úmido – estrutura urbana dispersa, com aberturas para captar a ventilação
- Frio e úmido – mistura de aberturas e formas fechadas controladas
- Quente e seco – forma compacta
- Frio e seco – forma compacta, agregada e agrupada
- Litorâneas – forma moderadamente dispersa (em regiões úmidas) ou compacta e protegida do lado continental (em regiões desérticas)
- Clima de vale – forma semi-compacta: mistura de compacta e agrupada

Esta classificação é resultado de observações realizadas através das diversas escalas de análise do clima, do regional ao urbano. As escalas de análise climática horizontais foram propostas por diversos autores, dentre eles MONTEIRO (1976), que definiu escalas cartográficas, espaços climáticos e espaços urbanos para auxiliar na determinação da estratégia de abordagem mais adequada ao tema de estudo e OKE (1981), que propôs duas escalas de abordagem do clima urbano: UBL (*urban boundary layer*) e UCL (*urban canopy layer*) – camada limite urbana, que engloba a área acima das coberturas das edificações da cidade, fenômeno local cujas características são governadas pela natureza da superfície urbana generalizadamente, e camada

ao nível das coberturas urbanas, produzida pelos processos que ocorrem nas ruas por entre os edifícios.

MONTEIRO (1976) classificou as escalas de análise do clima definindo o microclima, topoclina e mesoclima, estabelecendo suas escalas, assim como as escalas do clima local, sub-regional, clima regional e clima zonal, relacionando todas estas escalas de análise do clima aos espaços urbanos:

- Clima Zonal: 10^7 m
- Clima Regional: 10^6 m
- Clima Sub-regional: 10^5 m – megalópole ou grande área metropolitana
- Clima Local: 10^4 m – área metropolitana ou metrópole
- Mesoclima: 10^2 m – cidade grande ou subúrbio de metrópole
- Topoclina: 10^1 m – pequena cidade, fâcies de bairro ou subúrbio
- Microclima: 10^0 m – grande edificação ou habitação

A escala que envolve 10 m a 100 m, o topoclina, pode ser considerada como a escala que aborda relação do edifício com seu ambiente externo, ambos sob o efeito do clima, das variações do tempo, da heterogeneidade geomorfológica e da estrutura urbana – ocupação, morfologia e traçado. No mesoclima percebe-se os efeitos da cidade sobre o edifício, assim como no microclima, percebe-se os efeitos da edificação sobre seu entorno imediato. SEZERINO e MONTEIRO (1990) definiram, para percurso em transectos no centro de Florianópolis, que o mesoclima se limitaria a cerca de 20 km em razão das características da área central. Neste trabalho, o topoclina que, por definição, envolve bairros ou pequenas cidades, mostra-se inadequado para englobar bairros, assim como o mesoclima mostra-se demasiadamente extenso visto que sua abrangência em Florianópolis foi previamente definida por SEZERINO e MONTEIRO (1990) em 20 km. Para adequar-se às necessidades deste estudo então, a área envolvida pelo topoclina, quando o termo for citado, será estendida para 2 km, de forma a evitar o termo mesoclima definido anteriormente para Florianópolis. O topoclina torna-se então a escala que, neste trabalho, estará relacionada ao sítio urbano cujo ponto central são as estações climáticas, porém com abrangência ampliada.

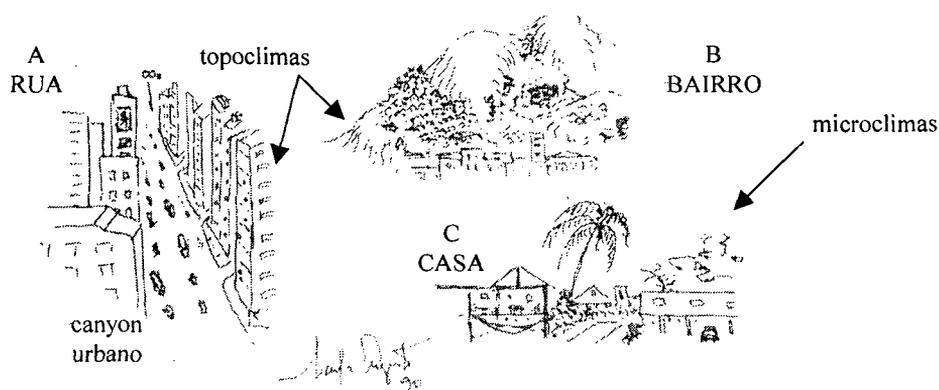


FIGURA 02 – Diversificação escalar intra-urbana de MONTEIRO (1990).

O clima nas cidades vem sendo estudado desde o século passado somente, sendo que estudos mais significativos visando o conforto urbano surgiram após a segunda metade do século XX (LANDSBERG, 1970b). Os estudos em clima urbano evoluíram a fim de atender às necessidades de planejamento da cidade e do edifício visando o conforto e, mais recentemente, o uso eficiente da energia. TAESLER (1986) sintetizou cinco níveis de aplicação da climatologia ao planejamento e projeto, dentre eles planejamento do uso e ocupação no meio urbano e projeto e gerenciamento de edifícios. Todos estes níveis de aplicação da climatologia participam, seja ativa – provocando - ou passivamente – expondo-se, das conseqüências climáticas advindas da ocupação urbana. Segundo OKE et al (1999), as cidades criam seus próprios climas em função dos impactos causados pelo desenvolvimento urbano nos balanços de calor, massa e momento das superfícies. A capacidade térmica destas é maior do que a da área rural que as circunda, sendo que a condutividade térmica dos materiais que compõem a cidade, principalmente dos edifícios, é maior que a do solo (LUDWIG, 1970). O estudo da climatologia urbana baseou-se no fato de o clima das cidades ter sido modificado pelo homem e para isolar os efeitos da urbanização é necessário comparar os dados climatológicos das áreas rurais aos das áreas urbanas (JAUREGUI 1986).

Estações climáticas são então geralmente localizadas em áreas afastadas da cidade de forma a não estar expostas aos efeitos da urbanização no clima local. Tais efeitos são claros, como visto na figura 03, onde se vê a diferença na curva de temperatura em uma estação em Helsinki, Finlândia, e a curva ajustada ao meio rural. HEINO (1999) ajustou a temperatura desta estação quando esta foi transferida para um aeroporto afastado da cidade em razão da cidade de Helsinki ter se desenvolvido a ponto de englobar a estação climática. Esta foi transferida para o meio rural por três vezes.

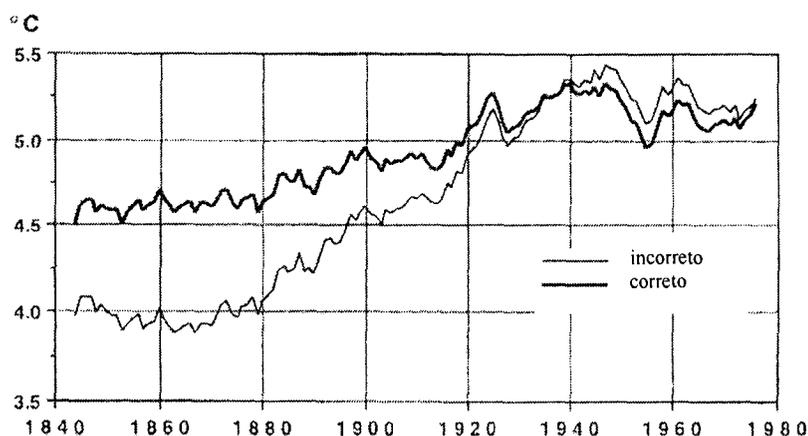


FIGURA 03 - Médias de temperatura anual de 30 em 30 anos em Helsinque de 1829-1995. Linha fina: médias publicadas originariamente, incorretas devido à mudança de localização da estação climática. Linha espessa: médias corrigidas. Fonte: HEINO (1999).

Com base neste conceito, estudos envolvendo o clima urbano baseiam-se na comparação com dados do campo, como no projeto POLIS, em que 20 estações para medição de temperatura e umidade foram instaladas em Atenas e, para comparar os dados, foram usadas duas estações de referência localizadas na zona sub-urbana da cidade (SANTAMOURIS, 1997). Também TUMANOV et al (1999) mediram temperaturas na área urbana de 1991 a 1999 e, analisando imagens de satélite, compararam-nas às temperaturas da área rural, encontrando taxas de resfriamento mais altas no campo, o que explicou o fenômeno de ilha de calor encontrado em Bucareste. Mais intensa é a ilha de calor da Cidade do México, onde OKE et al (1999) encontraram ilhas de calor de até 10°C na sua camada limite urbana.

Quando OKE (1981) introduziu o conceito de ilha de calor, elevação noturna das temperaturas da cidade em relação ao seu entorno rural, estudos em todo o mundo passaram a utilizar o termo. Entretanto, este conceito passou a ser adotado para denominar fenômenos diurnos de sobreaquecimento da cidade, enquanto a ilha de calor convencional de OKE (1981) não incluiu o estudo da radiação solar. Assim, surgiram modelos de ilha de calor que estudam o efeito noturno do sobreaquecimento, como ELIASSON (1996), enquanto outros autores não fizeram distinção entre a ilha de calor noturna do sobreaquecimento diurno do ambiente urbano, como LOMBARDO (1985), que definiu ilha de calor como “fenômeno que associa os condicionantes

derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geocológicos”. GIVONI (1998) justificou que, embora o conceito de ilha de calor original seja noturno, os estudos dos efeitos diurnos de sobreaquecimento da cidade são também de grande importância para o conforto e consumo de energia, razão pela qual é usado o termo para o dia. Já intensidade da ilha de calor, segundo o autor, consiste em um fenômeno especialmente noturno, por se tratar da diferença máxima das temperaturas urbana-rural (GIVONI, 1998).

Segundo TAESLER (1986), diferenças urbano-rural e intra-urbanas em um clima são mais desenvolvidas em determinadas situações sinópticas. Dependendo do tipo de situação, diferentes efeitos urbanos tornam-se mais proeminentes que outros, como no caso da ilha de calor, que apresenta a máxima intensidade durante noites claras com alto resfriamento radiativo, enquanto durante o dia ela é menos intensa. Efeitos urbanos na velocidade do vento, por outro lado, são geralmente proeminentes em situações de vento forte, enquanto taxas de poluição do ar, em baixas altitudes, estão associadas a ventos fracos. Além destes, outros fatores provenientes da urbanização que podem determinar a formação de uma ilha de calor foram citados por LANDSBERG (1970b), como os efeitos antropogênicos – calor por processos de combustão e metabolismo do seres vivos –, redução da velocidade dos ventos e a mudança no balanço radiante. Estes são comentados no item a seguir.

2.1.2. A CIDADE, AS TROCAS DE ENERGIA E O TOPOCLIMA

Três enfoques podem ser considerados nas trocas de energia da cidade: os elementos da cidade que contribuem para as mudanças no topoclima, os fenômenos físicos de trocas termodinâmicas e os fatores microclimáticos que provocam a sensação de desconforto térmico.

Dos elementos da cidade que influem no topoclima, destacamos as superfícies urbanas, geometria, morfologia, vegetação e o homem, este último responsável pelos efeitos antropogênicos.

2.1.2.1. SUPERFÍCIES

As superfícies urbanas são compostas de materiais e cores que podem alterar os efeitos da radiação solar no ar, através da absorção destas e re-emissão da energia sob forma de ondas longas, ou radiação infravermelha. FEZER (1982) encontrou diferenças de 4 a 5° C entre o centro de uma cidade e sua área rural que, apesar de possuir apenas 6000 habitantes, possui uma

considerável massa de asfalto, concreto e outros materiais de grande capacidade térmica. A troca do asfalto por um piso de concreto pode reduzir a temperatura superficial em 4° C (FEZER, 1982), o que reduz a radiação emitida por esta superfície. Ele também comparou a massa das edificações, altura dos edifícios e áreas verdes urbanas e percebeu que quanto maior a massa de um bloco, mais lento é o resfriamento do ar numa noite. AKBARI (1990) mostrou o impacto apresentado por superfícies brancas e a presença de árvores no consumo de energia de uma cidade, encontrando economias médias no consumo anual de energia elétrica de 21,9% e 18,6 %.

2.1.2.2. GEOMETRIA E MORFOLOGIA URBANAS

Correlacionando temperaturas máximas e população em cidades européias e da América do Norte (OKE 1981), ilhas de calor mais intensas foram encontradas nas cidades americanas, para uma mesma população. Estudos semelhantes realizados em cidades tropicais da América do Sul e Índia (JAUREGUI, 1986), mostraram que estas possuíam maiores temperaturas para uma mesma população quando comparadas às cidades européias. Assim, a diferença encontrada nas cidades européias, americanas e indianas foi devido às suas diferenças estruturais, como afirmou JAUREGUI (1986), mostrando então que a intensidade do clima urbano relaciona-se mais à densidade dos edifícios, geometria urbana e propriedades térmicas dos materiais do que propriamente ao tamanho da cidade ou de sua população.

Uma das diferenças estruturais que intervêm na formação ilha de calor são os chamados *canyons* urbanos. A redução do fator de projeção solar nos *canyons* das ruas aumenta a possibilidade de interceptação pelas superfícies das edificações de uma grande porção de radiação de ondas longas emitidas pelas próprias superfícies das paredes e piso. A radiação de ondas longas interceptada através de múltipla reflexão da radiação e calor antropogênico emitido pelas atividades humanas pode causar um complicado processo de ventilação e aquecimento do ar (CA et al, 1999).

PAPADOPOULOS (2001) investigou a influência dos *canyons* urbanos para o aumento direto da temperatura nas cargas do ar condicionado, identificando uma variação de 5,5° C dentro do *canyon* e distribuições verticais de temperatura ao longo deste. ELIASSON (1996) também investigou *canyons* urbanos e encontrou diferenças de até 3,5° C entre temperaturas superficiais noturnas de *canyons* de diferentes geometrias (altura/largura). Estas diferenças de temperaturas são exemplos de como a morfologia urbana, forma e orientações das ruas atuam no aumento ou redução da temperatura e movimento do ar, assim como na velocidade dos ventos, como

afirmado por GOLANY (1996). Para cada clima, ele completa, há uma forma urbana adequada aos condicionantes climáticos que podem gerar um topoclima mais confortável à vida animal, humana principalmente. A figura 04 mostra a forma urbana adaptada ao clima segundo sua latitude no globo terrestre.

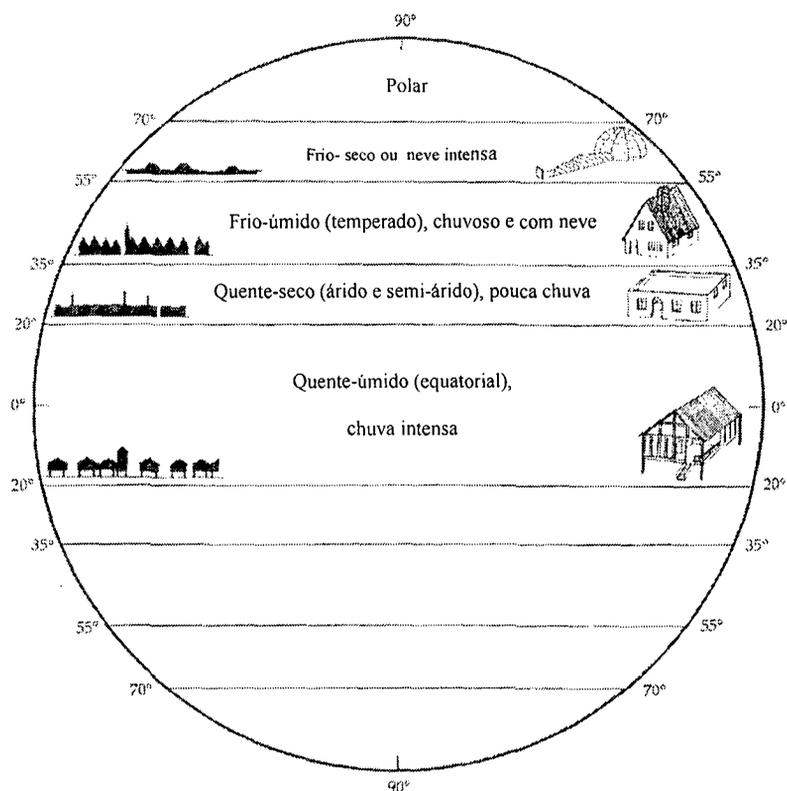


FIGURA 04 - Adaptação das edificações e da forma urbana típicas ao tipo de clima segundo a latitude. Fonte: GOLANY (1996)

2.1.2.3. VEGETAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Outro elemento da cidade interveniente no topoclima é a vegetação urbana que não resfria o ar propriamente, mas sim, o aquece menos, segundo KURN et al (1994), contribuindo para a formação de microclimas no ambiente urbano ao absorver 90% da radiação visível e 60% da infravermelha (PEIXOTO et al, 1995) e ao transformar parte do calor sensível em calor latente através da evapotranspiração.

ROSENFELD et al (1996) realizaram um estudo sobre o aquecimento do ar na cidade de Los Angeles, cidade de ocupação predominantemente horizontal, porém de grandes dimensões. De 1880 a 1930, a cidade era resfriada em razão da irrigação da vegetação de cobertura do solo e de

árvores. Após 1960, esta cobertura foi sendo continuamente substituída por edificações com telhados escuros, de baixo albedo, e pavimentação asfáltica para suprir as necessidades do transporte viário. Esta ação elevou a temperatura do centro de Los Angeles em 1° C a cada quinze anos, o que, até o ano 2000, elevou a temperatura do ar a aproximadamente 3° C, aumentando assim a demanda de energia necessária a suprir os sistemas de resfriamento do ar.

CA et al (1998) identificaram reduções no consumo do ar condicionado causadas pela proximidade de um parque urbano. As temperaturas variavam entre 2,5° C de um estacionamento da cidade, a localidade mais quente medida no horário das 9 horas, em relação à área mais fria medida no parque de Tama New Town, no Japão. SAILOR (1998) simulou o aumento da vegetação em uma cidade hipotética e encontrou reduções de graus dia para resfriamento de 2 a 5%, com economias de energia de cerca de 5% para um aumento da fração da área de vegetação de apenas 0.065.

Em Florianópolis, PAMPLONA (1999) mapeou as áreas verdes urbanas e áreas ocupadas do centro-leste da ilha de Santa Catarina, como mostra a figura 05: o centro da cidade cerca uma barreira natural, Morro da Cruz, que concentra uma significativa área verde. Conforme há um deslocamento em direção ao leste, a área verde ocupada cresce gradativamente em relação à área urbanizada.

O fenômeno físico relacionado à presença da vegetação, a evapotranspiração, pode ser definido como evaporação do solo úmido para o ar e transpiração da planta, ou seja, evaporação da água que passou através do sistema vascular da planta. Não havendo como distinguir a contribuição destes dois processos simultâneos no ar, estes são chamados de evapotranspiração (ROSENBERG, 1983). Ao simular os efeitos do aumento da vegetação nas cidades, SAILOR (1998) percebeu que aumentando a umidade do solo em 15%, a redução nos graus-dia seria de 19%, embora considerando todos os parâmetros que envolvem o balanço energético, a redução dos graus dia tenha mantido-se em uma taxa de 1,5%.

2.1.2.4. CALOR ANTROPOGÊNICO

Efeitos antropogênicos não devem ser creditados à densidade populacional, mas ao padrão de uso dos usuários da cidade. Como afirmado por GIVONI (1998), a temperatura do ar deve-se mais à estrutura da cidade do que à sua população. A densidade populacional nem sempre pode descrever a ilha de calor se esta geralmente ocorre em áreas verticalizadas, comuns em áreas comerciais, onde a produção de calor antropogênico não é somente produzida pela população

habitante, mas pela população usuária do local. Se o conceito de densidade estiver relacionado ao da população residente, esta não é representativa para o estudo da ilha de calor, mas sim o padrão de uso da área, ou seja, a rotina de uso de edificações e veículos e máquinas geradoras de calor.

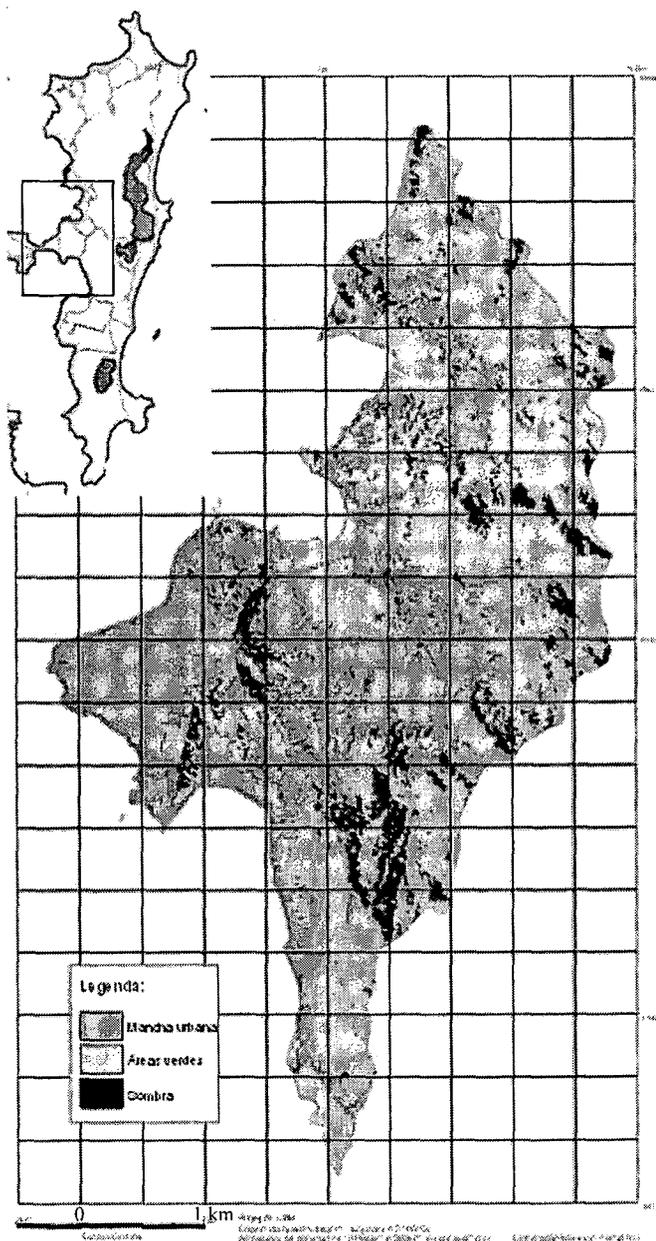


FIGURA 05 - Mancha urbana e áreas verdes na área de estudo de PAMPLONA (1999), na porção insular de Florianópolis, Santa Catarina. Fonte: PAMPLONA (1999).

Estudando os padrões de uso de veículos e edifícios, TAHA (1997a) estimou o calor produzido por atividades antropogênicas e encontrou intensidades de calor antropogênico da ordem de 20 W/m^2 a 40 W/m^2 no verão de centros de cidades americanas. Verificou ainda que, em uma cidade grande, o calor antropogênico pode aumentar a temperatura de 2° C a 3° C seja durante o dia ou à noite.

Já WILLIAMSON (2001) encontrou um fluxo de calor produzido por efeitos antropogênicos da ordem de 60 W/m^2 no verão de Sydney. Ele percebeu que diferenças na ordem de grandeza do calor gerado por atividades antropogênicas podem ser grandes devido à forma como o calor antropogênico é dissipado: sistemas de ar condicionado central podem eliminar o calor pelo telhado, ou seja, para fora da camada de cobertura urbana, enquanto sistemas de ar condicionado de janela emitem o calor produzido pelo resfriamento do edifício diretamente para o nível da rua, onde transitam os usuários da cidade.

2.1.2.5. ALBEDO, RADIAÇÃO SOLAR E RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Além da evapotranspiração e do calor antropogênico, outro fator interveniente no topoclima é o albedo. A AHSRAE (2001) define albedo como razão da radiação solar refletida de uma superfície e da radiação solar incidente enquanto AKBARI (1990) define albedo como o fator que descreve a radiação refletida de uma superfície. GIVONI (1998) afirmou ser o albedo a resposta de uma superfície à radiação sobre todo o espectro solar, incluindo a radiação infravermelha. Em todos os casos, não está citado que o termo refere-se exclusivamente à refletividade do solo. Entretanto, PAMPLONA (1999) e PIETROBON (1999) utilizaram o termo referindo-se exclusivamente à refletividade do solo, enquanto AKBARI (1990) utilizou o termo para referir-se à refletividade dos telhados na escala micro ou topoclimática. Pode-se então entender albedo como refletividade das superfícies horizontais, podendo ser do solo ou de telhados ou de ambos de acordo com a posição do observador.

O uso de materiais de alto albedo reduz a quantidade de radiação solar absorvida pela superfície mantendo-a mais fria (SANTAMOURIS, 1997). Através de imagens de satélite, PAMPLONA (1999) mapeou o albedo na área central de Florianópolis, parte insular, classificando-o como alto, médio e baixo, conforme a figura 06. PADMANAHADMURTY (1994) também mediu o albedo na cidade tropical de Delhi, Índia, encontrando baixos albedos em áreas comerciais, florestas urbanas e rurais e valores moderados em áreas comerciais antigas, residenciais e industriais. Ele mediu a radiação solar e radiação infravermelha, calculando a porção incidente e

emitida pelas superfícies de Delhi. Relacionou as diferenças encontradas na cidade com o meio rural e dentre si, de acordo com o uso: residencial, comercial e industrial (tabela 01). Encontrou níveis moderados de radiação de ondas curtas em áreas residenciais e em florestas urbanas, níveis baixos em áreas comerciais antigas e industriais e altos níveis de radiação global nas áreas rurais e comerciais mais novas. Esta diferença entre áreas comerciais antigas e novas deveu-se aos panos de vidro ultimamente utilizados, em larga escala, em bairros comerciais de todo o mundo, mesmo em cidades tropicais.

TABELA 01 – Radiação em localidades de Delhi, Índia, comparadas à área rural. Fonte: PADMANABHAMURTY (1994).

Uso	Radiação Global		Infravermelha incidente		Infravermelha emitida	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Comercial	-7 a -10%	-6 a -28%	7 a 16%	18 a 42%	-8% (max)	-2 a -12%
Industrial	-4 a -13%	-5 a -33%	9 a 21%	27% (max)	13% (max)	15 a 42%
Residencial	-1 a -6%	-2 a -10%	1 a 9%	15% (max)	-1 a -3%	-2%

A radiação solar é um dos elementos climáticos mais expressivos para a alteração do topoclima. Segundo LANDSBERG (1970a) a radiação global pode se alterar de 15% a 20% em relação ao ambiente rural. Em cidades tropicais, a luz é bem vinda enquanto o calor produzido pela radiação pode não o ser, provocando desconforto térmico ou gasto excessivo de energia. Do balanço radiativo urbano participam o albedo, pois seu decréscimo aumenta a absorção de energia pelas superfícies que compõem a cidade; e a poluição do ar, por ampliar a intensidade das ondas longas que chegam à cidade, reduzir a incidência de ondas curtas e por provocar a redução da saída das ondas longas para a abóbada celeste (PADMANABHAMURTY, 1994).

Para se ter uma idéia das diferenças de temperatura causadas pela mudança do albedo, SAILOR (1993) encontrou decréscimos de 2,4° C na temperatura do ar em área de Los Angeles ao aumentar o albedo de 10% para 30%. Um aumento do albedo de 13% pode reduzir em até 4° C a temperatura do ar em dias de verão (TAHA, 1997b) por provocar reduções na emissão do calor de ondas longas e nas trocas por convecção. TAHA (1997a) também verificou que albedos em áreas urbanas são, em geral, entre 0.10 e 0.20, podendo chegar a 0.45 em cidades de clima quente, como no norte da África.

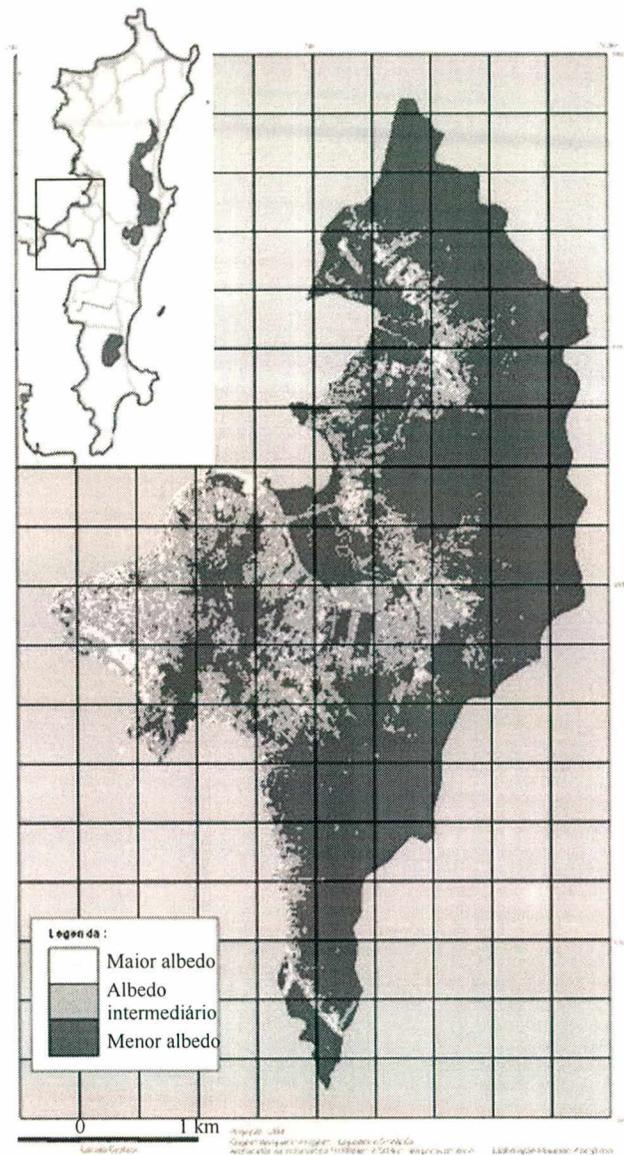


FIGURA 06 - Mapeamento do albedo na área central da porção insular de Florianópolis, Santa Catarina. Fonte: PAMPLONA (1999).

2.1.2.6. TEMPERATURA DO AR E TEMPERATURA SUPERFICIAL

Fator climático responsável pela identificação da ilha de calor, a temperatura é afetada pelos demais fatores, principalmente radiação, evapotranspiração e produção de calor antropogênico. A temperatura do ar é também influenciada pela temperatura das superfícies, seja através de condução, convecção ou radiação infravermelha. ELIASSON (1996) verificou que a temperatura superficial é mais influenciada pela estrutura das cidades do que a temperatura do ar, por ser

possível de ser correlacionada ao fator de visão do céu enquanto não há correlação entre temperatura do ar e o FVC. Ele encontrou diferenças de 3° C no inverno e 6° C no verão entre a temperatura mais alta numa cidade de alta latitude e a zona rural. BRYSON e ROSS (19_) encontraram as mais altas temperaturas em *Madison*, EUA, em uma área em que o tráfego de veículos é grande e as paredes dos edifícios emitem alta radiação de ondas longas e com pouca ventilação. Em cidades tropicais da Ásia, TSO (1996) comparou temperaturas horárias de uma área urbana e rural, encontrando uma variação de 26° C a 33° C na área urbana enquanto a temperatura do ar na área rural variou de 22° C a 30° C, em dezembro, verão de 1992. É interessante notar que TSO (1996) concluiu que os estudos de clima urbano estão inadequados para cidades tropicais na Ásia, exigindo mais esforço e pesquisa no campo de climatologia urbana. No Brasil, BRANDÃO (1992) verificou a evolução das temperaturas no Rio de Janeiro e constatou que a década de oitenta apresentou as maiores temperaturas médias anuais dos últimos 140 anos e HEYER (1997) utilizou dados medidos em cinco estações climáticas de Manaus para analisar as alterações da temperatura, precipitação e umidade devido ao crescimento urbano.

Além da medição *in situ*, seja por transectos móveis ou em estações climáticas, a temperatura do ar pode ser medida através de outros métodos, especialmente quando a área estudada é extensa para ser percorrida num transecto. BACH (19_) apontou o uso de aviões com sensores térmicos remotos e de automóveis equipados com sensores para identificar a influência da ocupação do solo nas temperaturas das cidades. Outra opção é o uso de imagens de satélite, com os quais NICHOL (1998) derivou a temperatura superficial para encontrar a temperatura do ar. LOMBARDO (1985) e ASSIS (1990) também fizeram uso de imagens termais para estudar os efeitos da estrutura urbana em os fenômenos da ilha de calor de São Paulo e Belo Horizonte, respectivamente. LOMBARDO (1985) analisou os padrões de uso e tipos de ocupação urbana de São Paulo correlacionando-os às variações de temperatura registradas por satélites e confirmando os dados das imagens termais com medições em três horários através de 45 postos fixos de medição de temperatura em 21 dias de inverno e 12 de verão. Já ASSIS (1990) combinou as informações de satélite com dados de estações meteorológicas para avaliar a influência das áreas verdes na temperatura da cidade.

BARBIRATO (1998) aplicou um modelo de balanço de energia cujos dados de entrada são as características da estrutura urbana de Maceió como massa construída e rugosidade, assim como radiação líquida e velocidade do vento. Desenvolveu equações para simular a temperatura no meio urbano e testar e prever os efeitos térmicos de diferentes usos do solo na cidade. Partindo

da premissa que não há grandes variações anuais de temperatura no clima quente e úmido, calibrou o modelo com medições realizadas em cinco dias de abril a maio, desenvolvendo então uma ferramenta para simulação das temperaturas do ar na cidade de Maceió, Alagoas.

2.1.2.7. VENTOS

A estrutura urbana reduz a velocidade dos ventos quando estes alcançam a cidade, provenientes de seu entorno, em razão de sua rugosidade e da altura das barreiras produzidas pelas edificações. LANDSBERG (1970b) indicou haver uma redução nas cidades de 20 a 30% na velocidade média anual dos ventos. Em geral, a ventilação é desejada em cidades de baixa latitude não somente para escoamento de partículas do ar, mas também para garantir o conforto dos habitantes. MUNN (1970) descreveu os efeitos da estrutura urbana na dinâmica dos ventos sejam eles fortes, moderados ou leves. Na presença de ventos fortes, há incremento dos ventos verticais e assim, aumento das turbulências, enquanto uma simples circulação vertical do ar pode ser provocada por diferenças de temperatura, como em parques urbanos (MUNN, 1970) ou nos *canyons* simulados por PAPADOPOULOS (2001).

Os ventos urbanos, quando em alta velocidade, reduzem os contrastes entre a paisagem urbana e rural e reduzem a intensidade da ilha de calor (OKE e HANNEL, 1970). OKE e HANNEL (1970) apontaram, na década de 60, uma velocidade limite a partir da qual, os ventos urbanos podiam mitigar a formação da ilha de calor: 12 m/s em Londres, de 6 a 8 m/s em Hamilton, no Canadá, 3 a 5 m/s em Palo Alto, Califórnia, dentre outros.

As formas de estudo e registro da dinâmica dos ventos são também variadas, como as da temperatura. Modelos físicos tendem a ser mais de mais fácil manuseio do que os numéricos, devido à complexidade imposta pela fluidez do vento nos cálculos envolvendo variáveis como rugosidade da superfície ou viscosidade do ar. SARAIVA et al (1997) ensaiaram, em modelo físico com o uso de túnel aerodinâmico, o escoamento dos ventos em centros urbanos de Lisboa. Usaram também dados meteorológicos e modelos numéricos para avaliar as condições de conforto no local. ZHAO et al (1999) também fizeram uso de modelos numéricos, para, no entanto, desenvolver o método TMS (*“Two Step Method”*) para simular os efeitos do vento em áreas urbanas verticalizadas. Este consiste em simulações em etapas para o detalhamento progressivo da forma e geometria das edificações que compõem a paisagem urbana até convergir na precisão e detalhamento desejados.

Já OLIVEIRA (1993) usou matrizes teóricas para reunir os atributos bioclimatizantes da forma urbana e desenvolver uma metodologia de desenho urbano que avalia estes atributos para o projeto, enquanto CARLO (2000) adicionou, para a cidade de Belo Horizonte, mais um fator de análise à metodologia desenvolvida por WIRTSCHAFTSMINISTERIUM (1995), a direção das curvas topográficas em relação à direção do vento incidente. A análise de WIRTSCHAFTSMINISTERIUM (1995) baseava-se em uma matriz com índices de altura topográfica, rugosidade e altura de edifícios para determinar a intensidade e distribuição dos ventos urbanos na Alemanha.

2.1.2.8. UMIDADE

Segundo LANDSBERG (1970b), a umidade relativa pode ser reduzida em até 8% nas áreas urbanizadas em relação às rurais. Isto se deve pela redução da vegetação presente nas cidades e do aumento da área impermeabilizada, que reduz a área de solo úmido passível de se evaporar. Sendo que a evaporação de 1 kg de água a 20° C exige 2,45 MJ de calor latente, a umidade é considerada responsável pela retirada de calor sensível do ar assim como por controlar a taxa de evaporação na pele humana, atuando diretamente na sensação de conforto do ser humano. Assim, a evapotranspiração atua interativamente na umidade do ar assim como a temperatura. O padrão médio zonal de evaporação é função principalmente da temperatura e portanto, o vapor de água anualmente gerado localmente em uma certa região é diretamente proporcional à temperatura anual para aquela região (NJAU, 1995). Baseado neste conceito, NJAU (1995) derivou expressões de umidade relativa em função da temperatura do ar.

2.1.3. CLIMA URBANO E CONSUMO DE ENERGIA

Os fatores climáticos citados anteriormente afetam a sensação de conforto térmico e, por conseguinte, o consumo de energia nas edificações à medida que as exigências humanas tornam-se mais rigorosas. Um dos equipamentos consumidores de energia em uma edificação é o sistema de condicionamento do ar, no caso da maior parte do território brasileiro, voltado para o resfriamento do ambiente. De acordo com GELLER (1990), sistemas de ar condicionado no Brasil consomem 20% da energia total de um edifício.

No ano de 1998, foi expedido um alerta na Califórnia para que grandes consumidores reduzissem, voluntariamente, o uso da energia elétrica em razão de elevada queda nas reservas energéticas. As temperaturas do ar alcançaram níveis recordes no mesmo período em todo o lado

oeste dos EUA. O fenômeno desencadeou um amplo estudo do *California Energy Commission* objetivando estabelecer uma relação entre a elevação da temperatura do ar e os picos de consumo de energia elétrica para prever e assim, tentar evitar uma nova redução drástica na oferta energética como a ocorrida naquele verão (CEC, 1999).

O alerta ocorrido na Califórnia mostrou a real possibilidade de crises energéticas provocadas pelo desequilíbrio entre o aumento do consumo e o potencial de fornecimento de energia, mesmo que momentâneas. O Brasil não é exceção a esta tendência, ainda abrigando indústrias eletrointensivas.

A última edição do Balanço Energético Nacional, BEN 00 (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2000) mostrou que em 1999 o setor comercial consumiu 14% da energia elétrica gerada no Brasil. A eletricidade representou 94% da energia consumida por este setor enquanto representou aproximadamente 45% da energia consumida pelo setor industrial. Como o potencial hidráulico para grande geração de energia está se esgotando, o país tende a adotar duas medidas: investir em outras fontes de geração de energia elétrica e incentivar edificações energeticamente eficientes.

O estudo de edifícios energeticamente eficientes inclui o estudo dos efeitos do clima no desempenho térmico dos edifícios. Estes foram observados em vários estudos englobando diferentes climas e estruturas urbanas.

AKBARI et al (1993) mostraram que existe um aumento de 2.6% a 3.6% da carga elétrica máxima para cada aumento de 1° C na temperatura externa ao edifício em aglomerados urbanos cuja população seja maior que 100 mil habitantes. Assim, o aglomerado urbano de Los Angeles causou um aumento de 3° C de 1940 a 1992, resultando num aumento da demanda máxima de 1 GW somente para compensar os efeitos da ilha de calor. ROSENFELD et al (1996) confirmam estes dados ao identificar, para a década de noventa, um crescimento que implica num aumento de 1° C a cada 15 anos em Los Angeles. AKBARI (1990) também listou variações na carga de pico e no consumo anual de energia após o plantio de árvores e aumento do albedo dos telhados. Para casas construídas em 1980, em Chicago, houve uma redução de 29,1% na carga de pico e 21,6% no consumo anual, em Miami, 23,4% na carga de pico e 16,5% no consumo anual e em Sacramento, 26,0% na carga de pico e 23,8% no consumo anual. A média de todas as cidades norte-americanas estudadas foi de 28,0% na carga de pico e 18,6% no consumo anual de energia, tanto para resfriamento como para aquecimento das edificações. Considerando somente o resfriamento, SAILOR (1998) afirmou que, se considerar a demanda de HVAC linearmente

proporcional aos graus-dia para resfriamento, a economia de energia por resfriamento no verão, numa cidade hipotética, pode chegar a mais de 5% com uma fração de 0.065 de aumento da área de vegetação urbana, e a 10% com um aumento mais intenso desta vegetação. Esclareceu ainda que, no caso de cidades úmidas, esta economia seria menor.

Em Atenas, medições de temperatura e umidade realizadas para o projeto POLIS e simulações termo-energéticas realizadas com estas medições apontaram as áreas de maior consumo do sistema de ar condicionado de um edifício comercial representativo. A distribuição do consumo por condicionamento de ar foi mapeada sendo que a área central da cidade, que abriga uma via de tráfego intenso, correspondeu aos mais altos valores de consumo de eletricidade, aproximadamente o dobro dos consumos na periferia. Os valores de consumo mínimo foram encontrados na área sudeste da cidade, predominantemente residencial de média ocupação ao lado de uma floresta urbana, enquanto as mais altas cargas foram calculadas para a região oeste, caracterizada por intensa ocupação e tráfego, carência de áreas verdes e atividades industriais. (SANTAMOURIS, 1997) A figura 07 mostra a diferença das cargas encontradas, em kW, na cidade de Atenas, considerando um edifício padrão.

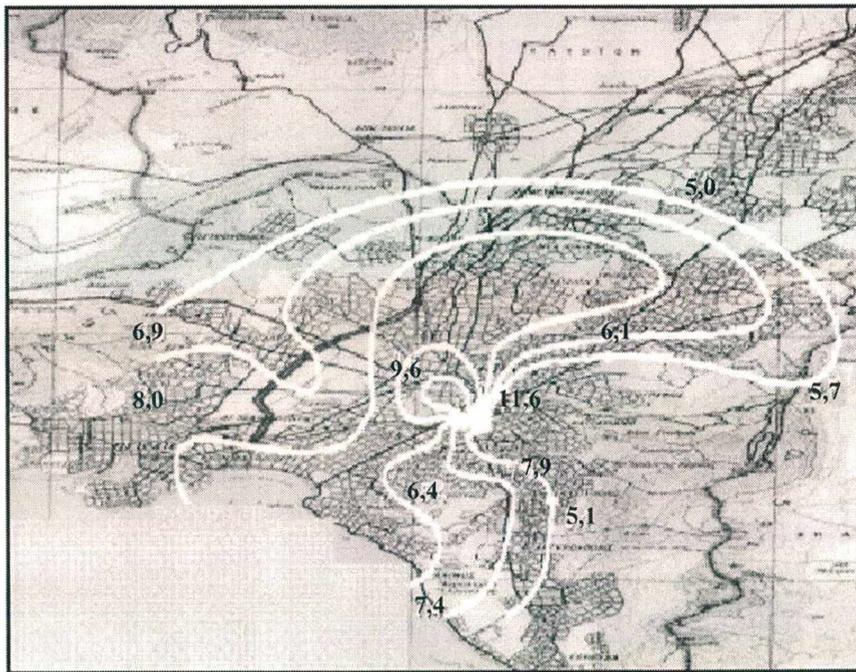


FIGURA 07 - Isolinhas de carga de resfriamento (em kW) para temperatura de *set point* de 27° C sobre a malha urbana de Atenas, Grécia, em agosto de 1996. Fonte: SANTAMOURIS (1997).

A necessidade de racionalização do consumo energético voltado ao resfriamento da edificação passa então por uma avaliação que integre edifício, cidade e clima, a fim de identificar as variáveis participantes da dinâmica microclimática de uma área urbanizada. Assim, torna-se possível obter um entendimento mais apurado do comportamento das variáveis objetivo do estudo ao serem correlacionadas a outros fatos presentes na cidade, como neste trabalho, cuja análise termo-energética objetiva o consumo de energia elétrica, relacionado à ocupação da cidade e a seus efeitos no microclima, topoclima e mesoclima.

2.2. SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA

Segundo GONÇALVES e ALMEIDA (1995), a simulação é um processo de emulação da realidade, quando vista sob a ótica do usuário, “ou seja, de ‘mimesis’ de uma situação existente ou concebida (um edifício ou um projeto), envolvendo a sua descrição física, com o objetivo de prever o seu comportamento térmico quando sujeito a diferentes tipos de solicitações exteriores (condições climáticas) e interiores (cargas, ganhos internos, ventilação, etc)”.

Eles afirmaram que a “simulação torna possível antever e analisar de uma forma interativa a resposta do ‘sistema-edifício’ a diferentes situações”. Ajuda assim a definir desde a volumetria às aberturas, fornecendo informações como picos de temperatura e de carga, regimes de controle, variação dos níveis de conforto nas edificações e efeito da utilização de materiais variáveis (GONÇALVES e ALMEIDA, 1995). Como as características energéticas de um edifício não dependem somente do desempenho individual de cada componente, mas também do desempenho de um sistema integrado de interações complexas e dinâmicas com o ambiente e seus sistemas (HONG et al, 2000), a forma mais eficiente para prever o desempenho do edifício e analisar possíveis alternativas para redução do consumo e obtenção do conforto é a simulação. O DOE 2-E é um programa de domínio público desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley Laboratory*, com apoio do Departamento de Energia dos EUA, que simula o desempenho horário de uma edificação ao longo do ano. Segundo HONG et al (2000), o DOE 2-E, por usar a temperatura da hora anterior para calcular o fluxo de calor entre as paredes internas e assim, simplificar o cálculo evitando as interações simultâneas de todas as zonas, não deve ser usado quando a variação de temperatura, a diferença de temperatura ou o fluxo de ar entre as zonas for significativo ou o fluxo de calor entre as zonas for importante. Entretanto, é adequado para simulação do sistema de HVAC, de ganhos térmicos e cargas de pico, dentre outras variáveis,

com base nas características detalhadas dos componentes do edifício e nas condições do clima registradas em arquivos climáticos.

CARRIERE et al (1999) usaram o DOE 2-E devido à sua flexibilidade em manipular interativamente os efeitos da massa térmica, iluminação natural e desempenho dos sistemas primário e secundário do HVAC e devido às opções de análise de dados horários fornecidos pelo programa. Já LAM (2000) simulou, no DOE 2-E, um edifício de características genéricas de Hong Kong para obter cargas horárias e o desempenho energético com base em dados horários medidos em 1989, o TRY, ano climático de referência, de Hong Kong.

2.2.1. ENTRADA DE DADOS – ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Recentemente, MENDES et al (2001) reuniram informações de pesquisadores brasileiros e constatou que uma das maiores dificuldades em simular o desempenho termo-energético no Brasil é a falta de dados climáticos de qualidade. Já em 1993, MASON e KINGSTON (1993) citaram a medição em somente 3 horas do dia e a ausência de dados de radiação solar como os maiores problemas encontrados nos arquivos climáticos horários nas principais cidades do mundo. Além da qualidade dos arquivos, o formato também não atende à necessidade dos usuários. O formato do TRY, ano climático de referência, apresenta dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade, pressão barométrica, direção e velocidade do vento e nebulosidade, mas não inclui a radiação solar. CRAWLEY e HUANG (1997) apontaram a ausência de dados medidos de radiação e a eliminação das situações climáticas extremas como os principais problemas do TRY. Para solucionar as limitações do TRY, foram desenvolvidos arquivos climáticos como o TMY, *Typical Meteorological Year* e, mais recentemente, o WYEC, *Weather Year for Energy Calculations*, de formato como o TRY, porém com a radiação solar medida ou calculada, dentre outros dados. A simulação destes formatos de arquivos climáticos de cidades dos EUA no DOE 2.1-E resultou numa diferença de até 11%, principalmente na parcela da energia usada para o aquecimento. Em cidades onde o aquecimento e o resfriamento são de igual importância, cujo uso depende somente da estação do ano, a diferença entre o consumo medido e o simulado com os arquivos climáticos TRY, TMY2 e WYEC2 chegou a 15%.

Tais arquivos, cujos dados adicionais de iluminância, tempo presente (CRAWLEY et al, 1999), dentre outros, atende às recentes exigências de maior precisão nas simulações termo-energéticas em edificações (HENSEN, 1999), apresentam melhor convergência às longas séries de tempo: o

WYEC2 é mais semelhante às longas séries de tempo da radiação solar e o TMY aos dados de temperatura (CRAWLEY e HUANG, 1997), sendo mais adequados à simulação termo energética. HENSEN (1999) afirmou que estes novos arquivos devem permitir avaliações em períodos de tempo menores que um ano completo e devem ser flexíveis a ponto de permanecer ainda compatível ao acomodar outros dados ainda não existentes em seu formato original. Este formato seria adotado pelo programa *Energy Plus*.

HENSEN (1999) também apontou problemas no uso de arquivos TRY para edificações típicas, já que para cada caso cuja edificação se diferencie da “típica”, seria necessária a compilação de outro TRY baseado nas características desta nova edificação. Justifica, para tanto, que os dados contidos em arquivos climáticos como os TRY não são correlacionados, como temperatura e radiação, então, deve-se estabelecer pesos para cada fator do clima (temperatura, radiação, vento, etc...) no momento de definir quais dias e horas são incluídas no TRY. Entretanto, para cada tipologia construtiva, alguns fatores climáticos são mais relevantes que outros, de forma que, para cada edificação cuja sensibilidade seja maior a um determinado fator climático, o arquivo TRY deveria possuir este fator mais relevante com maior peso, resultando em um diferente arquivo TRY para cada tipo de edificação. Em geral, a sensibilidade de uma edificação é maior à temperatura e à radiação solar, razão pela qual THEVERNARD e BRUNGER (2001) desenvolveram arquivos climáticos IWEC – *International Weather Year for Energy Calculations* - cujos meses são selecionados conforme o método para criar arquivos TMY porém utilizando-se índices mensais compostos por índices com pesos diferentes para cada fator climático. Cada fator climático apresentou pesos que variaram de 2,5 a 40 para TBS, temperatura de ponto de orvalho, velocidade do vento, direção do vento e radiação solar. Nos arquivos IWEC, a TBS média e a radiação solar responderam por 70 % do índice composto mensal.

Para verificar o uso do TRY, PEDRINI (1997) comparou dois arquivos climáticos de Florianópolis, Santa Catarina: um TRY63 com dados de radiação calculados pelo DOE 2.1-E e outro REAL95 com dados de radiação medidos, identificando uma diferença significativa nos dados de radiação e vento dos arquivos climáticos. Entretanto, sua conclusão final baseou-se no consumo, que para 11 meses do ano, a exceção foi dezembro, mostrou-se inferior a 3%, concluindo então que o trabalho e tempo consumidos para a compilação de um arquivo climático específico para um ano de referência não se justificam. Para vento somente, a diferença no consumo de energia de um edifício condicionado simulado com arquivos climáticos com dados de vento existentes e não existentes, iguais a zero, chegou a 6%.

KRÜGER e LAMBERTS (1999) também compararam os cálculos de radiação efetuados pelo DOE 2.1-E a partir da nebulosidade com dados de radiação medidos na estação do LABSOLAR, UFSC, encontrando significativas diferenças em condições de céu parcialmente nublado, quando a nebulosidade é média. Apesar da nebulosidade ter sido medida num local 20 km distante do LABSOLAR, as estimativas de radiação em condições extremas de nebulosidade, céu claro e céu encoberto, mostraram-se fiéis à radiação estimada pelo DOE 2.1-E. Entretanto, a correlação entre a radiação medida pelo LABSOLAR e a radiação estimada pelo DOE 2.1-E mostrou-se baixa, com R^2 de 0,58, assim como a frequência de ocorrência da nebulosidade mostrou ser comum a condição de nebulosidade média em Florianópolis, o que prejudica a estimativa do DOE 2.1-E.

Para evitar tais erros na estimativa da radiação solar, é possível utilizar a equação empírica desenvolvida por PITTA (2001) para cálculo da radiação global diária em Florianópolis, elaborada através de dados medidos no LABSOLAR, Laboratório de Energia Solar da UFSC. A equação possui a nebulosidade e a radiação solar extraterrestre como dados de entrada, tendo ainda os coeficientes a, b e c, que se alteram de mês a mês, em razão do ciclo anual do sol. Estes coeficientes serão apresentados na metodologia.

A discussão sobre a validade de arquivos e dados climáticos utilizados em simulações energéticas estende-se ainda por outros campos na literatura. Cabe ressaltar que esta discussão resulta da importância do clima sobre os efeitos térmicos das edificações e, conseqüentemente, sobre os efeitos no consumo de energia. A evolução da complexidade dos cálculos energéticos frente ao crescente número de variáveis é acompanhada pela evolução dos programas para simulações termo-energéticas, tomando-se estes importantes ferramentas para o estudo do edifício e das condições do meio onde está inserido.

2.2.2. MODELOS DE EDIFICAÇÕES

Além de arquivos climáticos, outro fator importante na simulação é o modelo de edificação adotado. Embora simplificado em face à realidade, a evolução dos programas de simulação termo-energética permite também a modelagem mais detalhada das características térmicas dos edifícios e assim, uma redução das diferenças entre resultados estimados e medidos.

Em Saskatton, Canadá, CARRIERE et al (1999) simularam um edifício de 5 pavimentos em que foram encontradas diferenças de consumo de energia elétrica, entre a simulação e os dados medidos, de 5,7% e 5,8% na primavera e verão, respectivamente. AL-RABGHI et al (1999)

calibraram o DOE 2-E para simular o consumo de energia por resfriamento na Arábia Saudita usando um edifício de dois pavimentos, sendo que o térreo não possuía condicionamento de ar e o primeiro piso era condicionado. O DOE 2-E estimou um consumo pelo ar condicionado de 25,8% do consumo total anual de energia elétrica.

LAM (2000) simulou edificações comerciais no DOE 2-E no clima subtropical de Hong Kong estabelecendo padrões de tipo de envelope, instalações e serviços baseados em 146 edifícios que resultou em um modelo de 40 andares, 35 x 35 m, distância entre pisos de 3,4 m, U_{janela} de 5,6 W/m^2K , WWR de 0.44, dentre outras características. Analisou diferenças no consumo ao variar o sistema de ar condicionado, cargas internas e envelope do edifício.

Usando o mesmo programa, SIGNOR (1999), equacionou o consumo de energia elétrica em edificações de escritórios para climas de 14 capitais brasileiras com base em arquivos climáticos de GOULART et al (1997). Simulou 512 diferentes casos para cada cidade a partir de um edifício padrão em que foram avaliadas as variações de: $A_{\text{cob}}/A_{\text{tot}}$, $A_{\text{fach}}/A_{\text{tot}}$, WWR (*Window Wall Ratio*), PF (*Projection Factor*), SC (*Shading Coefficient*), U_{cob} , α_{cob} , α_{par} e ILD (*Internal Load Density*). Estas variáveis do envelope e uso do edifício foram escolhidas após análise da sensibilidade de cada no consumo de energia da edificação.

Além do DOE 2.1, outras modelagens de edificações foram realizadas no Brasil com programas como o Quick ou ESP-r, em que TRIBESS et al (1997) simulou o consumo de energia por ar condicionado de um andar típico de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo. Suas características foram definidas segundo o Código de Obras e Edificação do Município, segundo a Norma NBR 6401 e através de critérios de ventilação da ASHRAE. No programa Quick 3.0, ASSIS (1998) simulou edifícios de escritórios típicos de Belo Horizonte, Minas Gerais, com 10 pavimentos, 12 x 22 m, de orientação próxima à leste-oeste, estabelecendo ainda densidade, calor específico, espessura, absorvância dos materiais componentes das lajes de cobertura e piso, paredes externas e internas e janelas. Para também simular um edifício comercial típico da cidade do Rio de Janeiro, HERNANDEZ NETO et al (1999) modelaram um edifício de 20 pavimentos, pé direito 2,7 m, definindo espessura, calor específico, condutividade térmica e densidade dos componentes da edificação. A partir deste modelo, variaram as condições internas para verificar as condições de conforto e redução no consumo de energia da edificação.

Percebe-se então que são vários os critérios para definir as características de edificações modeladas para avaliação termo-energética: de pesquisas que resultam em edifícios padrão de

um país, região ou cidade para uma avaliação abrangente à modelagem de edifícios reais ou projetados para avaliação em estudos de caso.

2.2.3. SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS EM EDIFICAÇÕES

Aplicando estudos de consumo de energia baseados nos efeitos das proteções do entorno imediato, AKBARI et al (1993) realizaram, na Califórnia, simulações de sombreamento por árvores e alteração da refletividade de telhados de edificações residenciais e comerciais no programa DOE 2.1-D com resultados significativos na redução do consumo energético. No Brasil, PIETROBON (1999) utilizou o programa Visual DOE 2.5, DOE 2.1-E, para simular o consumo elétrico final de edifícios escolares com proteções solares arquitetônicas e paisagísticas, observando tanto os efeitos térmicos quando os visuais de quatro diferentes tipos de árvores. Concluiu que o exemplar arbóreo flamboyant apresentou as maiores variações no consumo de energia elétrica, chegando a 71%.

Também no Brasil, ASSIS (1998) realizou um estudo usando o programa Quick 3.0 para avaliar o consumo de uma edificação de escritórios típica de Belo Horizonte. Usou dados climáticos horários calculados para uma situação de referência a partir de dados mensais de cinco estações da capital mineira. Como a própria autora comenta, os dados climáticos disponíveis eram limitados, e ainda pôde-se esperar uma imprecisão em razão do uso de médias mensais para estimar dados horários. Mais apropriado seria o uso de dados horários medidos, não disponíveis na base de dados belohorizontina. Os resultados apresentados referem-se ao período do inverno, com uma diferença de 17% no consumo da área central para o consumo da periferia.

Os efeitos da ilha de calor em Atenas foram registrados por HASSID et al (2000) através de simulações no DOE2.1-E. 20 estações registraram condições microclimáticas em Atenas sendo que dados comuns de umidade e de radiação solar foram usados em toda a área estudada, exceto no TMY da cidade, ano típico meteorológico. As variáveis climáticas, temperatura e radiação solar, foram comparadas entre as estações e entre os anos medidos, 1997 e 1998 e entre o TMY. Também foram analisados os graus-dia, carga elétrica total para resfriamento e carga sensível para resfriamento, encontrando cargas sensíveis de resfriamento de 15 a 50% mais altas em 1997 e 10 a 40% em 1998, na parte oeste da cidade.

A possibilidade de utilizar arquivos climáticos medidos em 20 estações de uma mesma cidade, como realizado por HASSID et al (2000), é um fato raro devido aos elevados custos de instalação e manutenção destas estações. Mas a crescente necessidade de proteção do ambiente

natural e a atual escassez de energia elétrica exigem que as edificações sejam energeticamente eficientes, assim como exigem que o meio urbano não venha a gerar uma carga térmica excessiva e desnecessária nos edifícios. A existência de diversas estações climáticas no meio urbano seria o ideal para registrar a variação nos dados presentes nos arquivos climáticos provocada pela variabilidade da paisagem urbana e, por consequência, para registrar a variação no consumo de energia de um edifício.

Entretanto, arquivos climáticos de qualidade são escassos no Brasil (MENDES et al, 2001) e são raros os casos em que há arquivos climáticos horários medidos em mais de um sítio em uma mesma cidade. É necessário então conhecer as possíveis variações de consumo de energia elétrica em edificações simuladas em diferentes anos e locais de uma mesma cidade, assim como os principais fatores climáticos – que foram alterados, ou não, pela estrutura urbana – intervenientes no consumo de energia da edificação, de forma conhecer as possíveis diferenças de consumo de energia de acordo com as características da paisagem urbana onde se localizam as estações medidoras, dos fatores climáticos presentes nos arquivos climáticos, das características do edifício.

CAPÍTULO 3 - CIDADES ESTUDADAS

As cidades cujas estações tiveram seus dados simulados no DOE 2.1-E são as capitais brasileiras Manaus, $3,01^{\circ}$ S $60,01^{\circ}$ O, no estado do Amazonas, Rio de Janeiro, $22,5^{\circ}$ S $43,12^{\circ}$ O, no estado do Rio de Janeiro e Florianópolis, $27,33^{\circ}$ S $48,5^{\circ}$ O, no estado de Santa Catarina, de climas equatorial, tropical atlântico e subtropical, respectivamente (figura 08).

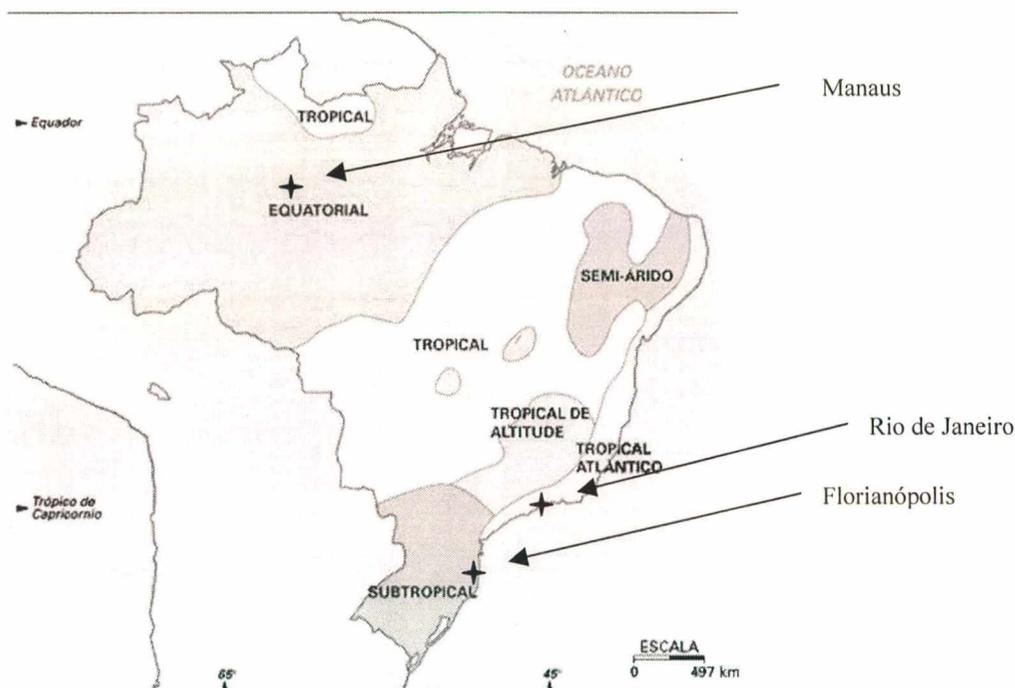


FIGURA 08 - Climas existentes no Brasil.

Fonte: www.terrabrasilonline.hpg.ig.com.br/mapaclima.htm

3.1. RIO DE JANEIRO

As estações do Rio de Janeiro localizam-se no Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim e no Aeroporto Santos Dumont, ambos na Baía de Guanabara. O aeroporto Santos Dumont ocupa um aterro em forma de península entre o centro da cidade e a entrada da Baía da Guanabara, como mostra a figura 09. Já o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, A. C. Jobim localiza-se na Ilha do Governador, dentro da Baía. A distância entre os aeroportos é de, aproximadamente, 20 km, sem barreiras topográficas entre si. Segundo dados da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (www.rio.rj.gov.br), em 1997, a Ilha do Governador possuía 42,33

km² de área, com 9,52% de área construída, com edificações horizontais, sendo proibidas edificações acima de dez metros. Já o centro da cidade possuía 6,40 km², com 128% de área construída, ou seja, predominância de edificações verticais. A área absoluta de parques e jardins é equivalente em ambos os locais, 0,4 km², e a área de terrenos vazios ou com áreas verdes, é de 7,97% no centro e 6,61% na Ilha do Governador. A figura 10 mostra um croqui da ocupação das áreas vizinhas aos aeroportos.

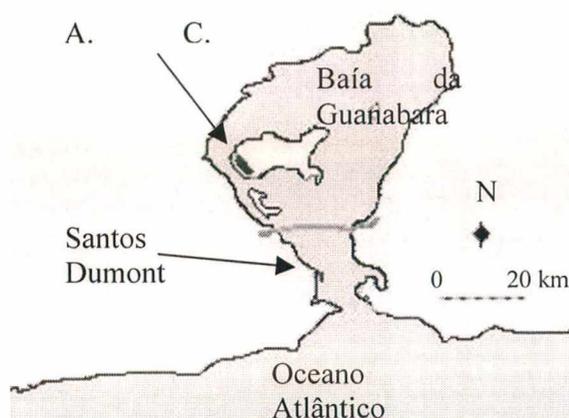


FIGURA 09 - Localização dos aeroportos na Baía da Guanabara.

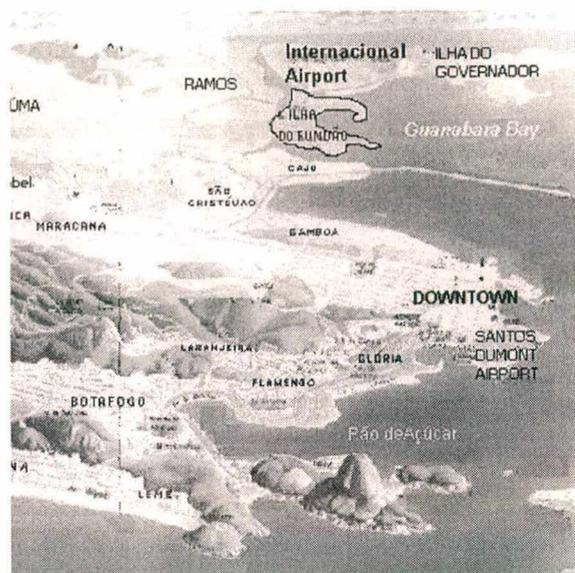


FIGURA 10 - Vista panorâmica da topografia e ocupação urbana na região dos aeroportos.

Fonte: www.labee.ufsc.br/bs2001

3.2. MANAUS

As estações climáticas de Manaus estão localizadas no Aeroporto de Ponta Pelada, também conhecido como Ajuricaba e Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, distanciados por, aproximadamente, 13 km, como mostra a figura 11. O aeroporto de Ponta Pelada localiza-se na Zona Sul, próximo ao centro, área mais populosa da cidade onde se originou a formação urbana, a área de ocupação densa com edifícios de 3 a 10 andares, estes últimos mais isolados na paisagem urbana, com 20% de cobertura vegetal e ao Distrito Industrial (figura 12). Segundo HEYER (1997) o Centro é caracterizado pela presença de edifícios históricos de 1 ou 2

pavimentos e por edifícios de até 12 andares, com pouca distância entre si, e por uma reduzida área de cobertura vegetal, de aproximadamente 10%. Já o Distrito Industrial, apesar de possuir indústrias leves e pesadas, possui também extensa cobertura vegetal, ocupando 70% de sua área. O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes localiza-se na Zona Oeste, caracterizada por ocupação espontânea, com grandes extensões desocupadas ou loteamentos recentes (figura 13). A ocupação no entorno do aeroporto caracteriza-se por invasões com densa ocupação por edificações horizontais, com área verde de cerca de 30%, por vilas residenciais e predominantemente, por condomínios com superfície de vegetação em torno de 60% (HEYER, 1997).

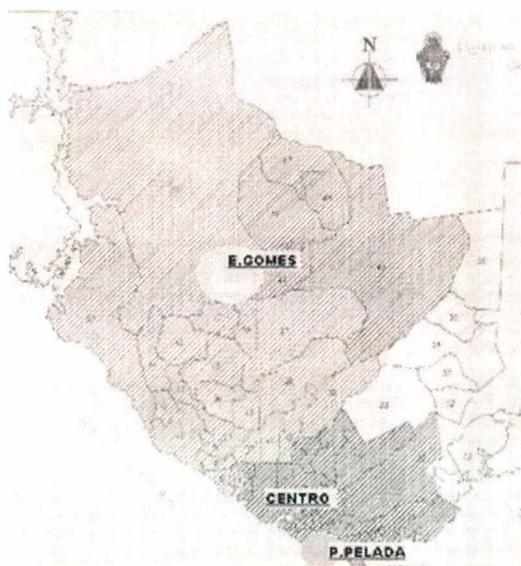


FIGURA 11 - Localização dos aeroportos na cidade de Manaus.

Fonte: Prefeitura Municipal de Manaus, URBAM.

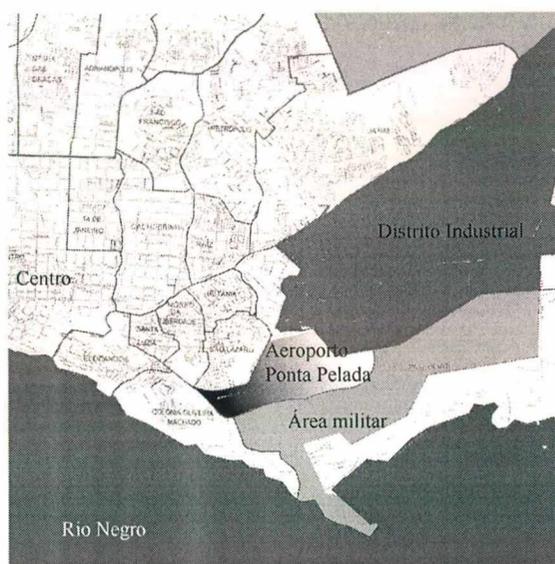


FIGURA 12 - Ocupação no entorno do Aeroporto de Ponta Pelada.

Fonte: Prefeitura Municipal de Manaus, URBAM.

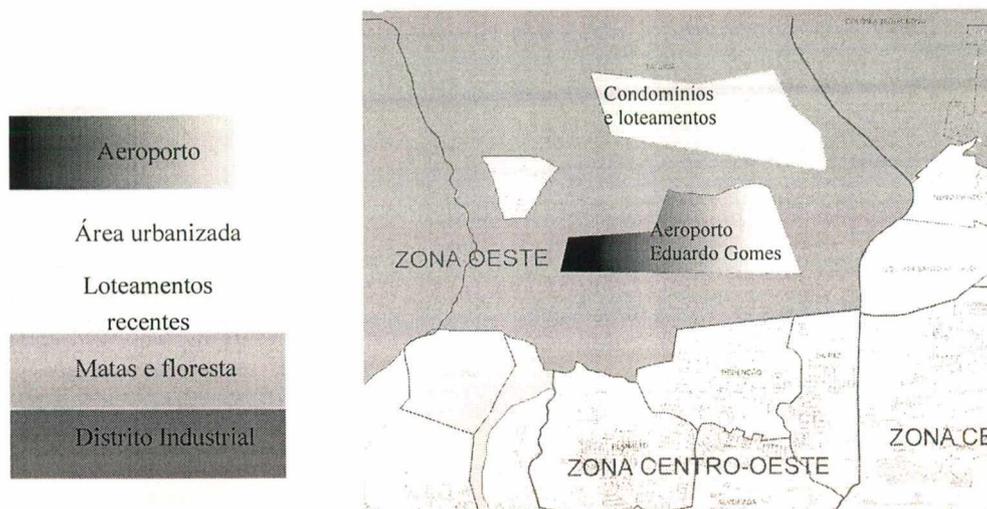


FIGURA 13 - Ocupação no entorno do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes.
Fonte: Prefeitura Municipal de Manaus, URBAM.

3.3. FLORIANÓPOLIS

Florianópolis localiza-se parte na Ilha de Santa Catarina e parte na porção continental próxima à ilha. A Ilha de Santa Catarina, exposta ao Oceano Atlântico, possui aproximadamente 60 km de extensão, de topografia estratificada, com grandes áreas verdes e descontínuas áreas urbanizadas. (figura 14)

O Aeroporto Internacional Hercílio Luz localiza-se na parte sul da ilha, em área livre de barreiras na direção leste-oeste. A ocupação próxima ao aeroporto é baixa e predominantemente horizontal. O LABSOLAR localiza-se no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, na parte central da ilha, assim como a estação automática do CLIMERH, no bairro Itacorubi, como mostra a figura 15.

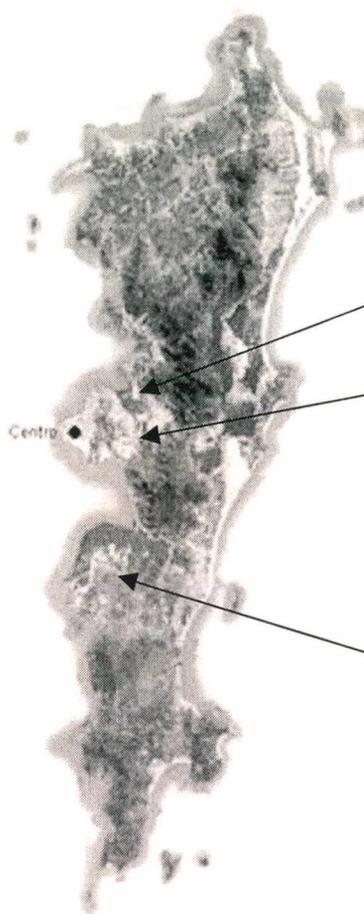


FIGURA 14 - Ilha de Santa Catarina.

Fonte: www.guiafloripa.com.br

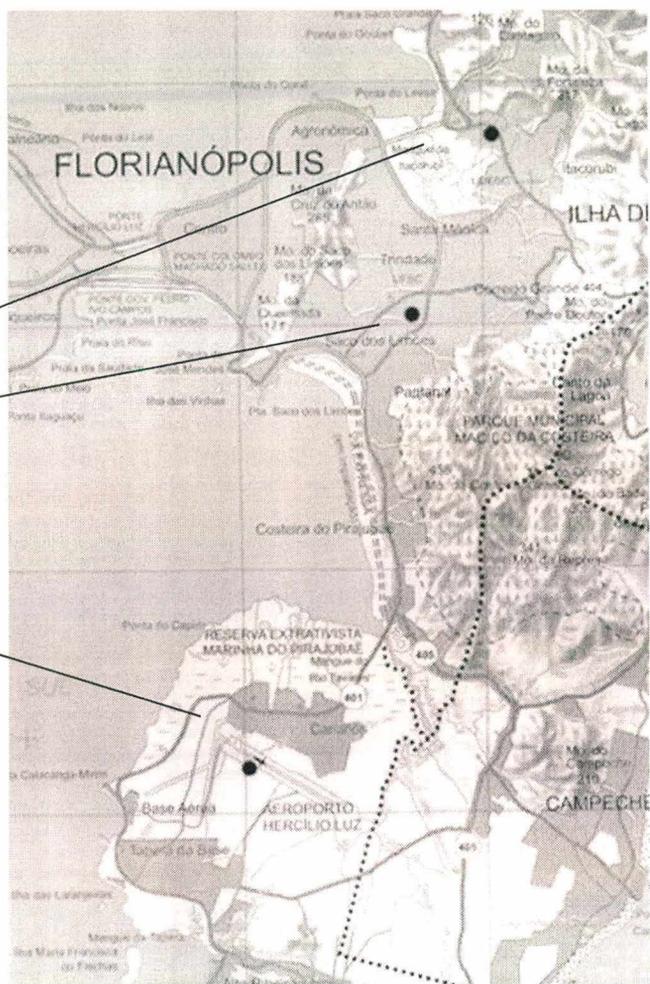


FIGURA 15 - Ocupação urbana e topografia nas áreas onde estão localizadas as estações climáticas.

Fonte: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis.

A localização do aeroporto Hercílio Luz pode ser vista na foto aérea apresentada na figura 16. O Aeroporto Internacional Hercílio Luz localiza-se em área plana, ao sul da Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé – vizinha da Baía Sul –, no distrito de Carianos, bairro de ocupação predominantemente horizontal que fornece a infra-estrutura necessária ao aeroporto: é composto, em sua maioria, de edificações residenciais com comércio local e de apoio ao aeroporto. A leste e a sudoeste, localizam-se outros bairros, como o Campeche, de grande população porém baixa densidade, ocupação esparsa e horizontal e a Tapera, separados do aeroporto por vegetação

rasteira ou de médio porte. O entorno é completado formado por uma cobertura vegetal ora alagada, ora rasteira.



FIGURA 16 - Foto aérea do Aeroporto Hercílio Luz e entorno. Fonte: www.rmav-fln.ufsc.br/fdigital

O campus da UFSC, onde localiza-se o LABSOLAR, e parte do bairro Itacorubi são mostrados na figura 17. O campus está separado da Baía Sul por uma encosta já urbanizada, que se estende até o Maciço do Morro da Cruz. Este, por sua vez, separa a estação do LABSOLAR do encontro da Baía Sul com a Baía Norte.

Ao lado da Baía Norte encontra-se o Mangue do Itacorubi. Ao seu lado, o bairro Itacorubi, de ocupação mais rarefeita do que o entorno do campus – bairros Trindade e Carvoeira – porém de densidade semelhante ao território do campus UFSC.

Segundo PAMPLONA (1999), a área onde se localizam o Bairro Itacorubi e o Campus UFSC possui “uma variedade de elementos morfológicos como maciços de morros, costões, pontais, planícies, vales profundos encaixados e planícies protegidas em relação aos maciços de morros, praias, mangues e enseadas”. As principais barreiras naturais são o Maciço do Morro da Cruz, de alturas máximas variando de 171 a 285 metros, o Morro da Lagoa, a leste do Campus e sudeste do Bairro do Itacorubi, de altura máxima de 493 metros e a Bacia do Itacorubi, onde localiza-se o Mangue do Itacorubi, como mostra a figura 17.

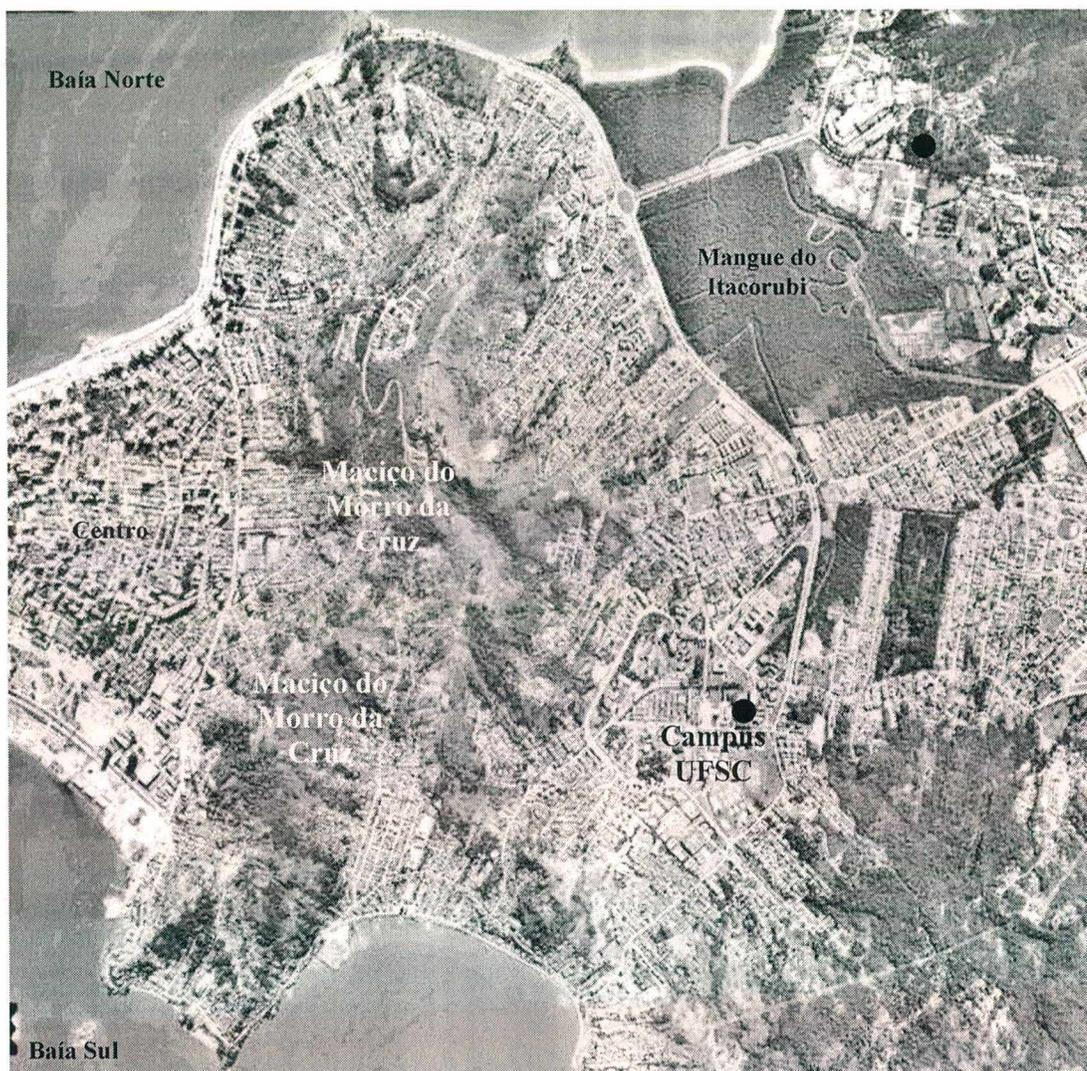


FIGURA 17 - Foto aérea do Campus UFSC e Bairro Itacorubi e parte do centro. As estações estão localizadas por um ponto.

Fonte: www.rmav-fln.ufsc.br/fdigital

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

4.1. ARQUIVOS CLIMÁTICOS

A escolha das cidades estudadas baseou-se na disponibilidade de se obter arquivos climáticos das cidades que continha mais de uma estação climática. De uma base de dados inicial obtida do National Climatic Data Center, EUA (Department of Energy, 1982), foram selecionadas três das 26 cidades brasileiras contidas na base: Rio de Janeiro, Manaus e Florianópolis. Rio de Janeiro e Manaus foram, dentre todas, as únicas que possuíam duas estações climáticas para comparar os consumos em duas áreas urbanas de uma mesma cidade. A estação de Florianópolis foi selecionada por haver arquivos climáticos de outras bases disponíveis.

No Rio de Janeiro, estavam disponíveis os arquivos climáticos do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim e do Aeroporto Santos Dumont, ambos sob administração da INFRAERO. Em Manaus, foram utilizados os arquivos cujos dados foram medidos no Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, sob administração da INFRAERO, e do Aeroporto de Ponta Pelada, também conhecido como Aeroporto Ajuricaba, onde funciona a base aérea do Ministério da Aeronáutica na cidade.

Em Florianópolis, os dados disponíveis do National Climatic Data Center foram medidos na estação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, este também administrado pela INFRAERO. Foram ainda coletados arquivos climáticos de outras duas estações: na estação do LABSOLAR, Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina e no CLIMERH, Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina.

A base de dados do National Climatic Data Center disponibilizou arquivos climáticos de 1982 a 1997, contendo dados horários de 27 variáveis climáticas (temperatura de bulbo seco, direção de vento, tempo presente, pressão, tipo de nuvens, etc...). Destas, são de interesse ao estudo: direção do vento, velocidade do vento, TBS, T_a , pressão e nebulosidade.

Os arquivos da estação do LABSOLAR, UFSC, foram cedidos contendo os anos de 1990 a 1998 com dados horários de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, pressão, radiação solar global, radiação solar direta e radiação solar difusa. Estes dados foram medidos de dois em dois minutos e calculada a média na hora. Os dados do LABSOLAR foram cedidos após ajuste segundo ABREU (2000).

Os arquivos do CLIMERH, Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina, contêm dados horários de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação solar

global de 1996 a parte do ano de 1998. Pressão, direção e velocidade do vento foram cedidas pelo CLIMERH, porém com 3 medições ao dia somente, às 9 horas, 15 horas e 21 horas. Por se tratar de uma estação automática recente, ajustes ainda podem estar sendo realizados nos instrumentos.

O tratamento dos dados consistiu na seleção dos anos para simulação baseada na disponibilidade dos dados climáticos, identificação dos dados ausentes – quantidade, tipo de fator climático e número de horas consecutivas em branco –, preenchimento das lacunas ausentes segundo o fator climático – temperatura, vento, pressão, nebulosidade –, conversão ou estimativa dos fatores climáticos necessários à compilação dos arquivos compatíveis com o DOE 2.1-E, conferência final dos dados e compilação dos arquivos para o formato do DOE 2.1-E. A seguir, são descritos os procedimentos mais relevantes adotados nas diversas etapas do tratamento dos dados climáticos.

4.1.1. ARQUIVOS CLIMÁTICOS ORIGINAIS – ANÁLISE E SELEÇÃO

Todos os arquivos climáticos apresentavam lacunas em branco devido a falhas humanas ou nos equipamentos. Foi necessário verificar a porcentagem de horas com dados em cada arquivo e a relevância deste fator climático na simulação, pois a ausência de grande número de dados poderia invalidar o arquivo caso o fator climático fosse considerado altamente interveniente no consumo de energia elétrica do ar condicionado.

Os arquivos originados do National Climatic Data Center apresentavam-se de ano a ano em uma planilha que continha as 27 variáveis climáticas nas 8760 horas do ano, alguns com pequena porcentagem de dados registrados. Além das horas em branco, havia também dados com duas medições em um intervalo menor que uma hora, o que dificultava a avaliação da disponibilidade de dados medidos. No entanto, foi realizada uma leitura do número de horas registradas em cada arquivo mesmo podendo haver horas repetidas nas linhas da planilha pois a avaliação inicial dos arquivos climáticos deveria verificar se estes continham um número de dados medidos suficientes para iniciar um tratamento de dados, e somente a partir deste esforço conferir a disponibilidade de dados registrados de hora a hora.

A tabela 02 apresenta a porcentagem das horas do ano cujas linhas continham pelo menos um dado registrado no arquivo climático. Em todos os anos disponíveis, havia mais de 50 % de linhas com registros nos arquivos de A. C. Jobim. O aeroporto Santos Dumont, no entanto, apresentava dados acima de 50 % das horas do ano somente de 1990 a 1997, com uma média de

90 % de linhas com algum dado preenchido. Os anos de 1982 a 1989 seriam inválidos então, com apenas 25 % de linhas com registros.

Nos arquivos de Manaus, os arquivos climáticos das estações de Eduardo Gomes e de Ponta Pelada apresentavam uma média de 98 % e 93 % de linhas com registros. Todos seriam válidos, a princípio.

Em Florianópolis, além dos arquivos de Hercílio Luz, provenientes da base de dados do National Climatic Data Center, os arquivos do LABSOLAR e Itacorubi, foram analisados. Os arquivos do LABSOLAR continham dados de seis fatores climáticos (TBS, UR, pressão, radiação global, radiação direta e radiação difusa) separados em 1 arquivo por mês, 1 fator climático por arquivo, o que exigiu reunir dados de 72 arquivos em 1 para a montagem de cada ano, totalizando 576 arquivos processados. Os dados horários de temperatura, umidade e radiação global do CLIMERH, no bairro Itacorubi, estavam agrupados numa mesma planilha, porém em formato distinto ao dos arquivos climáticos do National Climatic Center. A velocidade de vento, direção de vento e pressão estavam em arquivos à parte, registrados somente em 3 horas por dia: às 9 h, 15 h e 21 h.

Os arquivos climáticos válidos de Hercílio Luz de 1990 a 1997, apresentaram uma média de 93% das 8760 linhas de um arquivo completo. A média de linhas existentes nos arquivos inválidos, de 1982 a 1989, era de 25 %. O LABSOLAR e o Itacorubi, provenientes de outras fontes, apresentavam altas médias de dados registrados nos arquivos climáticos. Excluindo os anos de 1990, 1991 e 1998 do LABSOLAR e o ano de 1995 do Itacorubi, todos incompletos, as médias de dados existentes destes arquivos foram respectivamente 87 % e 99 %.

As porcentagens acima de 100 % ocorrem devido a mais de uma medição realizada no intervalo de uma hora. Os dados foram registrados na fração de hora correspondente, podendo então resultar em mais de 8760 linhas.

Esta análise inicial indicou que, da base do National Climatic Data Center, nos anos de 1990 a 1997 no Rio de Janeiro, de 1982 a 1997 em Manaus e de 1990 a 1997 no aeroporto Hercílio Luz em Florianópolis, um número satisfatório de medições foram realizados e registrados nos arquivos climáticos. No LABSOLAR, os anos com arquivos válidos para simulação foram de 1992 a 1997 e no Itacorubi, de 1996 a 1998.

Uma análise visual indicou que a nebulosidade, um dos fatores climáticos de interesse para compilar os arquivos do DOE 2.1-E, apresentava grande escassez de dados em alguns arquivos.

Esta foi então a primeira variável cuja porcentagem de dados foi analisada para selecionar os anos a ser compilados.

TABELA 02 - Porcentagem de horas com dados registrados nos arquivos originais do National Climatic Data Center, EUA.

ANO	RIO DE JANEIRO		MANAUS		FLORIANÓPOLIS		
	A. C. JOBIM	SANTOS DUMONT	EDUARDO GOMES	PONTA PELADA	HERCÍLIO LUZ	LABSOLAR	ITACORUBI
82	94	19	95	83	26		
83	99	16	95	94	23		
84	101	25	89	97	28		
85	100	24	94	96	27		
86	99	29	98	96	31		
87	97	28	100	94	31		
88	100	28	103	98	31		
89	101	27	104	100	5		
90	100	85	101	97	90	94 ¹	
91	100	97	101	96	97	89 ²	
92	90	84	100	86	87	82	
93	100	95	104	96	96	84	
94	99	97	102	96	96	85	
95	100	97	99	95	98	92	43
96	100	92	99	93	99	90	99
97	92	76	92	72	79	86	99
98						31	99
Média	98	57	98	93	59	79	86
Média de 82 a 89		25			25		
Média de 89 a 97		90			93		

¹ Porcentagem referente à radiação solar global, direta e difusa somente. Os demais fatores climáticos, TBS, UR e pressão passaram a ser medidos somente após 1992.

² Idem.

A tabela 03 discrimina a porcentagem de horas com registros de nebulosidade medidas nos aeroportos do Rio de Janeiro. No Aeroporto de Santos Dumont, de 1982 a 1989, a porcentagem de horas com registro de nebulosidade é baixa. Entretanto, não há registros de nebulosidade de 1990 a 1995, e poucos em 1996 e 1997. No Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, não há registros de nebulosidade em nenhum ano. A ausência de registros de nebulosidade inviabilizaria as simulações no Rio de Janeiro visto que não há como calcular a radiação solar sem a nebulosidade.

TABELA 03 - Porcentagem média de horas com observações de nebulosidade nas estações do Rio de Janeiro.

ANO	SANTOS DUMONT	A. C. JOBIM
82	18	0
83	15	0
84	23	0
85	23	0
86	28	0
87	27	0
88	27	0
89	26	0
90	0	0
91	0	0
92	0	0
93	0	0
94	0	0
95	0	0
96	8	0
97	18	0
Média	13	0
Média de 82 a 89	23	0
Média de 90 a 97	3	0

Uma análise visual da nebulosidade mostrou, entretanto, que os dados registrados em Santos Dumont eram bem distribuídos ao longo do ano, geralmente com lacunas de duas horas consecutivas. Seria possível então estimar a nebulosidade em um intervalo de duas horas, interpolando as horas cujos dados são inexistentes. Desta forma, seria possível simular o consumo com os arquivos climáticos de Santos Dumont de 1982 a 1989, o que não o seria com os arquivos de 1990 a 1997 ainda que estes últimos apresentassem uma maior porcentagem de horas registradas (tabela 02).

Para suprir a ausência de dados de nebulosidade em A. C. Jobim, foram observadas as condições topográficas, a localização e a distância entre os aeroportos: localizam-se sobre a Baía da Guanabara, sem barreiras topográficas ou de edifícios, aproximadamente a 20 km de distância (figura 09). Assim, como feito por HASSID et al (2000) em Atenas, foi possível assumir as mesmas condições de radiação solar para os dois aeroportos, ou seja, a nebulosidade registrada em Santos Dumont foi adotada para A. C. Jobim.

Sendo então os arquivos de 1982 a 1989 os arquivos climáticos considerados válidos para a simulação, foram selecionados os três últimos anos da série: 1987, 1988 e 1989. A tabela 04 apresenta a porcentagem de dados registrados dos demais fatores dos três anos utilizados na simulação. A. C. Jobim apresenta altas porcentagens de dados existentes, ao contrário de Santos Dumont, cuja porcentagem de dados é menor que 30%. Não foi registrada a pressão em nenhum dos arquivos do Rio de Janeiro.

TABELA 04 - Porcentagens de dados horários dos fatores climáticos dos arquivos do Rio de Janeiro.

	A. C. JOBIM			SANTOS DUMONT		
	87	88	89	87	88	89
Direção de Vento	94	96	97	28	28	27
Velocidade de Vento	94	96	97	28	28	27
TBS	93	96	97	28	28	27
Td	93	96	97	27	28	27
Pressão	0	0	0	0	0	0

Em Manaus, a porcentagem de horas com dados nos arquivos climáticos foi alta. Entretanto, como no Rio de Janeiro, não existem observações de nebulosidade nos dois aeroportos. Até

1989, as observações de nebulosidade ocorriam nos dois aeroportos, porém com poucos registros no Aeroporto de Ponta Pelada. A partir de 1990, as observações de nebulosidade concentraram-se somente neste último aeroporto. A tabela 05 discrimina a disponibilidade de dados de nebulosidade nas duas estações.

TABELA 05 - Porcentagem de dados existentes de nebulosidade em Manaus segundo o ano e estação.

Ano	PONTA PELADA	EDUARDO GOMES
82	8	69
83	12	54
84	21	73
85	16	68
86	13	69
87	19	16
88	27	7
89	45	15
90	70	0
91	67	0
92	59	0
93	38	0
94	5	0
95	0	0
96	21	0
97	35	0

Como há registros de nebulosidade no Aeroporto de Ponta Pelada em todos os anos, mesmo que poucos, e registros no Aeroporto Internacional Eduardo Gomes até 1989, procurou-se estabelecer uma correlação entre os aeroportos, selecionando os dados existentes nas mesmas horas de cada dois arquivos. Não foi encontrada correlação alguma, sendo necessário então, como no caso do Rio de Janeiro, adotar a mesma nebulosidade para ambas as estações após verificada a distância entre os aeroportos e analisada as possíveis barreiras topográficas. Assim, os três anos mais recentes com dados de nebulosidade disponíveis foram selecionados para a simulação. A tabela

06 apresenta a porcentagem de registros dos outros fatores climáticos existentes nos arquivos dos anos selecionados: 1990, 1991 e 1992. Em Eduardo Gomes, a porcentagem de dados existentes foi equivalente para todos os fatores climáticos, exceto pressão, que não foi medida. Em Ponta Pelada, o ano de 1991 apresentou a menor porcentagem de dados existentes, sendo que a pressão foi o fator que também apresentou baixa porcentagem de dados registrados nos arquivos climáticos, não ultrapassando 24%.

TABELA 06 - Porcentagem de dados existentes por fator climático nos arquivos de Manaus.

	EDUARDO GOMES			PONTA PELADA		
	90	91	92	90	91	92
Direção de Vento	97	96	94	94	83	94
Velocidade de Vento	97	96	94	94	83	94
TBS	97	96	94	95	84	94
Td	97	96	93	94	83	93
Pressão	0	0	0	24	21	24

Em Florianópolis, a porcentagem média de dados existentes nos arquivos climáticos do Aeroporto Internacional Hercílio Luz até 1989 era baixa, com média de 25%, o que já excluiu os anos de 1982 a 1989. De 1989 a 1997, a porcentagem média foi de 93%. No LABSOLAR, o ano de 1998 estava incompleto, assim como o ano de 1995 na estação do CLIMERH, no Itacorubi. Restavam apenas dois anos para simulação, 1996 e 1997. Para definir os anos a simular, entretanto, analisou-se a disponibilidade de dados de nebulosidade ou radiação, como feito no Rio de Janeiro e Manaus.

Ao contrário do Rio de Janeiro e Manaus, a porcentagem de horas com registros de nebulosidade em Hercílio Luz e de radiação global no LABSOLAR e no Itacorubi não foram suficientes para selecionar os arquivos passíveis de tratamento para posterior compilação. A tabela 07 apresenta as porcentagens de horas com registros de nebulosidade nos arquivos climáticos de Hercílio Luz e das porcentagens de horas com registros de radiação nos arquivos climáticos do LABSOLAR e do Itacorubi. Em Hercílio Luz, a porcentagem de horas com registros de nebulosidade varia de 24% a 31%, exceto em 1989. No LABSOLAR, dos arquivos disponíveis de 1990 a 1998, a média de dados com radiação global é alta, exceto em 1998, quando foram disponibilizados

registros somente até abril, o que invalidou o ano. No Itacorubi, a porcentagem de horas com dados medidos de radiação solar global de 1996 a 1998 foi alta, com média de 97%.

TABELA 07 - Porcentagem de horas com registros de nebulosidade nos arquivos climáticos de Hercílio Luz e de radiação global nos arquivos climáticos do LABSOLAR e da estação do CLIMERH no Itacorubi.

ANO	HERCÍLIO LUZ	LABSOLAR	ITACORUBI
82	24		
83	20		
84	25		
85	24		
86	29		
87	30		
88	31		
89	5		
90	31	94	
91	30	89	
92	28	82	
93	30	93	
94	30	93	
95	31	92	43
96	31	90	96
97	26	86	97
98		31	98

Para que as simulações não fossem realizadas com dois anos somente, optou-se por simular os anos de 1995 a 1997. O ano de 1995 do Itacorubi não foi selecionado por não ser possível interpolar os dados em branco já que estava incompleto, iniciando somente em final de junho. Restaram então os anos de 1995 a 1997 para Hercílio Luz e o LABSOLAR e 1996 e 1997 para o Itacorubi.

A tabela 08 apresenta a porcentagem de dados existentes por fator climático para cada um destes arquivos climáticos selecionados. A porcentagem de registros dos fatores climáticos nos arquivos de Hercílio Luz foi alta em todos os anos. No LABSOLAR, não havia dados medidos de vento, assim como a pressão em 1996. No Itacorubi, a porcentagem de registros de direção e velocidade do vento e de pressão foi baixa, 12%, devido ao número de registros em somente 3 horas ao dia. Também não foi medida a radiação solar difusa no Itacorubi e, por consequência, a radiação solar direta.

TABELA 08 - Porcentagem de dados existentes por fator climático nos arquivos de Florianópolis dos anos de 1995 a 1997.

	HERCÍLIO LUZ			LABSOLAR			ITACORUBI	
	95	96	97	95	96	97	96	97
Direção de Vento	97	97	78				12	12
Velocidade de Vento	97	97	98				12	12
TBS	98	91	79	85	87	73	98	98
Td	98	91	79	62	68	68	98	98
Pressão	73	85	79	64	0	69	12	12
Radiação difusa				92	90	86		
Radiação direta				92	90	86		

É preciso dizer ainda que a estação do bairro Itacorubi, estação automática experimental do CLIMERH, apresentava alguns dados de radiação global excessivamente altos, especialmente nas últimas horas de sol do dia. Nos anos de 1996, 1997 e 1998, a radiação solar máxima encontrada após as 18 h foi 521 W/m^2 , 932 W/m^2 e 325 W/m^2 , respectivamente, enquanto no LABSOLAR, a máxima radiação medida após as 18 h foi 104 W/m^2 em 1996 e 125 W/m^2 em 1997. Foi também notada a existência de baixos níveis de radiação global após o pôr do sol nos arquivos do CLIMERH, quando estes níveis deveriam ser iguais a zero.

4.1.2. PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS

4.1.2.1. DADOS AUSENTES

Além das horas não medidas, presentes nos arquivos das diversas fontes, os arquivos originados da base de dados do National Climatic Data Center também apresentavam medições extras nas frações das horas, como às 15:35, ou 9:10 e os arquivos do Itacorubi apresentavam registros repetidos.

Devido ao grande número de dados em cada arquivo, foi desenvolvido um programa para corrigir estas imperfeições. O procedimento consistiu em apagar as frações de horas, retirar registros em anos bissextos, inserir linhas vazias para as horas e dias não existentes e interpolar os dados quando até cinco horas consecutivas estivessem ausentes.

O programa interpolou até cinco horas de lacunas em branco. Intervalos de mais de cinco horas com dados ausentes exigiram uma análise dos dados de, no mínimo, três dias antes e três dias depois, para observar a tendência do fator climático durante o período não medido. De acordo com esta tendência, foi possível definir de qual dia seriam copiados os dados inexistentes. Estes dados eram copiados das horas correspondentes às horas que não continham dados.

Como, em geral, a ausência de dados consecutivos ocorria em diversos fatores ao mesmo tempo, a temperatura de bulbo seco foi considerada o fator de maior peso para análise (HENSEN, 1999), seguida da temperatura de bulbo úmido, em razão de suas influências nos sistemas de condicionamento de ar. Assim, em geral, analisou-se a tendência da temperatura de bulbo seco para preencher as lacunas em branco dos dias sem dados registrados.

4.1.2.2. UMIDADE RELATIVA

A compilação do arquivo climático para o formato *.bin do DOE 2.1-E exigiu ainda que a temperatura de ponto de orvalho, T_d fosse convertida em temperatura de bulbo úmido. Isto foi realizado através de planilha eletrônica desenvolvida por SILVA (www.labeee.ufsc.br) baseado na ASHRAE (2001) que, adaptada para os objetivos desta pesquisa, converteu a T_d em umidade relativa nas 8760 horas do ano. O programa Psychros desenvolvido pelo LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, por sua vez, converteu a UR em TBU criando um arquivo de formato *.try³ compatível com o programa

³ Não se trata de um ano climático de referência, TRY, mas de um arquivo de extensão try usado no Analysis Bio, programa de análise das condições de conforto em carta psicrométrica (Goulart, 1997).

Analysis Bio (www.labeee.ufsc.br). Os arquivos do LABSOLAR e do Itacorubi foram adquiridos com dados de UR, razão pela qual não passaram pela primeira etapa do processo.

4.1.2.3. PRESSÃO

Os arquivos climáticos provenientes de A. C. Jobim e Santos Dumont no Rio de Janeiro, Eduardo Gomes em Manaus e do LABSOLAR em 1996 em Florianópolis não continham registros de pressão. Observando a sua variação nos demais arquivos climáticos que continham a pressão registrada, percebeu-se que sua variação é pequena. Foi então adotada a pressão constante nas 8760 horas do ano, sendo consultada a altitude da estação climática para estimar a pressão nesta localidade através da equação 01 da ASHRAE (2001). Já a pressão no Itacorubi foi interpolada por apresentar três medições diárias, sendo que, neste caso, não foi adotado o limite de cinco horas em branco para interpolação.

$$p = 101,325 (1 - 2,25577 \times 10^{-5} Z)^{5,2559} \quad \text{(EQUAÇÃO 01)}$$

Sendo,

p – pressão barométrica, em kPa

Z – altitude, em m

4.1.2.4. VENTO

Quando PEDRINI (1997) simulou dois arquivos, um com dados de vento registrados e outro, idêntico, porém com dados de vento iguais a zero para todo o ano, mostrou que a ausência de velocidades de vento nas simulações do DOE 2.1-E em Florianópolis alterou o consumo mensal em 6%. Como os arquivos do LABSOLAR não possuem dados horários de vento, foram adotadas as velocidades e direções de vento horárias do Aeroporto Hercílio Luz para os correspondentes anos dos arquivos climáticos do LABSOLAR.

Foi citado anteriormente que os arquivos climáticos do Itacorubi possuíam registros de vento em somente três horas por dia. Após verificar a inexistência de uma correlação entre as velocidades de vento existentes do Itacorubi e as velocidades de vento de Hercílio Luz, foi necessário avaliar as diferenças de consumo ocorridas entre os protótipos simulados com os de dois tipos de arquivos: um com dados originais de vento, direção e velocidade, medidos somente em 3 horas do dia e outro com dados de vento medidos em outro local, no Aeroporto Internacional Hercílio

Luz, nomeados respectivamente de IT_0 e IT_{HL} . Estes foram compilados e simulados no DOE 2.1-E.

A tabela 09 apresenta os consumos e as diferenças de consumo entre simulações com os arquivos climáticos do Itacorubi. Os protótipos simulados serão apresentados no item 4.2. As diferenças no consumo entre os dois arquivos com dados distintos de vento variaram de 0,8% a 4,1%. Em 1996, os consumos foram maiores nos protótipos simulados com o IT_0 , onde em 12,5% das horas do ano somente a velocidade do vento não era zero, enquanto em 1997, o consumo foi ligeiramente menor nos protótipos simulados com este arquivo.

TABELA 09 - Consumos e porcentagens das diferenças entre consumos dos protótipos simulados com os dois arquivos climáticos do Itacorubi, com dados variados de vento.

	Sensibilidade ao ambiente externo	96			97		
		IT_{HL}	IT_0	Dif	IT_{HL}	IT_0	Dif
49	Menos sensível	66,1	68,9	4.1	66,1	65,6	-0.8
79	Mais sensível	154,4	158,3	2.5	148,3	146,1	-1.5
	Unidade	kWh/m ²	kWh/m ²	%	kWh/m ²	kWh/m ²	%

A tabela 10 apresenta as porcentagens das diferenças de consumo entre protótipos e as porcentagens das diferenças de consumo entre anos nos arquivos do Itacorubi com dados de vento registrados e sem registros de vento. As diferenças entre os protótipos simulados com os arquivos IT_{HL} e IT_0 , quando existem, são pequenas, de 1,0%, ou seja, arquivos com dados distintos de vento, neste caso, alteraram as diferenças entre os protótipos em 0,5% em média. A diferença de consumo entre anos, entretanto, alterou-se significativamente: com diferenças médias entre anos de 2,0% nas simulações com IT_{HL} e 6,7% com IT_0 , as diferenças de consumo entre anos entre os arquivos resultou em 2,5% no protótipo menos sensível e 6,3% no protótipo mais sensível às variações do ambiente externo.

Se PEDRINI (1997) encontrou uma diferença de 6% no consumo de um edifício simulado em Florianópolis com dois arquivos climáticos, no caso dos arquivos climáticos IT_{HL} e IT_0 , as diferenças de consumo não ultrapassaram 4,1% entre um arquivo que possui dados de velocidade de vento completos e outro que possui velocidades do vento registradas em somente 12% das horas do ano, o que condiz com a porcentagem de diferença de consumo encontrada por PEDRINI (1997). As diferenças de consumo entre os arquivos também podem ser pequenas,

como ocorrido em 1997, cuja diferença de consumo no protótipo 49 foi de 0,8%. A diferença de consumo entre anos mostrou ser extremamente significativa, variando de zero em IT_{HL} , sem diferenças de consumo entre anos, a 8,4% em IT_0 . Estas diferenças de consumo entre anos indicam a aleatoriedade das velocidades de vento de um ano a outro, assim como sua parcela de intervenção no consumo de uma edificação.

TABELA 10 - Porcentagens das diferenças de consumo entre protótipos e porcentagens das diferenças de consumo entre anos nos arquivos do Itacorubi com dados variados de vento.

96		97		Diferenças
IT_{HL}	IT_0	IT_{HL}	IT_0	$IT_{HL} \times IT_0$
57 %	56 %	55 %	55 %	0,5%
		97-96		
Protótipo		IT_{HL}	IT_0	
49		0,0	-5,1 %	-2,5 %
79		-4,1 %	-8,4 %	-6,2 %
Média		-2,0%	-6,7%	

Concluiu-se então que a diferença máxima de 4,1% era significativa e o consumo seria sobreestimado caso os arquivos do Itacorubi fossem simulados com os arquivos IT_0 . Assim, foram utilizados os arquivos IT_{HL} de 1996 e 1997 nas simulações, mesmo que seus dados horários de vento tenham sido medidos em Hercílio Luz. De fato, todos os arquivos climáticos de Florianópolis foram simulados com os dados de vento de Hercílio Luz por não haver dados horários medidos em outras estações.

4.1.2.5. RADIAÇÃO GLOBAL

O LABSOLAR e o Itacorubi foram as únicas estações a medir a radiação global. Entretanto, alguns ajustes ainda foram necessários nos arquivos do Itacorubi. Como havia níveis de radiação global registrados após o pôr do sol, mesmo que muito baixos, e três casos de altos níveis de radiação global após as 18 h, a radiação global foi corrigida quando maior que a radiação global

extraterrestre. Assim, os dados que ultrapassaram a radiação global extraterrestre foram igualados a esta.

Nos demais arquivos climáticos, cedidos pelo National Climatic Data Center, havia apenas dados horários de nebulosidade disponíveis. Apesar do DOE 2.1-E estimar a radiação solar utilizando a nebulosidade, KRUGER & LAMBERTS (1999) mostraram que seus algoritmos não descrevem satisfatoriamente as condições brasileiras de radiação solar. Foi então usada uma equação (equação 02) desenvolvida para Florianópolis por PITTA (2001) para estimar a radiação global do Aeroporto Hercílio Luz. Os coeficientes mensais da equação de PITTA (2001) estão relacionados na tabela 11, enquanto sua equação é descrita a seguir:

$$H/H_0 = a (N^2/10) + b (N/10) + c \quad \text{(EQUAÇÃO 02)}$$

Sendo,

H – radiação global diária

H₀ – radiação global extraterrestre diária

N – nebulosidade média diária (0 – 10, céu claro a céu nublado)

a, b, c – coeficientes de regressão (tabela 11)

TABELA 11 - Coeficientes de regressão da equação de PITTA (2001) para Florianópolis.

Coeficientes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
a	-1.01	-0.85	-0.50	-0.39	-0.26	-0.46	-0.64	-0.66	-0.58	-0.77	-0.60	-0.40
b	0.78	0.62	0.10	-0.04	-0.08	0.03	0.14	0.23	0.15	0.29	0.20	-0.10
c	0.48	0.52	0.67	0.71	0.69	0.69	0.70	0.68	0.68	0.70	0.68	0.75

A equação foi desenvolvida por PITTA (2001) para cálculo de radiação global diária. Para verificar sua validade para estimar a radiação global horária, a nebulosidade horária foi convertida em médias diárias para calcular a radiação global diária. Após encontrada a radiação global diária, esta foi aplicada nos algoritmos de Collares-Pereira e Rabl (equações 03, 04 e 05) (DUFFIE & BECKMAN, 1991) para conversão da radiação global diária em radiação global horária. Este foi denominado método 01 (figura 18).

$$r_t = (\pi/24)(a + b \cos \omega) [(\cos \omega - \cos \omega_s)/(\sin \omega_s - \pi \omega_s \cos \omega_s/180)] \quad (\text{EQUAÇÃO 03})$$

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin (\omega_s - 60) \quad (\text{EQUAÇÃO 04})$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (\text{EQUAÇÃO 05})$$

Sendo,

$r_t = I/H$, razão da radiação global horária pela radiação global diária

ω – ângulo horário

ω_s – ângulo do pôr do sol

I – radiação global horária

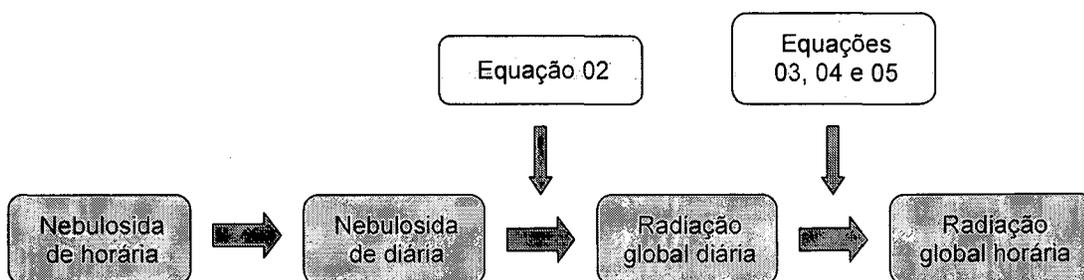


FIGURA 18 - Método 01 de estimativa da radiação global horária.

O método 02 consiste em aplicação direta da nebulosidade na equação 02 (figura 19), sendo que a variação da radiação global horária é determinada pela radiação extraterrestre horária. A figura 20 mostra a frequência de diferenças entre o método 01 e método 02. Apesar da maior diferença ser 630 W/m^2 , não há diferenças significativas acima de 250 W/m^2 . Em média, as diferenças entre o método 01 e 02 são de 12%, com desvio padrão de 8,5%, para 4737 horas de cada ano - número de horas de sol - com um total de 14211 amostras. Assim, foi confirmada a validade da equação 02 para estimar diretamente a radiação global horária, sendo então descrita como:

$$I/I_0 = a (N_H^2/10) + b (N_H/10) + c \quad (\text{EQUAÇÃO 06})$$

Sendo,

I – radiação global horária

I_0 – radiação global extraterrestre horária

N_H – nebulosidade horária (0 – 10, céu claro a céu nublado)

a, b, c – coeficientes de regressão (tabela 11)



FIGURA 19 - Método 02 para estimativa da radiação global horária.

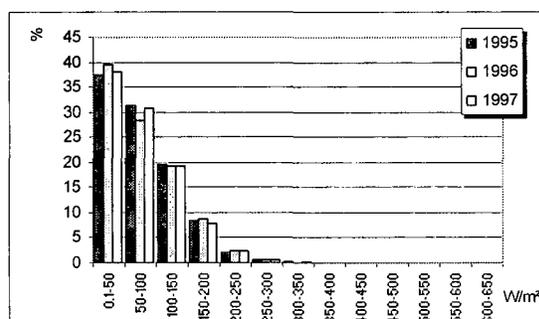


FIGURA 20 - Frequência de ocorrência de diferenças entre método 01 e método 02.

Para estimar a radiação global nos arquivos do Rio de Janeiro e de Manaus foi necessário ajustar os coeficientes da equação 06. O procedimento consistiu em usar a radiação média mensal do Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE e PEREIRA, 1998, www.labsolar.ufsc.br), ajustando interativamente o coeficiente c. A tabela 12 apresenta os coeficientes c encontrados para o Rio de Janeiro e Manaus. A figura 21 mostra a correlação encontrada com as médias mensais da radiação global estimada para o Rio de Janeiro e a radiação do Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE e PEREIRA, 1998). Houve uma forte correlação entre a radiação estimada pela equação 06 e as médias do Atlas. O menor coeficiente de determinação encontrado foi 0,93 em 1988. A figura 22 mostra esta mesma correlação com as médias mensais da radiação

global estimada para Manaus. O menor coeficiente de determinação foi mais baixo do que no Rio de Janeiro, 0,77 em 1992. Ainda assim, foi considerado satisfatório já que nos anos de 1990 e 1991 os coeficientes de determinação foram mais altos: 0,91 e 0,86.

Apesar das estimativas da tabela 12 terem sido consideradas mais confiáveis do que as estimativas do DOE 2.1-E, seriam ainda necessários dados medidos de radiação solar para confirmar o método, o que não foi possível obter.

TABELA 12 - Coeficiente c da equação 06 ajustado para as cidades do Rio de Janeiro e Manaus.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
RJ	0,53	0,63	0,59	0,57	0,54	0,58	0,48	0,60	0,51	0,52	0,52	0,59
Manaus	0,36	0,39	0,54	0,57	0,56	0,57	0,63	0,58	0,66	0,54	0,50	0,62

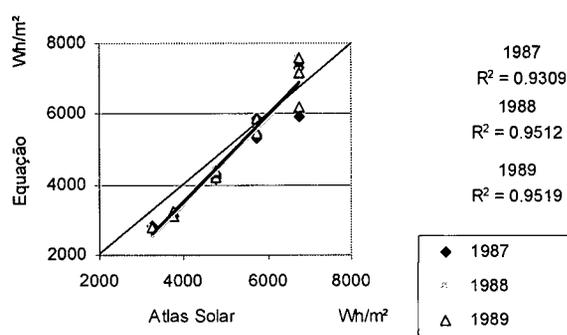


FIGURA 21 - Gráfico de dispersão entre as médias mensais da radiação global calculada e do Atlas Solar Brasileiro do Rio de Janeiro.

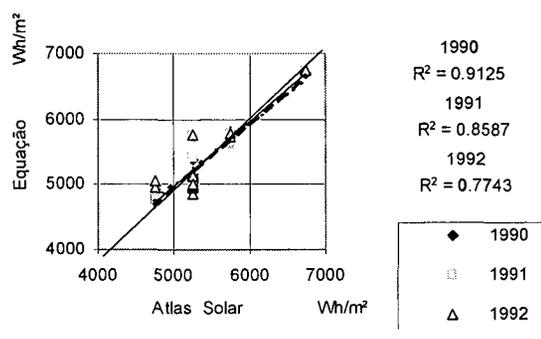


FIGURA 22 - Gráfico de dispersão entre as médias mensais da radiação global calculada e do Atlas Solar Brasileiro de Manaus.

4.1.2.6. RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA

A radiação difusa e radiação direta horárias foram estimadas em todos os arquivos climáticos, exceto os do LABSOLAR, que apresentava dados horários medidos. Foi usado o algoritmo de Erbs (DUFFIE e BECKMAN, 1991) (equação 07) para estimar a fração de radiação difusa presente no plano horizontal.

$$I_d/I = \begin{cases} 1,0 - 0,09 k_t & \text{Se } k_t \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604 k_t + 4,388 k_t^2 - 16,638 k_t^3 + 12,336 k_t^4 & \text{Se } 0,22 < k_t < 0,80 \\ 0,165 & \text{Se } k_t > 0,80 \end{cases} \quad (\text{EQUAÇÃO 07})$$

Sendo,

I_d = radiação difusa horária,

I = radiação global horária,

$k_t = I/I_0$, índice de nebulosidade horária do céu.

Tendo a radiação difusa, a radiação direta horária é a diferença da radiação global pela radiação difusa.

4.1.3. FORMATO DOS ARQUIVOS PARA COMPILAÇÃO NO DOE 2.1-E

Por fim, os arquivos climáticos deveriam possuir as 8760 horas do dia completas, com dados originais ou copiados de outras localidades da mesma cidade, como mostra a tabela 13. A direção e a velocidade do vento no LABSOLAR e no Itacorubi foram copiadas de Hercílio Luz. Em A. C. Jobim, foi adotada a nebulosidade observada de Santos Dumont, assim como em Eduardo Gomes adotou-se a nebulosidade observada de Ponta Pelada. As temperaturas de bulbo seco foram todas medidas, como foram também as temperaturas de ponto de orvalho nos arquivos do Rio de Janeiro, Manaus e de Hercílio Luz em Florianópolis, a partir das quais estimou-se a umidade relativa com fórmulas da ASHRAE para se obter a TBU através de cálculo no Psychros. A radiação global foi medida somente no LABSOLAR e no Itacorubi, assim como a radiação direta e a radiação difusa no LABSOLAR. Os demais arquivos tiveram dados de radiação estimados a partir da nebulosidade.

TABELA 13 - Origem dos dados de cada localidade compilados para o formato *.bin.

	Rio de Janeiro, RJ		Manaus, AM		Florianópolis, SC		
	SD	ACJ	PP	EG	HL	LS	It
Dir_{vento}	SD	ACJ	PP	EG	HL	HL	HL
V_{vento}	SD	ACJ	PP	EG	HL	HL	HL
N	SD	SD	PP	PP	HL		
TBS	SD	ACJ	PP	EG	HL	LS	IT
Td	SD	ACJ	PP	EG	HL		
UR	ASHRAE	ASHRAE	ASHRAE	ASHRAE	ASHRAE	LS	IT
Pressão	SD	ACJ	PP	EG	HL	LS	IT
I	Eq. 06	Eq. 06	Eq. 06	Eq. 06	Eq. 06	LS	IT
Id	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	LS	Eq. 07
Ib	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	Eq. 07	LS	Eq. 07
TBU	Psychros	Psychros	Psychros	Psychros	Psychros	Psychros	Psychros

4.2. DEFINIÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Os protótipos de edificações a ser simuladas foram definidos escolhendo duas opções dentre os 512 modelos simulados por SIGNOR (1999) no DOE 2.1-E. Duas edificações foram selecionadas de acordo com sua sensibilidade às condicionantes climáticas: uma pouco sensível às condições externas e outra sensível às condições topoclimáticas externas. A tabela 14 apresenta as características dos dois protótipos selecionados. A A_{cob}/A_{tot} e a A_{fac}/A_{planta} são características que definiram as dimensões dos protótipos. As demais características se alteram de um protótipo para outro em razão da sensibilidade de seu envelope. Além das características da tabela 14, ainda considerou-se U_{par} de 1,923 W/m²K, para a edificação 49, e U_{par} igual a 4,348 W/m²K para a edificação 79.

TABELA 14 - Características de duas edificações simuladas por Signor (1999) para o clima de Florianópolis.

Edifício	A_{cob}/A_{tot}	A_{fac}/A_{planta}	WWR	PF	SC	U_{cob} (W/m ² K)	α_{cob}	α_{par}
49	0,10	0,70	0,2	1,0	0,29	0,952	0,3	0,3
79	0,10	0,70	0,8	0,0	1,0	4,545	0,7	0,7

A partir destes dados, foi modelado um edifício de 1 bloco de planta de 12 x 30 m, 10 pavimentos, altura entre pisos de 3,1 m e maior fachada na orientação N-S (figuras 23 e 24). Duas alternativas foram criadas: protótipo 49, que possui vidro claro SS14, altura do peitoril de 1,2 m e proteção horizontal – *brise* - de 1 m e protótipo 79, que possui vidro claro de 3 mm, altura do peitoril de 0,4 m e nenhum *brise*. Não foi incluído sombreamento externo, sombreamento interno ou forro de retorno do ar condicionado, por não constar nos modelos de SIGNOR (1999). Os materiais das paredes, coberturas e piso foram escolhidos ou ajustados com base nos parâmetros da tabela 14 na biblioteca bras98.lib que contém “elementos e componentes construtivos de uso comum no Brasil, (...) desenvolvido no LabEEE”. (www.labeee.ufsc.br)

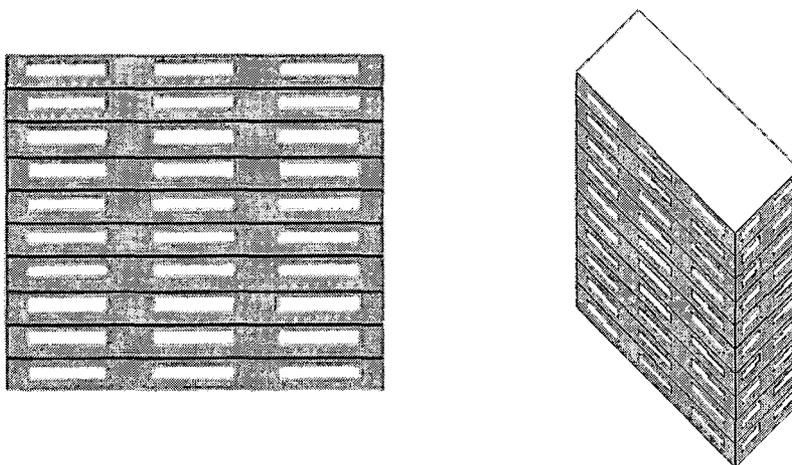


FIGURA 23 - Vista da fachada norte e perspectiva do protótipo 49, menos sensível ao ambiente externo. As proteções solares não estão representadas.

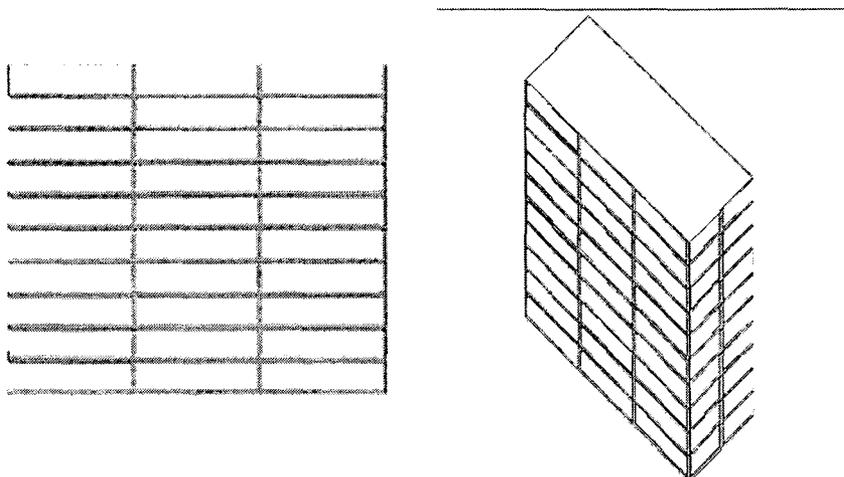


FIGURA 24 - Vista da fachada norte e perspectiva do protótipo 79, mais sensível ao ambiente externo.

4.3. DEMAIS DADOS DE ENTRADA FIXADOS NA SIMULAÇÃO

Os protótipos foram divididos em cinco zonas de 4 m de profundidade, como mostra a figura 25, todas condicionadas. Os ganhos internos foram minimizados para não mascarar as proporções nas diferenças de consumo, com *ILD – internal load density*, densidade de carga interna – de 15 W/m^2 , sendo 10 W/m^2 de iluminação, 5 W/m^2 de equipamentos e sem ocupação. Cada zona possui um sistema independente de HVAC, *packaged terminal air conditioner*, ou seja, com seu próprio termostato e padrão de uso. O padrão de uso do edifício, assim como o de cada sistema de HVAC, é o padrão Office do Visual DOE 2.61, porém com sistemas de aquecimento de água anulados. O aquecimento de água também foi desligado minimizando, próximo de zero, sua capacidade em kW e o editor central do *plant* foi totalmente desligado. Não foi alterado o padrão de uso de feriados para feriados brasileiros.

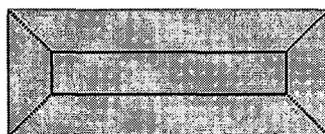


FIGURA 25 - Planta das cinco zonas condicionadas dos protótipos 49 e 79.

4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS

Primeiramente, foram analisados os consumo anuais de cada protótipo, sendo os consumos das localidades da mesma cidade comparados entre si. Foram então identificadas, para cada cidade, as diferenças de consumo entre protótipos, entre localidades e entre os anos simulados.

A variabilidade da ocorrência de dias de pico por zona impediu maiores conclusões acerca do assunto, mas permitiu orientar algumas investigações sobre as condições de insolação nas fachadas e, por conseguinte, orientar as investigações sobre os ganhos térmicos e identificar erros na simulação. Temperaturas internas horárias também tiveram esta função.

Cargas de pico dos protótipos e por componente foram analisados para ser relacionados às condições do ambiente externo, bem como ganhos térmicos horários por zona e por componente: parede, janela (ganhos por condução) e vidro (ganhos solares) mostraram-se os mais relevantes. Não foi necessário discriminar o consumo por uso já que este variou apenas no uso do ar condicionado.

Os gráficos contidos no VisualDOE 2.61 foram usados somente para rápida consulta devido à necessidade de comparar os dados de saída entre si, o que não era possível no VisualDOE 2.61 devido à impossibilidade deste de processar alternativas com diferentes arquivos climáticos. Os dados de saída utilizados foram extraídos dos relatórios padrão do DOE 2.1-E e dos relatórios horários, todos processados em planilhas eletrônicas. Os dados finais analisados estão discriminados na tabela 15.

TABELA 15 - Dados de saída extraídos do DOE 2.1-E e processados para análise.

Dado	Diferenças entre	Abrangência
Consumo anual	Protótipos	
	Sítios ou topoclimas	
	Anos	
Carga de pico anual		Total
		Por componente
		Por zona
Ganhos térmicos horários		Totais
		Por componente
		Por zona

Cabe enfatizar que o interesse neste estudo é identificar as diferenças de consumo, tanto positivas quanto negativas. Desta forma, ao se calcular as médias destas diferenças de consumo, foram utilizados os módulos para evitar que diferenças positivas e negativas viessem a mascarar a grandeza das médias. Entretanto, ao se analisar qual sítio ou ano apresentou maior consumo, as diferenças negativas foram consideradas.

Os dados de entrada analisados foram extraídos tanto dos arquivos climáticos tratados quanto das informações processadas pelo DOE 2.1-E e disponíveis nos relatórios estatísticos do clima. Foram estes:

- Temperatura de bulbo seco
- Graus hora de resfriamento
- Radiação solar global
- Radiação solar direta
- Velocidade do vento
- Umidade relativa

Além dos arquivos climáticos selecionados, foi efetuada uma simulação com o TRY, o ano climático de referência – *test refence year* – de Florianópolis, medido no aeroporto Hercílio Luz em 1963. O TRY não apresenta dados de radiação solar medida ou previamente calculada, mas de nebulosidade. É também o único arquivo climático de Florianópolis em que há dados diferenciados de vento na comparação do consumo entre sítios.

Foram então analisadas as diferenças de ganhos térmicos e de consumo entre o TRY e os sítios, sendo relacionadas às diferenças de graus hora e radiação solar global entre estes. Esta análise do consumo através do TRY não foi efetuada em Manaus e no Rio de Janeiro devido ao menor número de arquivos climáticos disponíveis medidos em diferentes estações e às limitações na estimativa do consumo, já que os dados de nebulosidade eram iguais.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos fatores climáticos se fez necessária para entender o processo de trocas térmicas que ativa o funcionamento do ar condicionado provocando as variações no consumo de energia elétrica dos protótipos. Foram analisados os fatores climáticos: TBS, UR, radiação global, radiação direta e velocidade de vento por considerar que estes fatores são os que mais interferem no consumo de energia do ar condicionado. Em seguida, analisou-se o consumo para então identificar as relações e diferenças entre o topo-clima e o consumo. Esta análise foi realizada para as cidades do Rio de Janeiro e Manaus. Para Florianópolis, foram analisados ainda as cargas de pico e os ganhos térmicos da edificação, relacionando-os tanto aos fatores climáticos quanto ao consumo.

5.1. RIO DE JANEIRO

5.1.1. ANÁLISE DO CLIMA

No Rio de Janeiro, foram analisadas a temperatura de bulbo seco e a velocidade do vento já que dados idênticos de nebulosidade foram adotados para as duas estações.

A figura 26 apresenta a correlação da TBS horária em 1987 entre os aeroportos de A. C. Jobim e Santos Dumont. As temperaturas abaixo de 25° C em A. C. Jobim tendem a ser mais altas em Santos Dumont enquanto as temperaturas que, em A. C. Jobim são acima de 25° C, são mais altas que em Santos Dumont. O coeficiente de determinação é de 0,82, e a linha de tendência sobre a dispersão de pontos indica a existência de temperaturas mais altas em A. C. Jobim. A figura 27 apresenta a mesma correlação no ano de 1988. O coeficiente de determinação foi 0,80 e, novamente, as temperaturas de A. C. Jobim, abaixo do limite de 24° C, tendem a ser mais altas em Santos Dumont e, acima deste limite, tendem a ser mais altas em A. C. Jobim. A figura 28, que apresenta a correlação entre as temperaturas de Santos Dumont e A. C. Jobim, mostra também que as temperaturas abaixo de 25° C são em geral mais altas em Santos Dumont e acima de 25° C mais altas em A. C. Jobim. Seu coeficiente de determinação é 0,80, o que indica uma forte correlação entre as temperaturas dos dois aeroportos. Em geral, as três figuras, 26, 27 e 28 indicam que as temperaturas acima de um certo limite, 24° C ou 25° C, são mais altas em A. C. Jobim enquanto, abaixo deste limite, costumam ser mais altas em Santos Dumont. Pode-se então considerar que a temperatura de 25° C é a temperatura de onde a reta muda a indicação da predominância das mais altas temperaturas em A. C. Jobim ou Santos Dumont.

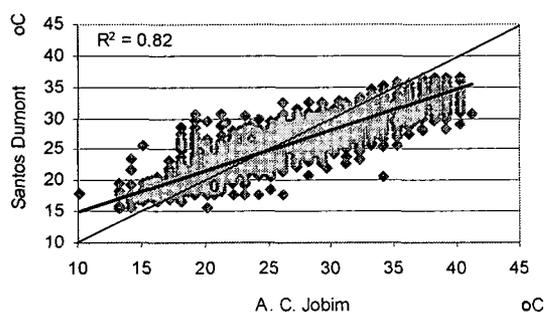


FIGURA 26 - Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1987.

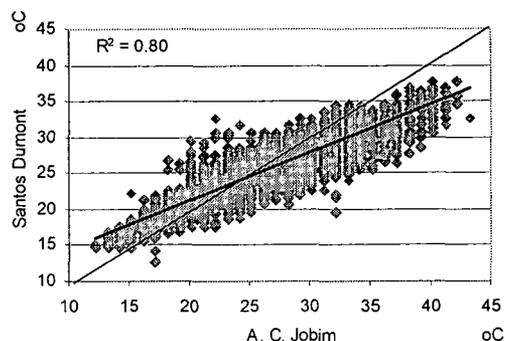


FIGURA 27 - Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1988.

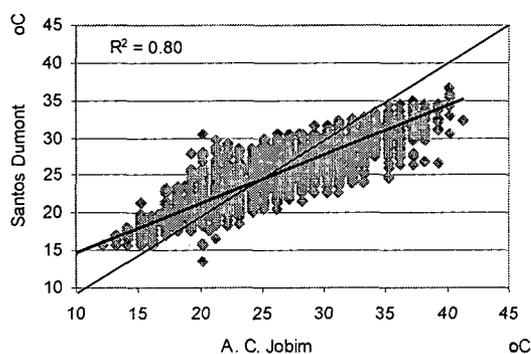


FIGURA 28 - Correlação entre as temperaturas de bulbo seco no Rio de Janeiro em 1989.

As altas temperaturas em A. C. Jobim são confirmadas ao analisar os graus hora para resfriamento, calculados para a temperatura base de $26,7^{\circ}\text{C}$ a partir dos dados horários de TBS de cada arquivo climático. A figura 29 apresenta os graus hora dos aeroportos, sendo que no Aeroporto Antônio Carlos Jobim estes são expressivamente maiores do que os do Aeroporto Santos Dumont. De 1987 a 1989, os graus hora reduzem gradativamente, o que indica uma redução nas temperaturas acima de $26,7^{\circ}\text{C}$ com o passar destes três anos. A figura 30 mostra as porcentagens graus hora em relação ao valor máximo de cada ano, ou seja, A. C. Jobim sempre possui seus graus hora iguais a 100%. Segundo o gráfico, os graus hora em A. C. Jobim são em média 49% mais altos do que em Santos Dumont.

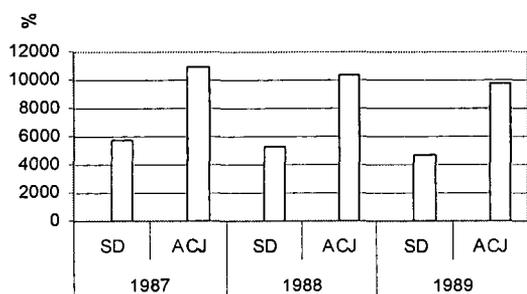


FIGURA 29 - Graus hora para resfriamento no Rio de Janeiro, para TBS base de 26,7° C.

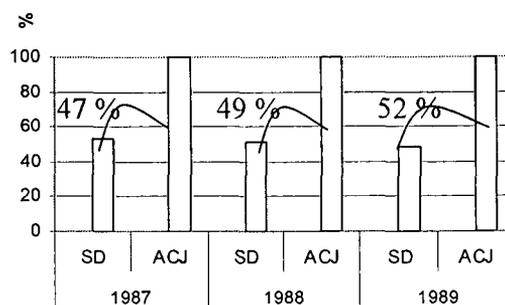


FIGURA 30 - Porcentagem das diferenças de graus hora para resfriamento no Rio de Janeiro, para TBS base de 26,7° C, em relação ao máximo de cada ano.

A frequência das velocidades de vento em 1987 é apresentada na figura 31, onde se percebe que as velocidades de 0,1 m/s a 5 m/s incidem sobre Santos Dumont com maior frequência do que sobre A. C. Jobim, enquanto sobre A. C. Jobim incidem com maior frequência velocidades acima 5 m/s. Entretanto, em 38% das horas do ano de 1987, a calmaria predominou sobre A. C. Jobim, contra 11% em Santos Dumont. Das velocidades de vento existentes, as mais frequentes são de 2 a 3 m/s.

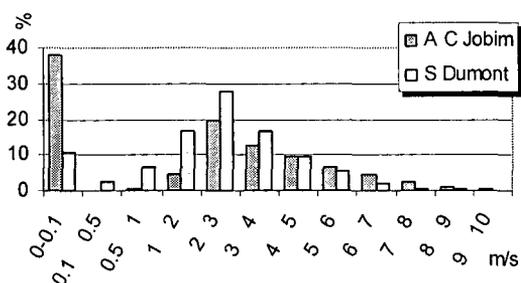


FIGURA 31 - Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1987.

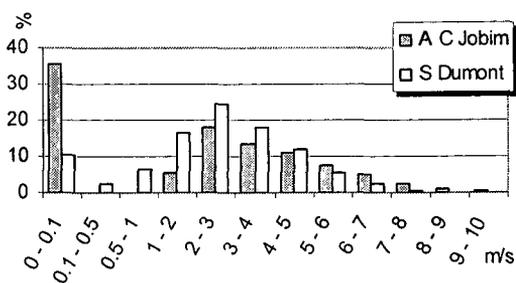


FIGURA 32 - Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1988.

A figura 32 apresenta a frequência das velocidades de vento em 1988, onde em 35% das horas do ano a calmaria predominou sobre A. C. Jobim. Em Santos Dumont, não houve ocorrência de vento em 11% das horas do ano. As velocidades de vento entre 0,1 m/s a 5 m/s ocorreram com

maior frequência sobre Santos Dumont. Velocidades acima de 5 m/s entretanto, incidiram sobre A. C. Jobim com maior frequência. A velocidade de vento que mais incide sobre os dois sítios em 1988 é de 2 m/s a 3 m/s.

A frequência das velocidades de vento em 1989 no Rio de Janeiro é apresentada na figura 33. Com uma porcentagem de 28% de horas de calmaria em A. C. Jobim e 13% de horas de calmaria em Santos Dumont, velocidades de 0,1 m/s a 4 m/s incidem com maior frequência sobre Santos Dumont enquanto velocidades acima de 4 m/s incidem com maior frequência sobre A. C. Jobim. A velocidade de vento com maior número de horas incidente nos dois aeroportos é de 2 m/s a 3 m/s.

Em média, em 34% das horas do ano há calmaria em A. C. Jobim enquanto em 12% das horas do ano há calmaria em Santos Dumont. A tabela 16 apresenta as porcentagens de horas de calmaria por período de ocorrência: madrugada, manhã, almoço, tarde e noite. As horas de calmaria concentram-se no período da madrugada, mas também são significativas durante a manhã, principalmente em A. C. Jobim. O período da tarde é o período de menor número de horas de calmaria, ou seja, de maior ocorrência de ventos, nos dois sítios. Já a velocidade de vento mais frequente dentre todas, nos dois sítios, é de 2 m/s a 3 m/s. A velocidade de 4,5 m/s, em média, é a velocidade limite onde, abaixo desta, há maior incidência de vento em Santos Dumont do que em A. C. Jobim, enquanto as velocidades acima deste limite incidem em mais horas do ano em A. C. Jobim.

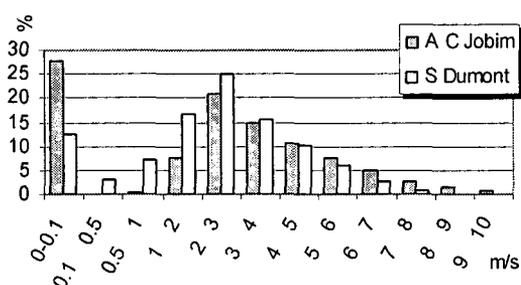


FIGURA 33 - Frequência de ocorrência das velocidades de vento no Rio de Janeiro em 1989.

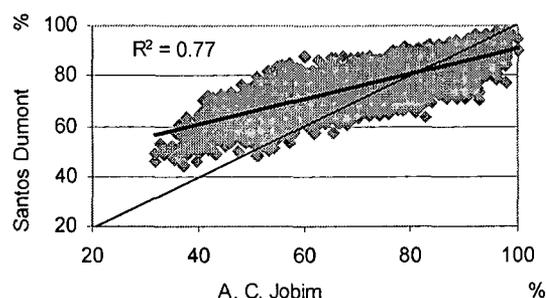


FIGURA 34 - Correlação das médias de 1987 a 1989 da umidade relativa horária entre os aeroportos do Rio de Janeiro.

TABELA 16 – Média das horas de calmaria no Rio de Janeiro por período de ocorrência.

Período	Intervalo de hora	Porcentagem nas 8760 horas do ano		Porcentagem dentre as horas de calmaria somente	
		ACJ	SD	ACJ	SD
Madrugada	0:01 a 8:00	15,4 %	5,9 %	45,8 %	58,1 %
Manhã	8:01 a 12:00	12,0 %	3,4 %	35,7 %	30,5 %
Almoço	12:01 a 14:00	2,5 %	0,5 %	7,1 %	1,2 %
Tarde	14:01 a 18:00	1,7 %	0,9 %	4,9 %	4,7 %
Noite	18:01 a 0:00	2,3 %	1,2 %	6,5 %	5,5 %
Total		34 %	12 %	100 %	100 %

Na figura 34, onde se apresentam as médias da umidade relativa horária no Rio de Janeiro, o coeficiente de determinação foi baixo, de 0,77. A dispersão de pontos e a linha de tendência indicam que, quando ocorrem umidades relativas abaixo de 80% em A. C. Jobim, a umidade relativa tende a ser mais alta em Santos Dumont. No entanto, se a umidade relativa é superior a 80% em A. C. Jobim, ela tende a ser mais alta do que em Santos Dumont.

5.1.2. CONSUMO ANUAL DE ENERGIA NO RIO DE JANEIRO

A tabela 17 apresenta o consumo anual em kWh/m² dos protótipos simulados no Rio de Janeiro, com médias de 82 kWh/m² para o protótipo menos sensível às mudanças externas e 194 kWh/m² para o protótipo mais sensível. Os menores consumos ocorreram, nos dois protótipos simulados, em Santos Dumont no ano de 1988, enquanto os maiores consumos diferenciaram-se segundo o protótipo e o ano: o 49 consumiu mais energia em 1987 em A. C. Jobim e o protótipo 79 consumiu mais energia elétrica em 1988, no mesmo local. A tabela 16 também mostra não haver atenuação nas diferenças entre o consumo dos protótipos 49 e 79: 59% para todos os sítios e anos.

TABELA 17 - Consumo anual de energia elétrica no Rio de Janeiro em kWh/m² e porcentagens das diferenças de consumo anual entre protótipos. ((P 79 – P 49)/ P 79)

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1987		1988		1989		Média
		A. C.	SD	A. C.	SD	A. C.	SD	
		Jobim		Jobim		Jobim		
49	Menos sensível	83	78	82	76	81	77	82
79	Mais sensível	200	191	201	186	198	188	194
Diferença entre protótipos		59 %	59 %	59 %	59 %	59 %	59 %	59 %

As porcentagens das diferenças no consumo entre sítios são apresentadas na tabela 18. As maiores diferenças entre os sítios de Santos Dumont e A. C. Jobim ocorrem no ano de 1988, com máxima de 8%, sendo a média dos três anos de 6%, sem diferenças significativas entre os protótipos.

TABELA 18 - Porcentagens das diferenças de consumo entre sítios no Rio de Janeiro. ((A. C. Jobim – SD)/A. C. Jobim)

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1987	1988	1989	Média
49	Menos sensível	6 %	7 %	5 %	6 %
79	Mais sensível	5 %	8 %	5 %	6 %

A tabela 19 apresenta a diferença de consumo entre anos, onde nenhuma tendência de aumento ou redução foi observada: se reduziu de 1987 para 1988 em Santos Dumont, de 1988 para 1989 também reduziu em A. C. Jobim enquanto aumentou em Santos Dumont.

TABELA 19 - Porcentagens das diferenças de consumo entre anos no Rio de Janeiro. ((1988-1987)/1988 e (1989-1988)/1989)

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1988 - 1987		1989 - 1988		Média dos módulos
		A. C.	Santos	A. C.	Santos	
		Jobim	Dumont	Jobim	Dumont	
49	Menos sensível	-1,3 %	-1,6 %	-1,0 %	0,8 %	1,2 %
79	Mais sensível	0,3 %	-2,9 %	-1,4 %	1,2 %	1,4 %

A maior diferença de consumo entre anos foi encontrada em Santos Dumont de 1987 para 1988 no protótipo 79, 2,9 %, sendo a menor, 0,3 %, em A. C. Jobim no mesmo período e protótipo. Novamente, como na tabela 18, as médias dos protótipos não são significativamente diferentes entre si: 1,2 % e 1,4 %.

5.1.3. DISCUSSÃO

TABELA 20 - Resumo das diferenças entre fatores climáticos e consumo no Rio de Janeiro.

		1987		1988		1989		Média
		ACJ	SD	ACJ	SD	ACJ	SD	Total
Porcentagem (%) dos graus hora em relação ao máximo		100	47	100	49	100	52	
Porcentagem (%) de ocorrência de horas de calmaria em 8760 horas		38	11	35	11	28	13	
Consumo (kW/m ²)	Protótipo 49	83	78	82	76	81	77	82
	Protótipo 79	200	191	201	186	198	188	194
Porcentagem (%) das diferenças de consumo entre sítios	Protótipo 49	6		7		5		6
	Protótipo 79	5		8		5		6
		1988 - 1987				1989 - 1988		Média
Porcentagem (%) das diferenças de consumo entre anos	Protótipo 49	-1,3	-1,6			-1,0	0,8	1,2 %
	Protótipo 79	0,3	-2,9			-1,4	1,2	1,4 %

A tabela 20 apresenta um resumo dos resultados mais relevantes encontrados no Rio de Janeiro. Apesar da densa ocupação de edificações verticais no Centro do Rio de Janeiro, ao lado do Aeroporto Santos Dumont, as temperaturas são, em geral, mais baixas em Santos Dumont do que em A. C. Jobim em razão da localização de Santos Dumont, mais exposto, na entrada da Baía da Guanabara, ao Oceano Atlântico. Por sua vez, A. C. Jobim está localizado em uma área de ocupação horizontal na Ilha do Governador, no interior da Baía da Guanabara (figura 09). Conforme a tabela 20, os graus hora de Santos Dumont são cerca de 49 % dos graus hora de A. C. Jobim. Se as temperaturas são mais altas em A. C. Jobim, é esperado que o consumo dos

edifícios neste local seja mais alto do que em Santos Dumont, o que realmente pode ser confirmado na mesma tabela.

O vento, quando incide com velocidades acima de 4,5 m/s, tende a ser mais intenso em A. C. Jobim, o que aumenta as trocas térmicas entre o ambiente e o envelope e as trocas de ar entre os ambientes externo e interno. Entretanto, pela sua localização, Santos Dumont está mais exposto aos ventos vindos do Atlântico do que A. C. Jobim, que possui maior porcentagem média de horas de calmaria, chegando uma diferença máxima de velocidades entre os sítios de 38 % em A. C. Jobim contra 11 % em Santos Dumont no ano de 1987 (tabela 20). A. C. Jobim também apresenta a maior porcentagem de horas de calmaria em períodos em que o sistema de ar condicionado está ligado, com destaque para o período da manhã.

A porcentagem nas diferenças entre sítios não se alterou de um protótipo para o outro. As propriedades dos componentes do protótipo 79 que o caracterizam como sensível ao ambiente externo não influenciaram o consumo de energia do protótipo 79 de forma a diferenciá-lo do protótipo 49, cuja diferença média de consumo entre sítios também foi de 6 %. Isto implica que o desempenho do protótipo 79 é estável, equivalente ao do protótipo 49, quando não há diferenças na radiação solar entre os sítios, estando os dois protótipos, 49 e 79, expostos às mesmas diferenças entre sítios de temperatura, umidade e ventilação. No entanto, deve-se lembrar que há diferenças de consumo entre os protótipos 49 e 79 causadas pela radiação solar incidente no protótipo 79.

As diferenças no consumo entre anos, cujas médias são 1,2 % e 1,5 % (tabela 20), registram também alterações macroclimáticas atípicas ou cíclicas que não se repetem obrigatoriamente no ano seguinte, razão pela qual deve-se cuidar ao analisar tais porcentagens. As diferenças de consumo entre anos devem-se principalmente à variação anual dos graus hora, que é pequena: diferença máxima dos graus hora entre anos é 9 %, que refletiu na máxima redução de 2,9 % no consumo do protótipo 79 em Santos Dumont de 1987 para 1988.

5.2. MANAUS

5.2.1. ANÁLISE DO CLIMA

Em Manaus, assim como no Rio de Janeiro, foram utilizados dados idênticos de nebulosidade nos dois aeroportos, o que reduziu a análise dos fatores climáticos à temperatura, velocidade do vento e umidade somente.

A figura 35 apresenta a correlação das temperaturas no ano de 1990, a melhor dos três anos, porém ainda com baixo coeficiente de determinação: 0,78. A distribuição dos pontos é dispersa, concentrando-se em determinadas faixas de temperatura, mas com grande variação em relação à linha de tendência.

A frequência de ocorrência das temperaturas em Manaus no ano de 1990 é apresentada na figura 36. De 20° C a 26° C, o número de ocorrências de temperaturas é maior em Eduardo Gomes. As temperaturas entre 26° C e 32° C ocorrem com maior frequência em Ponta Pelada e, acima de 32° C, elas voltam a ocorrer em mais horas do ano em Eduardo Gomes, mesmo que estas horas ocorram poucas vezes no ano.

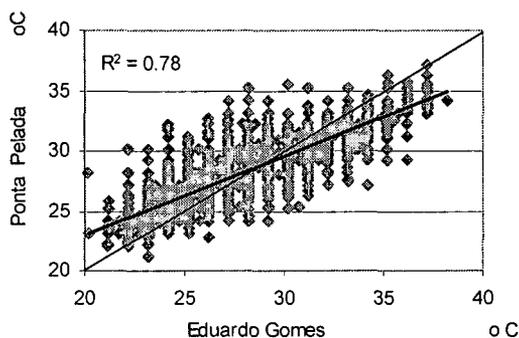


FIGURA 35 - Melhor correlação encontrada entre a TBS de Eduardo Gomes e Ponta Pelada ocorreu no ano de 1990.

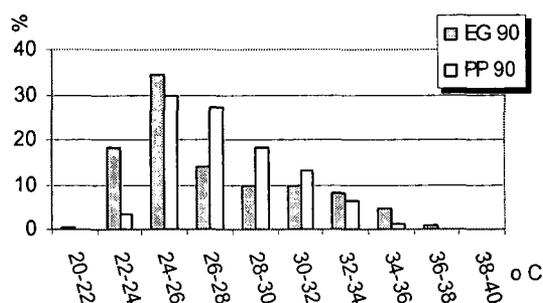


FIGURA 36 - Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1990 em Manaus.

A figura 37 apresenta a frequência de ocorrência das temperaturas em 1991. As temperaturas de 20° C a 26° C estão presentes em Eduardo Gomes em aproximadamente 50% das horas do ano enquanto estão em apenas 35% das horas do ano em Ponta Pelada. Entre 26° C e 32° C, as temperaturas estão presentes em mais horas do ano em Ponta Pelada do que em Eduardo Gomes. Acima de 32° C, a situação volta a se inverter, sendo então as mais altas temperaturas mais frequentes em Eduardo Gomes.

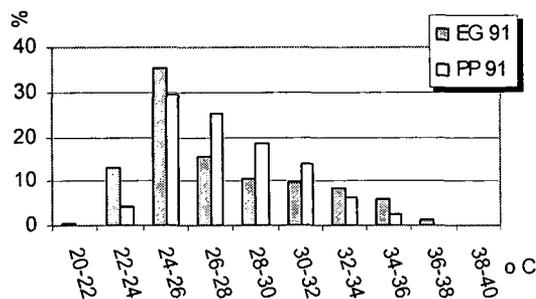


FIGURA 37 - Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1991 em Manaus.

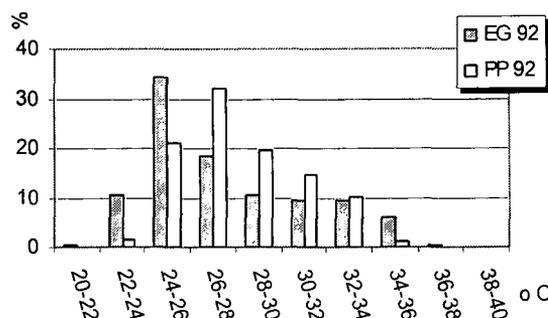


FIGURA 38 - Frequência de ocorrência de temperaturas de bulbo seco em 1992 em Manaus.

A figura 38 apresenta a frequência de ocorrência das temperaturas em 1992. Quase não há registros de temperaturas abaixo de 24° C em Ponta Pelada, sendo que de 20° C a 26° C, há mais registros horários em Eduardo Gomes. As temperaturas de 26° C a 34° C de Ponta Pelada apresentam maior porcentagem de horas que em Eduardo Gomes, ao contrário das temperaturas acima de 34° C, que ocorrem com maior frequência em Eduardo Gomes. Dos gráficos de frequência de temperatura de bulbo seco conclui-se então que as temperaturas médias são mais comuns em Ponta Pelada enquanto que os extremos ocorrem em mais horas do ano em Eduardo Gomes.

Os graus hora de resfriamento para temperatura base de 26,7° C são apresentados na figura 39. A tendência dos graus hora nos dois sítios foi de aumento de 1990 a 1992, saltando de um mínimo 12000 para 14280 em Ponta Pelada. Os graus hora são mais baixos em Ponta Pelada nos anos de 1990 e 1991, e ligeiramente maiores no ano de 1992. A figura 40 mostra as porcentagens graus hora em relação ao máximo de cada ano, ou seja, se os graus hora em Eduardo Gomes são maiores, estes são considerados 100% os graus hora de Ponta Pelada, terão suas porcentagens calculadas em relação aos 100% de Eduardo Gomes. As porcentagens dos graus hora são calculadas independentes umas das outras a cada ano. No ano de 1990, os graus hora em Ponta Pelada foram 7 % menores que em Eduardo Gomes. Já em 1991 e 1992, a diferença foi mínima, de 1 % e 0 % entre os graus hora de Ponta Pelada e Eduardo Gomes.

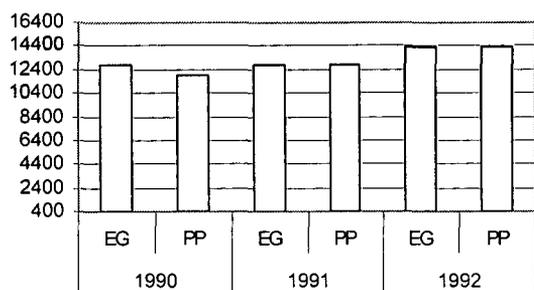


FIGURA 39 - Graus hora em Manaus para temperatura base de 26,7° C.

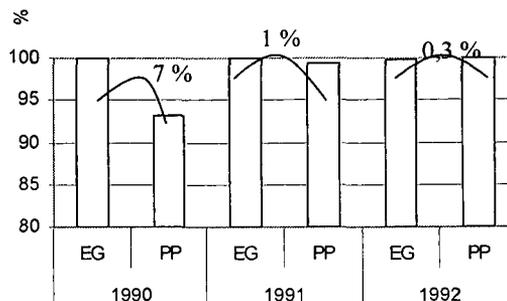


FIGURA 40 - Porcentagem relativa dos graus hora em Manaus para temperatura base de 26,7° C e suas diferenças por ano em relação ao valor máximo.

A figura 41 apresenta a freqüência de ocorrência das velocidades de vento em 1990. Em 79% das horas do ano não há ocorrência de ventos em Eduardo Gomes enquanto que em Ponta Pelada, 41% das horas do ano são de calmaria. Na figura 42, que apresenta a freqüência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia, percebe-se que a maior porcentagem de ocorrência de horas sem vento é durante a madrugada, porém com porcentagem significativa também no período da manhã.

Na figura 43, que apresenta as freqüências de ocorrência de vento em 1991, novamente a porcentagem de horas de calmaria em Eduardo Gomes é alta, 83%, contra 45% em Ponta Pelada. A freqüência de ocorrência das horas de calmaria por período do dia em 1991, mostrada na figura 44 também concentra-se na madrugada, mas com porcentagem significativa durante a manhã, chegando a 32 % das horas sem vento.

Por fim, a figura 45, que apresenta a freqüência de ocorrência do vento em 1992, confirmando que as horas de calmaria em Eduardo Gomes são maiores que em Ponta Pelada: 67% contra 46%. Já a ocorrência das horas sem vento, mostradas na figura 46, apresenta a mesma configuração dos anos anteriores, com as maiores ocorrências de horas sem vento no período da madrugada, quando o ar condicionado não está ligado, seguidas da manhã, quando o sistema de condicionamento de ar, de acordo com o padrão de uso, já pode ser ligado.

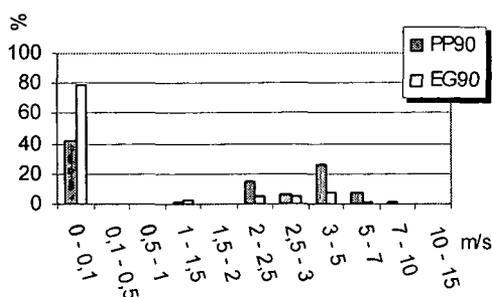


FIGURA 41 - Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1990.

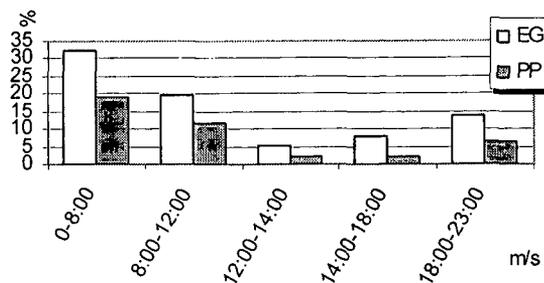


FIGURA 42 - Frequência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia em 1990 em Manaus.

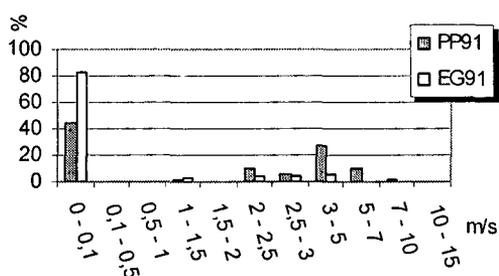


FIGURA 43 - Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1991.

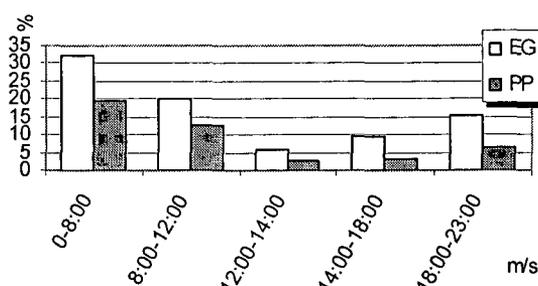


FIGURA 44 - Frequência de ocorrência de horas de calmaria por período do dia em 1991 em Manaus.

Comparando com as figuras 41 e 43 entretanto, percebe-se que a porcentagem de horas de calmaria em Eduardo Gomes reduziu. Também reduziram as porcentagens de horas com velocidades de vento variadas em Ponta Pelada, principalmente as velocidades entre 3 m/s e 5 m/s que, nas figuras 41 e 43 ocorrem em mais de 20% das horas do ano enquanto na figura 45 estão abaixo de 20%. Apesar de Ponta Pelada haver registrado uma média também alta de horas de calmaria, 43%, este ainda está exposto a melhores condições de ventilação urbana, com uma média de 24,3% de ventos cujas velocidades encontram-se entre 3 m/s e 5 m/s.

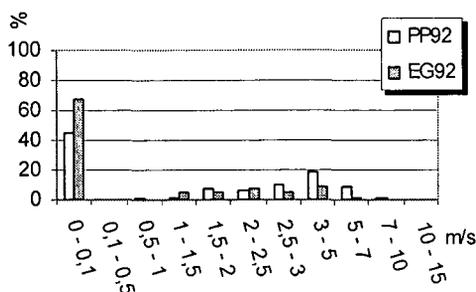


FIGURA 45 - Frequência de ocorrência de velocidade dos ventos nos aeroportos de Manaus em 1992.

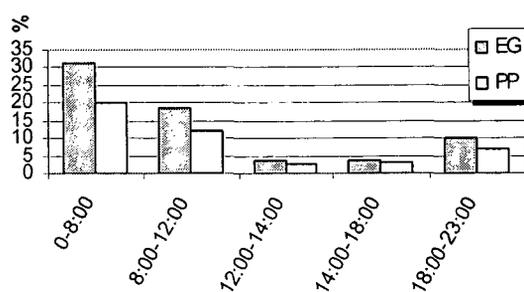


FIGURA 46 - Frequência de ocorrência de horas de calma por período do dia em 1992 em Manaus.

A figura 47 apresenta a soma anual da radiação global horária, que mostra que a intensidade da radiação solar global em um ano é aproximadamente constante em Manaus, com diferenças de 2% e 1% em relação à sua soma máxima, que ocorre em 1991. Como foram utilizados dados de nebulosidade idênticos nos dois aeroportos para a estimativa da radiação solar, as diferenças observadas referir-se-ão a diferenças de consumo entre anos somente.

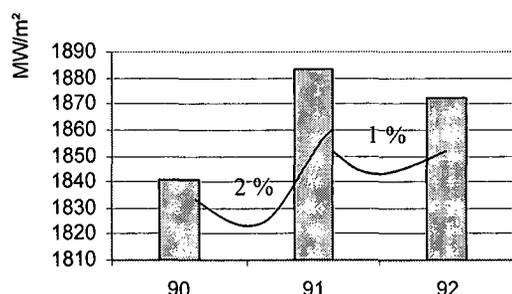


FIGURA 47 - Soma anual da radiação global horária em Manaus e suas diferenças horárias de 1990 a 1992 da unidade em relação ao máximo.

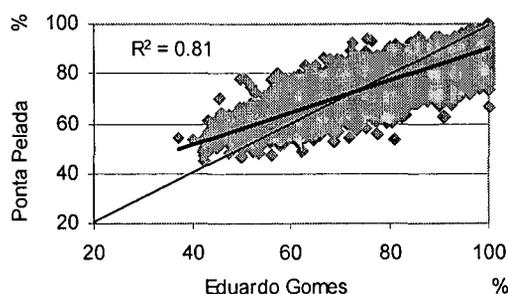


FIGURA 48 - Correlação entre as médias horárias de 1990 a 1992 da umidade relativa dos aeroportos de Manaus.

Já a correlação da umidade relativa, mostrada na figura 48, apresentou uma alta distribuição, com coeficiente de determinação de 0,81. A linha de tendência mostra que abaixo de 75%, as mais altas umidades relativas encontram-se em Ponta Pelada. Acima deste limite, a umidade relativa tende a ser mais alta em Eduardo Gomes.

5.2.2. CONSUMO ANUAL DE ENERGIA EM MANAUS

A tabela 21 apresenta o consumo anual de energia elétrica nos dois protótipos simulados. Os protótipos 49, menos sensíveis às variações topoclimáticas, não apresentaram variações significativas no consumo, ao contrário dos protótipos 79, mais sensíveis às variações topoclimáticas, cujo consumo de energia aumentou com o passar dos anos. A média de consumo no protótipo 49 é de 101 kWh/m² e no protótipo 79, de 221 kWh/m². Já as diferenças de consumo entre protótipos permaneceram estáveis, sem variações significativas, com média de 52%.

TABELA 21 - Consumo anual de energia elétrica em Manaus em kWh/m² e porcentagens das diferenças de consumo anual entre protótipos. ((P 79 – P 49)/ P 79)

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1990		1991		1992		Média
		EG	PP	EG	PP	EG	PP	
49	Menos sensível	100	99	102	102	101	103	101
79	Mais sensível	208	208	209	213	211	218	211
Diferença entre protótipos		52 %	52 %	51 %	52 %	52 %	53 %	52 %

As diferenças de consumo entre sítios apresentadas na tabela 22 mostram que a maior diferença no consumo dos protótipos entre a zona sul, Ponta Pelada, e a oeste em Manaus, Eduardo Gomes, é de 3,2%, com maior consumo em Ponta Pelada, sendo a menor diferença de consumo entre sítios de 0,3%, com maior consumo em Eduardo Gomes. Em 1990, pode-se considerar que não houve diferenças significativas de consumo entre sítios, enquanto em 1992 estas foram ligeiramente mais expressivas. Ponta Pelada foi o sítio cujos consumos nos protótipos foram maiores, principalmente em 1992, enquanto, pela pequena porcentagem de 0,8% em 1990 e 0,3% em 1991, pode-se afirmar que não houve maior consumo em Eduardo Gomes. As médias nas diferenças de consumo entre sítios em valores absolutos foram baixas, de 1,0% e 1,8%, nos protótipos 49 e 79 respectivamente.

A tabela 23 mostra que a média dos módulos das diferenças de consumo entre anos é quase a mesma para ambos os protótipos: 1,7% e 1,6%, nos protótipos 49 e 79 respectivamente. É também possível verificar que a maior diferença de consumo entre anos é de 2,5%, sendo a

menor de 0,5%, ambas no protótipo 49. Há uma tendência de aumento de consumo de 1990 a 1992, quando somente o consumo do protótipo 49 no aeroporto de Eduardo Gomes reduziu de 1991 a 1992.

TABELA 22 - Porcentagens das diferenças de consumo entre sítios em Manaus. $((PP - EG)/PP)$

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1990	1991	1992	Média
49	Menos sensível	-0,8 %	-0,3 %	1,9 %	1,0 %
79	Mais sensível	0,4 %	1,8 %	3,2 %	1,8 %

TABELA 23 - Porcentagens das diferenças de consumo entre anos em Manaus. $((1991-1990)/1991$ e $(1992-1991)/1992)$

Protótipo	Sensibilidade ao ambiente externo	1991 - 1990		1992 - 1991		Média dos módulos
		Eduardo Gomes	Ponta Pelada	Eduardo Gomes	Ponta Pelada	
49	Menos sensível	1,9 %	2,5 %	-1,7 %	0,5 %	1,7%
79	Mais sensível	0,8 %	2,2 %	1,1 %	2,4 %	1,6%

5.2.3. DISCUSSÃO

Em Manaus, o consumo segue a mesma tendência dos graus hora: o aumento dos graus hora com o passar dos anos de 1990 a 1992 é percebido no aumento gradativo dos consumos tanto em Ponta Pelada quanto Eduardo Gomes. Os consumos dos protótipos 79 tendem a ser maiores em Ponta Pelada, enquanto não há localidade onde predominam maiores consumos do protótipo 49. A máxima diferença de consumo entre sítios (tabela 24), de 3,2 %, ocorreu em 1992, com maior consumo em Ponta Pelada. Maiores consumos de energia em Eduardo Gomes ocorreram apenas nos protótipos 49, sendo porcentagens pouco significativas, menores que 1 %. Em 1990 os graus hora foram 7 % maiores em Eduardo Gomes enquanto que em 1991 e 1992, não houve diferenças significativas entre os graus hora dos sítios. Vemos então que as baixas as diferenças de consumo ocorreram nos anos em que ocorreram as maiores diferenças de graus hora entre sítios e as máximas as diferenças de consumo entre sítios foram no ano quando ocorreu a menor diferença de graus hora. Outro fator parece então influir no consumo de energia destes protótipos.

TABELA 24 - Resumo das diferenças entre fatores climáticos e consumo em Manaus.

		1990		1991		1992		Média
		EG	PP	EG	PP	EG	PP	Total
Porcentagem dos graus hora em relação ao máximo		100	95	100	89	98	100	
Porcentagem (%) de ocorrência de horas de calmaria		79	41	83	45	67	46	
Consumo (kW/m ²)	Protótipo 49	100	99	102	102	101	103	101
	Protótipo 79	208	208	209	213	211	218	211
Porcentagem (%) das diferenças de consumo entre sítios	Protótipo 49	0,8		0,3		1,9		1,0 %
	Protótipo 79	0,4		1,8		3,2		1,8 %
		1991-1990				1991-1991		
Porcentagem (%) das diferenças de consumo entre anos	Protótipo 49	1,9	2,5			-1,7	0,5	1,7 %
	Protótipo 79	0,8	2,2			1,1	2,4	1,6 %

Se analisarmos o vento, percebemos que, nos dois sítios, a ausência de ventos foi grande; entretanto, esta foi próxima do dobro em Eduardo Gomes, exceto em 1992, quando a porcentagem de ocorrência de horas de calmaria em Eduardo Gomes baixou enquanto permaneceu estável em Ponta Pelada (tabela 24), ou seja, a diferença de ocorrência de horas de calmaria em Eduardo Gomes passou de 38 % nos anos de 1990 e 1991 para 22 % em 1992. Sendo assim, a tendência no ano de 1992 ainda seria de maior consumo em Eduardo Gomes, já que o vento aumenta as trocas térmicas por convecção e a infiltração de ar no edifício principalmente no período da manhã. Por que então as maiores diferenças no consumo entre sítios foram encontradas no ano em que, teoricamente, estas deveriam ser menores? Analisando a tabela 24, é possível verificar que houve aumento de consumo em Eduardo Gomes de 1991 para 1992 no protótipo 79, o que está de acordo com o aumento dos graus hora e redução das horas de calmaria neste local em 1992. Entretanto, o consumo do protótipo 79 em Eduardo Gomes aumentou 2 kWh/m², enquanto em Ponta Pelada aumentou 5 kWh/m², ou seja, o consumo em Eduardo Gomes aumentou, porém não tanto quanto aumentou o consumo em Ponta Pelada, o que altera a pergunta: por que aumentou o consumo em Ponta Pelada neste ano, se a radiação

reduziu-se em 2 % de 1991 a 1992, os graus hora foram iguais em Ponta Pelada e em Eduardo Gomes? Analisando a figura 45, percebe-se que as porcentagens de ocorrência das velocidades de vento, principalmente de 3 m/s a 5 m/s, foram menores em 1992 que as porcentagens das correspondentes velocidades de vento em 1990 e 1991 (figuras 41 e 43). Cabe então concluir que a redução das velocidades do vento pode aumentar o consumo de energia da edificação quando as diferenças entre anos dos graus hora forem pequenas – neste caso, abaixo de 7 % - assim como as diferenças entre anos da radiação solar (figura 47). E como a incidência de radiação solar anual em Manaus pouco variou, as diferenças de consumo entre anos pareceram ser, em grande parte, devido aos graus hora que aumentaram com o passar dos anos como aumentaram, com exceção do protótipo 49 em Eduardo Gomes de 1991 a 1992, os consumos nos dois sítios.

5.3. FLORIANÓPOLIS

5.3.1. ANÁLISE DO CLIMA

A figura 49 apresenta a correlação entre as temperaturas horárias de Hercílio Luz e LABSOLAR em 1996. Temperaturas abaixo de 22° C tendem a ser mais altas no LABSOLAR e acima de 22° C, em Hercílio Luz. Apesar da linha de tendência indicar uma inclinação próxima dos 45°, o que poderia significar uma forte correlação, pode-se afirmar que, pela dispersão dos pontos e pelo baixo coeficiente de determinação, de 0,61, a correlação é fraca entre as temperaturas de Hercílio Luz e do LABSOLAR em 1996. Já a figura 50 apresenta a correlação entre o LABSOLAR e Itacorubi, cujo coeficiente de determinação é maior, 0,83. Como pode ser observado através da linha de tendência, as temperaturas abaixo de 17° C tendem a ser mais altas no Itacorubi e acima de 17° C tendem a ser mais altas no LABSOLAR. Entretanto, são poucas as temperaturas medidas no Itacorubi que são de fato mais altas que o LABSOLAR, como visto pela dispersão dos pontos. Na figura 51, onde é apresentada a correlação das temperaturas de Hercílio Luz e do Itacorubi em 1996, coeficiente de determinação é 0,82. A temperatura onde a linha de tendência indica uma mudança na predominância das mais altas temperaturas é de 16° C, em que abaixo desta, as temperaturas costumam ser mais altas no Itacorubi e acima deste limite, mais altas em Hercílio Luz. No entanto, a inclinação da reta é próxima a 45°, o que sugere uma forte correlação entre as temperaturas de Hercílio Luz e Itacorubi.

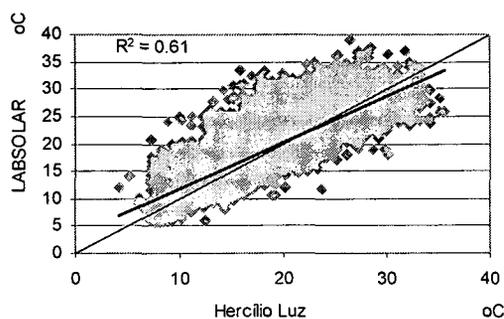


FIGURA 49 - Correlação de TBS em 1996, entre o Aeroporto Hercílio Luz e o LABSOLAR.

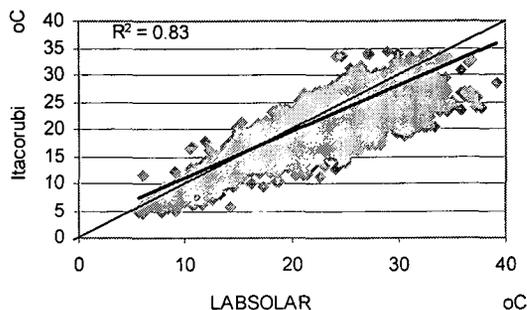


FIGURA 50 - Correlação de TBS em 1996, entre o LABSOLAR e a estação do Itacorubi.

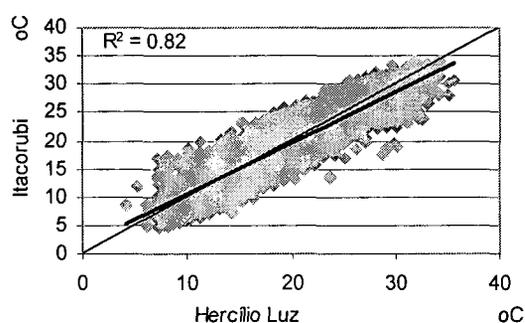


FIGURA 51 - Correlação de TBS em 1996, entre o Aeroporto Hercílio Luz e o Itacorubi.

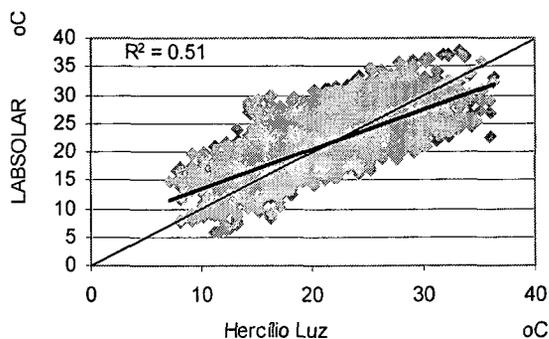


FIGURA 52 - Correlação de TBS em 1997, entre o Aeroporto Hercílio Luz e o LABSOLAR.

As temperaturas de Hercílio Luz e LABSOLAR em 1997 são mostradas na figura 52, onde a dispersão dos pontos é alta, com baixo coeficiente de determinação, 0,51. A temperatura de 22° C é o limite em que, abaixo deste valor, as temperaturas mais altas encontram-se no LABSOLAR e acima de 22° C, as mais altas temperaturas encontram-se em Hercílio Luz. A figura 53 apresenta uma melhor correlação entre as temperaturas do LABSOLAR e Itacorubi em 1997, cujo coeficiente de determinação é de 0,83 e a linha de tendência é próxima dos 45° de inclinação. Apesar do limite de 14° C, poucas temperaturas no Itacorubi podem ser consideradas mais altas que as temperaturas medidas no LABSOLAR. Por fim, a figura 54 apresenta a correlação das temperaturas de Hercílio Luz e Itacorubi no ano de 1997, com coeficiente de determinação é de 0,66. Temperaturas abaixo de 20° C costumam ser mais altas no Itacorubi, enquanto acima deste limite, são mais altas em Hercílio Luz.

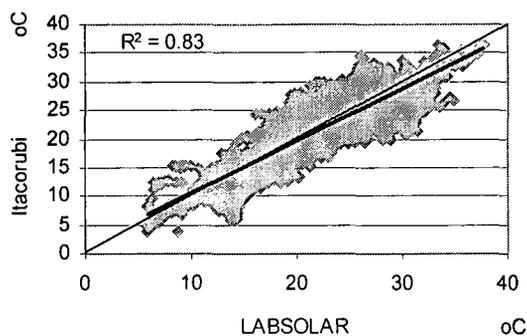


FIGURA 53 - Correlação de TBS em 1997, entre o LABSOLAR e a estação do Itacorubi.

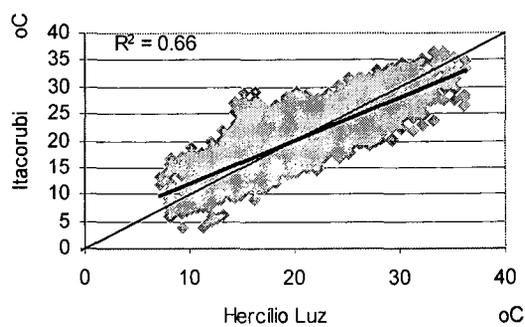


FIGURA 54 - Correlação de TBS em 1997, entre o Aeroporto Hercílio Luz e o Itacorubi.

Embora houvesse forte correlação entre as temperaturas do Itacorubi e de Hercílio Luz em 1996, esta não se repetiu em 1997, como ocorreu com o Itacorubi e o LABSOLAR. Já entre as temperaturas de Hercílio Luz e o LABSOLAR, a correlação foi fraca nos anos de 1996 e 1997. Em geral, temperaturas mais altas ocorreram em Hercílio Luz e no LABSOLAR e, dentre estas duas localidades, as mais altas temperaturas ocorreram no LABSOLAR.

A figura 55, apresenta uma diferença significativa entre os graus hora para resfriamento entre o Itacorubi e as outras duas localidades. Enquanto em 1996 o LABSOLAR apresentou graus hora maiores do que em 1997, Hercílio Luz e Itacorubi apresentaram maiores graus hora em 1997 do que em 1996.

A diferença de graus hora entre Hercílio Luz e o LABSOLAR em 1997 foi baixa, quantificada na figura 56 em 1 %. A maior diferença de graus hora entre localidades foi entre o LABSOLAR e Itacorubi em 1996, de 58 %, seguida do LABSOLAR e Hercílio Luz, de 36 %, no mesmo ano (figura 56). Ao observar a figura 55, percebe-se que estas grandes diferenças não refletem uma significativa redução nos graus hora em Hercílio Luz e Itacorubi, mas a redução dos graus hora no LABSOLAR em 32 % de 1996 para 1997, que não se repetiu em nenhuma outra localidade ou ano. Itacorubi apresentou os mais baixos graus hora e, somente em 1997, Hercílio Luz apresentou os mais altos graus hora, embora a diferença tenha sido pequena em relação ao LABSOLAR.

As figuras 57 e 58 apresentam a frequência de ocorrência da umidade relativa em Florianópolis. Alta umidade relativa, entre 90 % e 100 % ocorreu em maior número de horas no Itacorubi, seguido de Hercílio Luz. O LABSOLAR mediu um grande número de horas com umidade

relativa entre 50 % a 90 %, assim como Hercílio Luz. As médias mensais da UR em Florianópolis são apresentadas nas figuras 59 e 60, entre 70 % e 90 %. As maiores médias são encontradas, em geral, no Itacorubi, sendo as menores encontradas no LABSOLAR, estação mais afastada das Baías Norte e Sul e protegida pelo Morro da Cruz (figura 17).

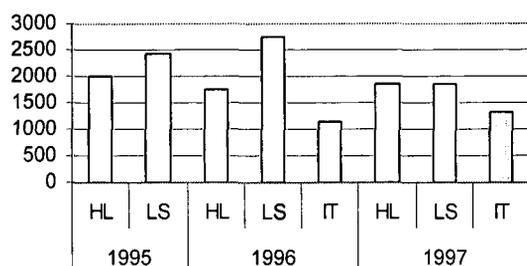


FIGURA 55 - Graus hora em Florianópolis para temperatura base, T_b , de $26,7^{\circ}C$.

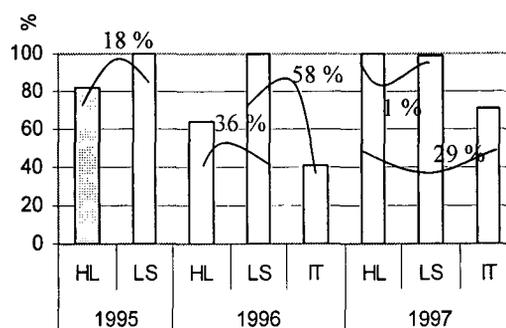


FIGURA 56 - Porcentagem de graus hora em Florianópolis para temperatura base, T_b , de $26,7^{\circ}C$ e suas diferenças entre localidades quantificadas em relação ao máximo.

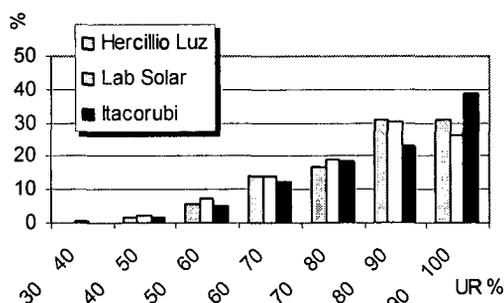


FIGURA 57 - Frequência de ocorrência da umidade relativa em 1996.

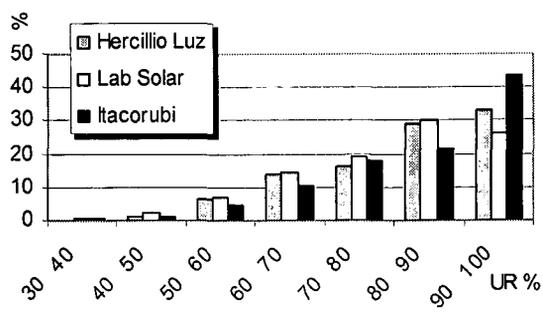


FIGURA 58 - Frequência de ocorrência da umidade relativa em 1997.

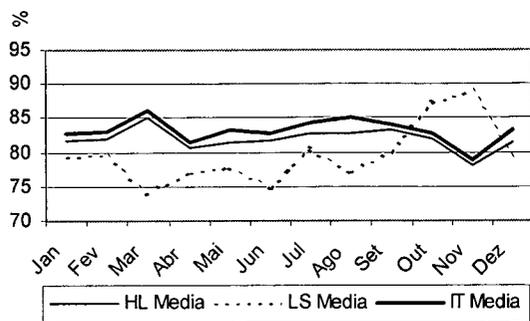


FIGURA 59 - Médias mensais de umidade relativa em 1996.

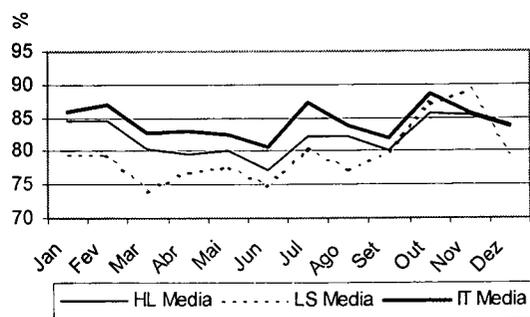


FIGURA 60 - Médias mensais de umidade relativa em 1997.

A figura 61 apresenta a soma total da radiação global em cada ano simulado. A radiação global incidente em Hercílio Luz nos 3 anos é maior que as outras localidades e não possui variações anuais. A figura 62 apresenta as porcentagens, relativas ao máximo de cada ano, da soma da radiação global. No Itacorubi, esta é, em média, 65% da radiação global anual de Hercílio Luz e, no LABSOLAR, 77%.

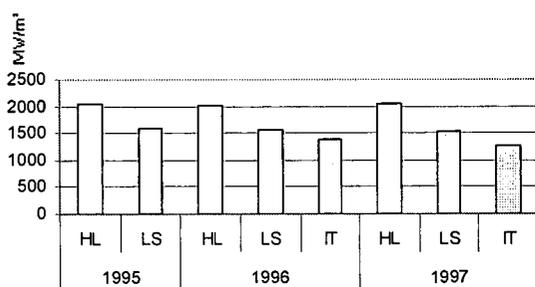


FIGURA 61 - Soma da radiação global anual em Florianópolis.

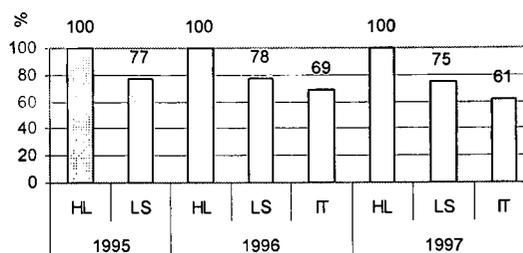


FIGURA 62 - Porcentagem, relativa ao máximo, da soma da radiação global anual em Florianópolis.

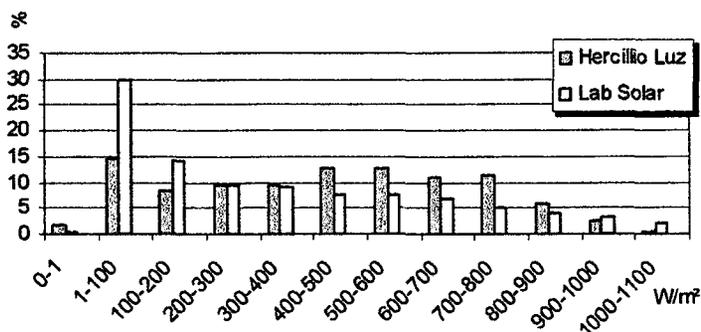


FIGURA 63 - Frequência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1995.

De fato, as figuras 63 a 65, que apresentam a frequência de ocorrência da radiação global em 1995, 1996 e 1997, mostram que a radiação global mais intensa, de 300 W/m^2 a 900 W/m^2 , incide sobre Hercílio Luz em um maior número de horas do ano. Do mesmo modo, as figuras 66 e 67 apresentam a frequência de ocorrência da radiação solar direta e mostram que a radiação direta de 0 a 100 W/m^2 predomina no Itacorubi, de 1 a 200 W/m^2 predomina no LABSOLAR e a mais intensa, de 300 W/m^2 a 600 W/m^2 , incide sobre Hercílio Luz em um maior número de horas.

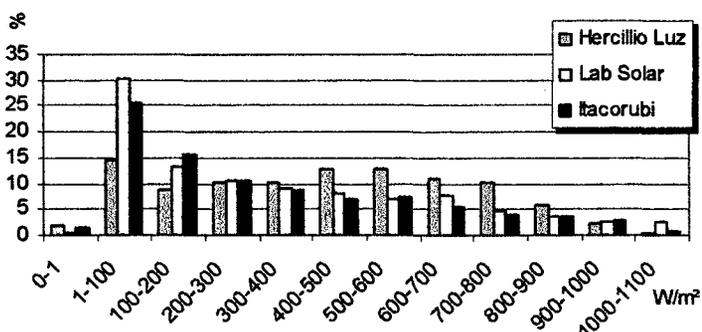


FIGURA 64 - Frequência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1996.

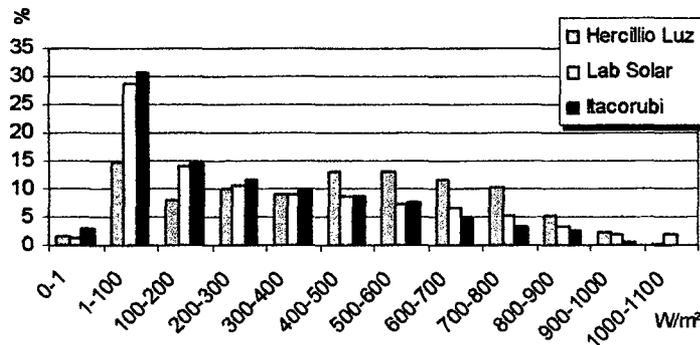


FIGURA 65 - Frequência de ocorrência da radiação global em Florianópolis em 1997.

Observando a tabela 25, que apresenta as diferenças na soma da radiação global anual de 1995 a 1997, é possível identificar uma grande diferença na soma da radiação solar no Itacorubi de 1996 a 1997, de 10,7%, enquanto nas demais localidades esta diferença não ultrapassa 2,8%. Esta diferença entre o LABSOLAR e o Itacorubi, geograficamente muito próximos, é discutida à frente.

TABELA 25 - Diferenças na soma da radiação global anual entre anos em Florianópolis.

Unidade	96 - 95		97 - 96		
	HL	LS	HL	LS	IT
MW/m ²	40	18	-19	44	149
%	1,9	1,1	-0,9	2,8	10,7

Na figura 68, a porcentagem das diferenças de graus hora é apresentada. A diferença é mais significativa no Labsolar em 1995 e 1996. Há diferenças mínimas no Itacorubi, tanto em 1996 como em 1997.

A figura 69 apresenta a porcentagem das diferenças nos níveis de radiação anual em Florianópolis nos sítios estudados e provenientes do TRY. Vale lembrar que o arquivo TRY teve a sua radiação calculada pelo DOE 2.1-E, enquanto os demais sítios possuíam a radiação medida ou calculada previamente nos arquivos climáticos. A figura mostra pequenas diferenças de radiação do TRY em relação ao LABSOLAR e ao Itacorubi. Já as diferenças entre a radiação do TRY e de Hercílio Luz chegam a 40%, ambas calculadas. Somente a radiação incidente no

Itacorubi foi menos intensa que a calculada pelo DOE 2.1-E para o TRY de 1963, como pode ser observado devido às diferenças positivas encontradas na figura.

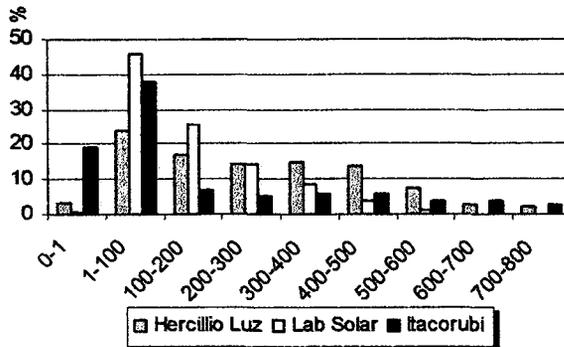


FIGURA 66 - Frequência de ocorrência da radiação direta em Florianópolis em 1996.

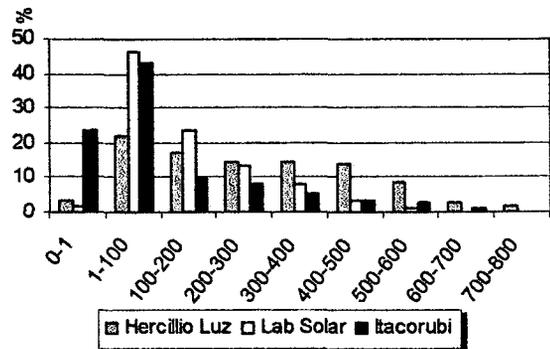


FIGURA 67 - Frequência de ocorrência da radiação direta em Florianópolis em 1997.

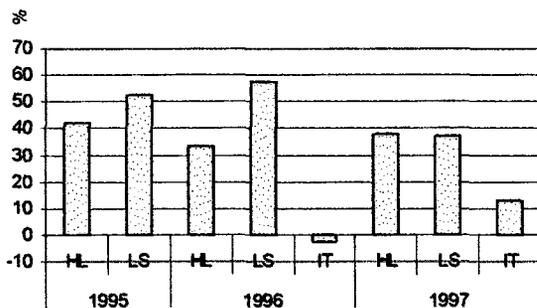


FIGURA 68 - Porcentagem das diferenças entre os graus hora do TRY com cada sítio estudado.

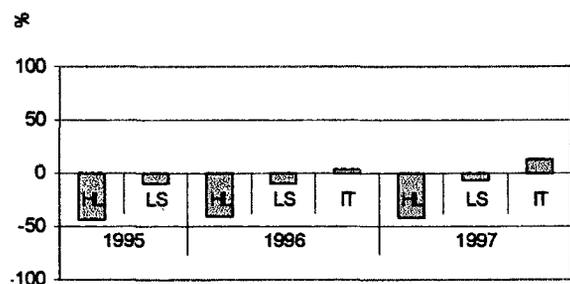


FIGURA 69 - Porcentagem das diferenças entre os níveis de radiação anual do TRY com cada o sítio estudado.

5.3.2. RESULTADOS: CONSUMO, CARGAS DE PICO E GANHOS TÉRMICOS

5.3.2.1. CONSUMO

Através da tabela 26 é possível extrair o consumo médio dos protótipos em Florianópolis: 67,8 kWh/m² no protótipo 49 e 163,7 kWh/m² no protótipo 79. Os maiores consumos do protótipo 49, menos sensível a variações externas, são encontrados no LABSOLAR, e do protótipo 79, mais sensível ao ambiente externo, no Aeroporto Hercílio Luz.

TABELA 26 - Consumo anual de energia elétrica nos protótipos, em kWh/m², e porcentagens das diferenças de consumo entre protótipos em Florianópolis.

	95			96			97			Media
Prototipo	HL	LS	IT	HL	LS	IT	HL	LS	IT	
49	66,9	68,6		67,5	70,3	66,1	67,8	69,2	66,1	67,8
79	168,1	163,3		171,7	165,3	154,4	175,6	162,8	148,3	163,7
Diferença entre protótipos	60 %	58 %		61 %	57 %	57 %	61 %	58 %	55 %	58 %

As diferenças de consumo entre os protótipos são também apresentadas na tabela 26. Em média, o protótipo 49, menos sensível ao ambiente externo, consumiu 41,5% - máximo de 44,6% e mínimo de 38,6% - do protótipo 79, com uma diferença média de consumo de 58,5%. Isto mostra o quanto pode haver diferenças de consumo entre edificações, sem considerar diferenças no consumo de energia por iluminação, equipamentos ou ocupação. As maiores diferenças entre protótipos são encontradas no Itacorubi nos dois anos de simulação, 1996 e 1997, enquanto as menores diferenças são encontradas em Hercílio Luz.

A tabela 27 apresenta a diferença de consumo entre localidades de 3% em média no protótipo 49 e 9% no protótipo 79. A maior diferença nos consumos entre localidades foi observada entre o Aeroporto Hercílio Luz e o Itacorubi, 18% maior em Hercílio Luz. No protótipo 79, as diferenças de consumo entre o LABSOLAR e Hercílio Luz são 5% em média, entre o LABSOLAR e Itacorubi, 8% e, entre Hercílio Luz e Itacorubi, 14% no protótipo 79. No protótipo 49, estas diferenças de consumo caem para 3%, 5% e 2%. É interessante notar que, apesar da proximidade física entre o LABSOLAR e o Itacorubi, suas diferenças de consumo são maiores do que entre Hercílio Luz e o LABSOLAR.

TABELA 27 - Porcentagens das diferenças de consumo entre localidades em Florianópolis.

	95	96			97			Média
	(LS-HL)/LS	(LS-HL)/LS	(LS-IT)/LS	(IT-HL)/IT	(LS-HL)/LS	(LS-IT)/LS	(IT-HL)/IT	módulos
49	2 %	4 %	6 %	-2 %	2 %	4 %	-3 %	3 %
79	-3 %	-4 %	7 %	-11 %	-8 %	9 %	-18 %	9 %

A diferença de consumo entre os anos foi, em média, de 1,0% e 2,2% nos protótipos 49 e 79 respectivamente. A maior diferença foi encontrada na mudança de 1996 para 1997 no consumo do protótipo 79 no Itacorubi: 4,1% menor em 1997(tabela 28). Curiosamente, o protótipo 49 apresentou consumos iguais nestes dois anos, neste mesmo local. De 1995 para 1996, todos os consumos aumentaram, enquanto de 1996 para 1997, o aumento no consumo ocorreu somente em Hercílio Luz.

TABELA 28 - Porcentagem das diferenças de consumo entre anos em Florianópolis.

Prototipo	96-95		97-96			Média dos módulos
	HL	LS	HL	LS	IT	
49	0,8 %	2,4 %	0,4 %	-1,6 %	0,0 %	1,0 %
79	2,1 %	1,2 %	2,2 %	-1,5 %	-4,1 %	2,2 %

Simulações costumam ser realizadas com arquivos climáticos cujas características representem um ano climático típico da região. A tabela 29 apresenta as diferenças dos consumos entre um ano climático de referência de Florianópolis, TRY, e os sítios e anos estudados.

TABELA 29 - Porcentagem da diferença entre os consumos do TRY e os consumos das localidades estudadas. $[(TRY-localidade)/TRY]$

Prototipo	95			96			97			Media módulos
	HL	LS	IT	HL	LS	IT	HL	LS	IT	
49	8 %	6 %		8 %	4 %	10 %	7 %	5 %	10 %	7 %
79	-3 %	0 %		-5 %	-1 %	5 %	-8 %	0 %	9 %	4 %

A maior diferença de consumo entre o TRY e os sítios simulados foi observada no Itacorubi, de 10%, no protótipo menos sensível às variações externas, protótipo 49. No protótipo 79, diferenças de consumo significativas entre o TRY e os sítios ocorreram no Itacorubi e em Hercílio Luz em 1997, 8% e 9%, respectivamente. Entretanto, o protótipo 79 em Hercílio Luz consumiu 8% mais energia do que o protótipo 79 simulado com o TRY em 1997, enquanto o protótipo 79 no Itacorubi consumiu 9% menos que o protótipo 79 simulado com o TRY. As menores diferenças ocorreram entre o TRY e o LABSOLAR, de 4% a 6% no protótipo 49 e praticamente inexistentes no protótipo 79. Entre os protótipos 49 e 79, as maiores diferenças

foram encontradas no protótipo 49 em todas as localidades e anos. Em média, as diferenças no consumo foram de 7% no protótipo 49 e 4% no protótipo 79.

As médias das diferenças de consumo entre o TRY e os sítios são apresentadas na tabela 30. Os dados representam a média das diferenças entre o TRY e os três sítios, Hercílio Luz, LABSOLAR e Itacorubi, de cada ano. Como são três anos simulados, há três médias das diferenças de consumo entre o TRY e os sítios. Estas médias, então, estão agrupadas por ano, embora refiram-se a diferenças de consumo entre o TRY e os sítios. Nesta tabela, percebe-se que a variação das diferenças de consumo nos protótipos 49 é menor do que a variação das diferenças de consumo nos protótipos 79: 0 % no protótipo 49 e 2 % no protótipo 79. No protótipo 49, as diferenças médias de consumo entre o TRY e os sítios são exatamente iguais à diferença média total entre o TRY e os sítios e anos.

TABELA 30 - Porcentagem média das diferenças entre os consumos do TRY e os consumos nos sítios estudados, agrupados por ano.

Protótipo	95	96	97	Média dos módulos
49	7 %	7 %	7 %	7 %
79	-2 %	4 %	6 %	4 %

As médias das diferenças de consumo entre o TRY e os anos estudados são apresentadas na tabela 31. Os dados representam a média das diferenças entre o TRY e os arquivos climáticos dos três anos simulados, 1995, 1996 e 1997. Como, em cada ano, foram simulados dois – 1995 – ou três anos – 1996 e 1997 – estes estão agrupados por sítio. Na tabela 31 é possível perceber que a variação máxima das diferenças médias de consumo entre o TRY e os anos é de 3 % no protótipo 49 e de 4 % no protótipo 79. A média máxima chega a 10 %, sendo a mínima 0 %.

TABELA 31 – Porcentagem média das diferenças entre os consumos do TRY e os consumos dos anos estudados, agrupados por sítio.

Protótipo	HL	LS	IT	Média dos módulos
49	8 %	5 %	10 %	7 %
79	-5 %	0 %	7 %	4 %

A variação das médias, quando analisadas as diferenças negativas ou positivas, são de 0 % e 8 % nas médias entre o TRY e os sítios, agrupadas por ano, (tabela 30), e 8 % e 12 % nas diferenças entre o TRY e os anos, agrupadas por sítio (tabela 31). Diferenças negativas ou positivas indicaram que os protótipos simulados com o TRY geralmente apresentam um maior consumo do que os protótipos simulados com os demais arquivos climáticos. No entanto, para analisar a existência de diferenças somente, as médias totais foram calculadas em módulo. Comparando as médias totais com os módulos das médias parciais, agrupadas por ano ou por sítio, percebe-se que não há diferenças de consumo significativas entre o TRY e a variação anual dos arquivos climáticos (tabela 30), como há entre o TRY e a variação da localização das estações climáticas (tabela 31).

5.3.2.2. CARGAS DE PICO

Segundo a ASHRAE (2001), as cargas para resfriamento podem ser definidas como a quantidade de calor por unidade de tempo imposto ao sistema de refrigeração para remoção do calor. A carga de pico citada a seguir é a quantidade de calor que deve ser retirada do ambiente por hora para manter uma temperatura constante do ar igual ao valor da temperatura nominal do sistema de ar condicionado (WINKELMANN, 1993).

Para a análise das cargas de pico, foram simulados somente os anos de 1996 e 1997 para comparação entre as três localidades. O DOE 2.1-E fornece as cargas de pico na hora em que esta é máxima no ano, e desmembra-a de acordo com a fonte de calor de onde ela provém: da parede, do telhado, da iluminação, etc. É importante lembrar que a ocupação foi anulada no programa, razão pela qual a carga interna latente foi mínima e portanto não foi considerada.

As cargas de pico por componente do protótipo 49 estão relacionadas na figura 70 para as três localidades: Hercílio Luz, LABSOLAR e Itacorubi. Os componentes que transmitem maiores cargas para o ambiente são a parede, a janela – por condução – e a iluminação, já que a parcela de calor proveniente da radiação solar não é significativa no protótipo 49. Não há diferenças visíveis nas cargas de pico provenientes da iluminação e equipamentos. A integração das cargas de pico dos componentes do protótipo 49 é em média 3 kW. Na figura 71, que relaciona as cargas de pico por componente do protótipo 79, o componente pelo qual se origina a mais alta carga de pico para o ar condicionado é o vidro – por radiação. Como na figura 70, as cargas de

pico provenientes da iluminação e equipamentos são novamente iguais nas três localidades. A soma das cargas de pico por componente é 11 kW, em média.

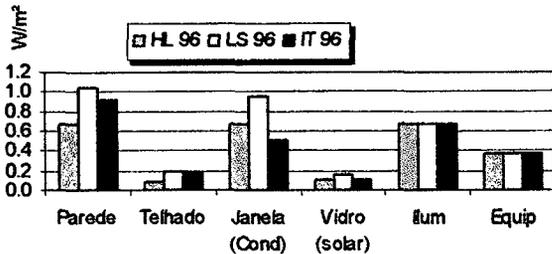


FIGURA 70 - Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, em 1996 na cidade de Florianópolis.

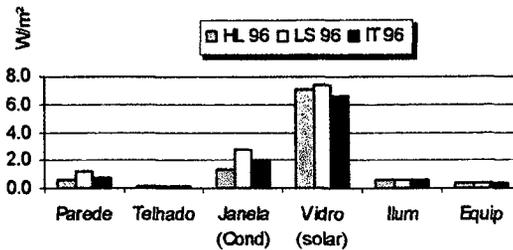


FIGURA 71 - Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, em 1996 na cidade de Florianópolis.

Nas duas figuras, as cargas de pico provenientes do telhado são pequenas devido à relação A_{cob}/A_{tot} ser igual a 0,10, característica comum aos dois protótipos que definiu seu número de pavimentos, igual a 10. Já as cargas de pico provenientes da iluminação e dos equipamentos são iguais nas três localidades devido à mesma densidade de carga interna – IPD, *internal power density* - de 15 W/m^2 . Tanto as cargas de pico provenientes do telhado quanto a densidade de carga interna em 1997 assemelham-se à descrição das figuras 70 e 71 de 1996. Sendo assim, estes componentes - telhado, iluminação e equipamentos - foram eliminados da análise para simplificar a leitura das cargas de pico que apresentam diferenças significativas entre localidades: parede e janela, de onde originam cargas de pico pela condução de calor, e vidro, de onde se originam cargas de pico através da radiação.

A figura 72 apresenta as cargas de pico por componente dos protótipos 49, menos sensíveis às variações do topoclima, em 1996. Das paredes dos protótipos se originam as maiores cargas de pico. Dentre todos os componentes, os pertencentes ao protótipo localizado no LABSOLAR apresentam as mais altas cargas de pico. A soma total das cargas de pico destes componentes é de 6,5 kW em média.

Assim também ocorre na figura 73, cujo gráfico contém as cargas de pico dos protótipos 79, mais sensíveis às variações topoclimáticas. Entretanto, neste, é o vidro o componente que mais transmite calor, por radiação, a ser convertido em carga térmica para o ar condicionado. A soma total das cargas de pico dos componentes da figura 73 é de 9,9 kW em média.

Na figura 74, onde são apresentadas as cargas de pico por componente dos protótipos 49 em 1997, novamente as mais altas cargas são observadas no LABSOLAR. As cargas térmicas provenientes da radiação pelo vidro são as menores dentre as cargas provenientes dos componentes dos protótipos, sendo as maiores na parede, exceto em Hercílio Luz, onde as cargas de pico provenientes da parede e da janela, ambas originadas da condução, são iguais. A integração das cargas de pico dos componentes do protótipo 49 da figura 74 é de 6,3 kW. Finalmente, a figura 75 apresenta as cargas de pico para o ano de 1997 no protótipo 79. As cargas de pico provenientes do vidro são mais altas, seguidas das cargas de pico provenientes da janela e, por fim, da parede. Como nas figuras anteriores, as mais altas cargas de pico são encontradas no LABSOLAR. A integração média das cargas de pico da parede, da janela e do vidro resulta em 9,7 kW.

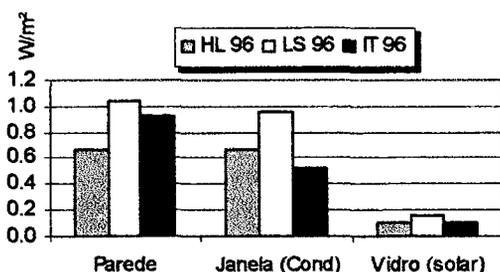


FIGURA 72 - Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, no ano de 1996.

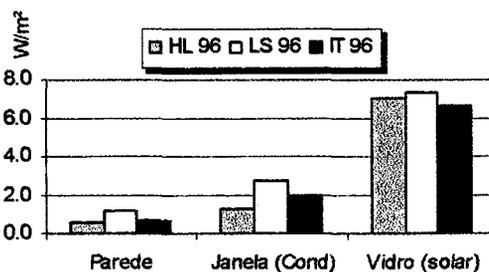


FIGURA 73 - Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, no ano de 1996.

LABSOLAR possui as maiores cargas de pico provenientes tanto da alvenaria e da janela, ambos por condução, quanto do vidro, por radiação. A parcela da carga de pico proveniente da radiação solar (vidro) no protótipo 49 (figuras 72 e 74) é menor do que a condução devido à proteção solar horizontal (*brise*) presente neste protótipo, que reduz a incidência da radiação direta nos vidros. Assim, a carga de pico proveniente da radiação no protótipo 49 é devido à reflexão no piso de albedo 0,2 já que não foram inseridos quaisquer elementos exteriores no modelo. Embora possa aparentar que as escalas sejam a mesma, a ordem de grandeza das figuras 72 e 74, é de 0 a 1,2 W/m², e das figuras 73 e 75 é de 0 a 8 W/m², o que significa que as cargas de pico dos protótipos 49 são no máximo 15 % das cargas de pico dos protótipos 79.

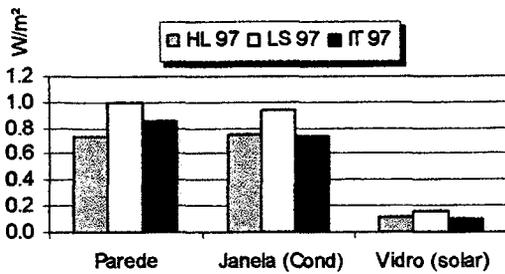


FIGURA 74 - Cargas de pico por componente no protótipo 49, menos sensível às variações externas, no ano de 1997.

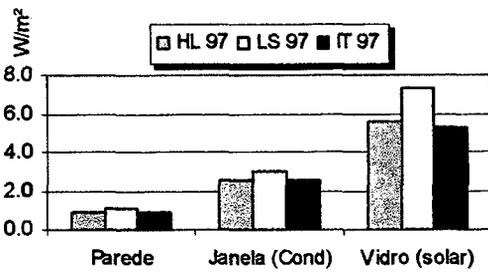


FIGURA 75 - Cargas de pico por componente no protótipo 79, mais sensível às variações externas, no ano de 1997.

A figura 76 apresenta as cargas de pico dos protótipos nos dois anos simulados, 1996 e 1997. As cargas de pico totais no edifício são maiores no LABSOLAR. As menores são, em geral, em Hercílio Luz, porém com poucas diferenças em relação ao Itacorubi. As cargas de pico dos protótipos 49 são cerca de 1/3 das cargas de pico dos protótipos 79. Não há diferenças significativas entre anos.

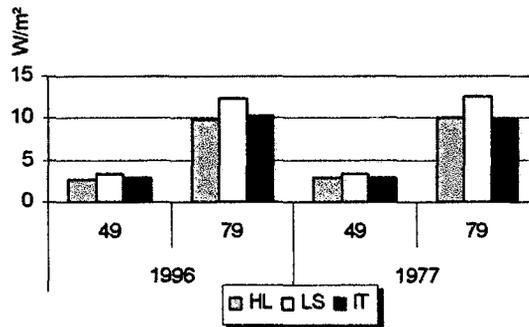


FIGURA 76 - Cargas de pico nos protótipos nos anos de 1996 e 1997 em Florianópolis.

5.3.2.3. GANHOS TÉRMICOS

Os ganhos térmicos são os ganhos de calor absorvidos por um ambiente ou sistema fechado (ASHRAE, 2001). São extraídos dos arquivos horários do DOE 2.1-E, ou seja, são os ganhos hora a hora dos componentes da edificação calculados pelo *Loads*, um dos módulos de cálculo do DOE 2.1-E. Neste caso, em razão da pequena diferença entre os ganhos térmicos originados da densidade de carga interna constante em todos os protótipos e devido ao baixo valor dos

ganhos térmicos originados da cobertura numa edificação de 10 pavimentos, foram avaliados os ganhos térmicos horários oriundos de três fontes apenas: ganhos por condução provenientes da alvenaria e janela e por radiação solar através do vidro.

A figura 77 apresenta a média anual dos ganhos térmicos horários em Florianópolis em no protótipo 49 nos três anos simulados: 1995, 1996 e 1997. Os valores negativos referem-se às perdas de calor através do componente. As menores perdas, pela parede, encontram-se em Hercílio Luz, assim como os maiores ganhos térmicos através do vidro. Na figura 78, onde é mostrada a média anual dos ganhos térmicos em Florianópolis para o protótipo 79, os mais altos ganhos térmicos, através do vidro, também se encontram em Hercílio Luz. Notar que, apesar das colunas terem as mesmas dimensões nas duas figuras (77 e 78), a grandeza contida no eixo das coordenadas é diferente. Conclui-se então que as maiores médias anuais dos ganhos térmicos provenientes da radiação solar foram encontradas nos dois protótipos em Hercílio Luz, seguidas do LABSOLAR e, por fim, Itacorubi, apesar de o Itacorubi ter apresentado máximos de ganhos térmicos horários nos protótipos 49 em 1996 e o LABSOLAR em 1997.

Os ganhos provenientes da radiação solar no vidro no protótipo 49 são pequenos em relação ao protótipo 79 devido à proteção horizontal (*brise*) existente no protótipo 49 apenas, assim como observado nos gráficos de cargas de pico.

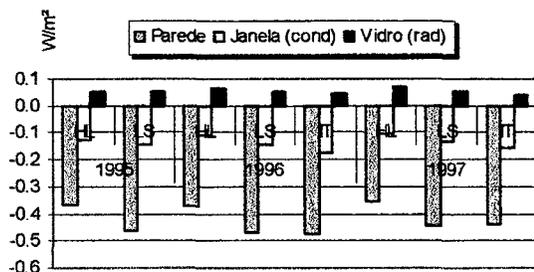


FIGURA 77 - Média anual dos ganhos térmicos por componente no protótipo 49 em Florianópolis.

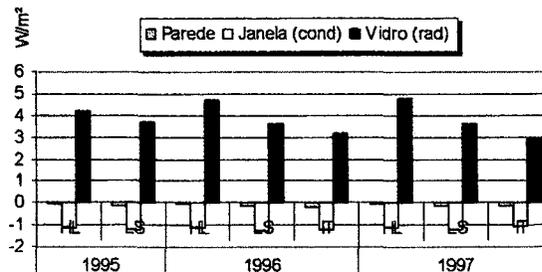


FIGURA 78 - Média anual dos ganhos térmicos por componente no protótipo 79 em Florianópolis.

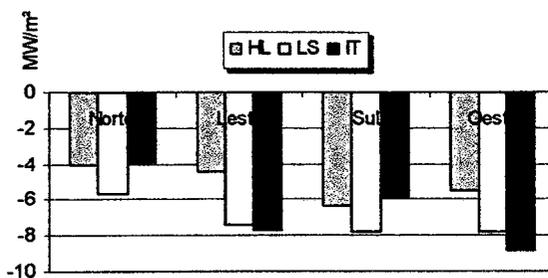


FIGURA 79 - Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 49 em 1996.

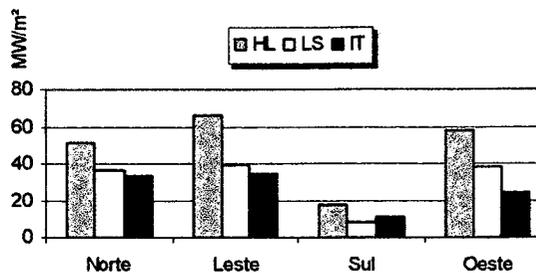


FIGURA 80 - Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 79 em 1996.

A figura 79 apresenta a soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 49 em 1996 discriminados por zonas: norte, leste, sul e oeste. Na soma total, há maiores perdas de calor, devido ao inverno de Florianópolis, do que ganhos. Nas zonas leste e oeste, as menores perdas de calor encontram-se em Hercílio Luz. Já nas zonas norte e sul, menores perdas ocorrem no Itacorubi. A figura 80, que apresenta a soma dos ganhos térmicos anuais em 1996 no protótipo 79, apresenta ganhos térmicos intensos. As zonas dos protótipos 79 simulados em Hercílio Luz recebem mais calor do que as zonas norte, leste, sul e oeste dos protótipos 79 das demais localidades. Em geral, o Itacorubi apresenta mais baixos ganhos térmicos, exceto na zona sul, onde os menores ganhos ocorrem no LABSOLAR.

Os ganhos térmicos, ou as perdas térmicas, das zonas do protótipo 49 em 1997 são apresentados na figura 81. O Itacorubi tende a apresentar as maiores perdas de calor, enquanto as zonas de Hercílio Luz apresentam as menores perdas de calor. Na figura 82, onde os ganhos térmicos das zonas dos protótipos 79 são mostrados, todas as zonas simuladas em Hercílio Luz receberam mais calor em 1997 do que as zonas das outras localidades. As zonas do Itacorubi apresentam os menores ganhos de calor dentre as localidades simuladas. Percebe-se então que, em geral, as zonas de Hercílio Luz apresentam as menores perdas térmicas ou os maiores ganhos térmicos, enquanto as zonas do Itacorubi apresentam as maiores perdas ou menores ganhos de calor. Este fenômeno é confirmado na figura 83, onde são mostrados os ganhos térmicos anuais dos protótipos nos dois anos simulados, 1996 e 1997. Os maiores ganhos ocorrem nos protótipos simulados com os arquivos climáticos do Aeroporto Hercílio Luz e os menores, com os arquivos climáticos cujos dados foram medidos no Itacorubi.

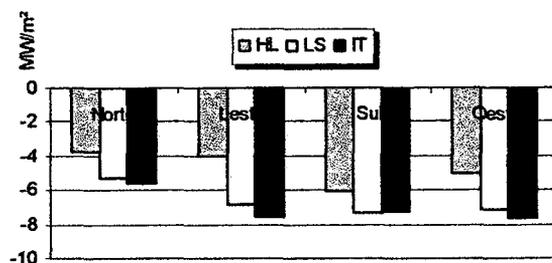


FIGURA 81 - Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 49 em 1997.

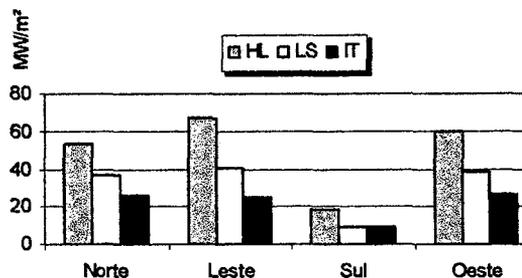


FIGURA 82 - Soma dos ganhos térmicos anuais no protótipo 79 em 1997.

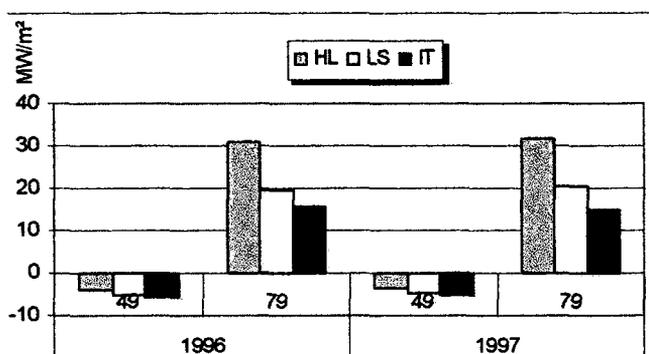


FIGURA 83 - Soma dos ganhos térmicos anuais em Florianópolis em 1996 e 1997.

Além dos ganhos de calor entre os protótipos simulados com os arquivos climáticos selecionados para Florianópolis, a simulação dos protótipos 49 e 79 com o TRY, ano climático de referência, gerou arquivos horários com os ganhos térmicos do TRY. A tabela 32 apresenta as somas das médias dos ganhos térmicos – da parede e janela, por condução, e do vidro por radiação – e as porcentagens das diferenças entre os ganhos térmicos dos protótipos simulados com o TRY de Florianópolis e com os arquivos climáticos dos sítios estudados. No protótipo 49, as diferenças entre os ganhos térmicos do TRY e do LABSOLAR são pequenas em todos os anos, assim como entre o TRY e o Itacorubi em 1997. As maiores diferenças dos ganhos térmicos do TRY são com os protótipos de Hercílio Luz, com maior consumo no TRY. No protótipo 79, as maiores diferenças são também encontradas entre o TRY e Hercílio Luz, porém com maior consumo em Hercílio Luz. As menores diferenças ocorrem novamente no LABSOLAR, sendo intermediárias as diferenças entre os ganhos térmicos no TRY e no Itacorubi.

TABELA 32 - Soma das médias dos ganhos térmicos por componente e as porcentagens das diferenças entre os ganhos térmicos do TRY e sítios. ((TRY-sítios)/TRY)

		1995		1996			1997			1996
		HL	LS	HL	LS	IT	HL	LS	IT	TRY
W/m²	49	-0,45	-0,55	-0,41	-0,57	-0,61	-0,39	-0,52	-0,56	-0,55
	79	3,05	2,32	3,52	2,26	1,81	3,63	2,33	1,69	2,18
%	49	18 %	0	25 %	-4 %	-11 %	29 %	5 %	-2 %	
	79	-40 %	-6%	-61 %	-4 %	17 %	-67 %	-7 %	22 %	

5.3.3. DISCUSSÃO

As tabelas 33 e 34 apresentam os resumos dos principais fenômenos topoclimáticos e de desempenho dos protótipos em Florianópolis. Na tabela 34, a forte correlação, de coeficiente de determinação de 0,83, entre as temperaturas do LABSOLAR e do Itacorubi advém da pequena distância, livre de barreiras naturais, entre estas estações (figura 17). Mesmo não se repetindo em 1997, foi encontrada uma forte correlação entre Hercílio Luz e Itacorubi em 1996 enquanto esta foi fraca entre Hercílio Luz e o LABSOLAR nos dois anos, apesar destes dois sítios serem geograficamente mais próximos entre si do que Hercílio Luz e Itacorubi. Vale lembrar que o LABSOLAR encontra-se mais afastado das Baías Norte e Sul se comparado às estações de Hercílio Luz e Itacorubi, conforme visto nas figuras 16 e 17. Também está protegido, a oeste, pelo Maciço do Morro da Cruz, enquanto não há, em Hercílio Luz e na estação do Itacorubi, barreiras topográficas tão próximas⁴. Esta semelhança geográfica resulta em duas semelhanças nos dados climáticos das estações do Itacorubi e de Hercílio Luz que as diferenciam do LABSOLAR:

- Os graus hora em Hercílio Luz e no Itacorubi aumentaram em 7 % e 18 % de 1996 para 1997 enquanto no LABSOLAR reduziram em 32 % no mesmo período, conforme tabela 33.

⁴ A influência do Morro da Cruz no LABSOLAR tende a ser maior que a do Morro da Lagoa na estação do Itacorubi em razão desta estar localizada na outra extremidade do bairro, afastada do Morro da Lagoa. Em PAMPLONA (1999) é possível observar a contribuição da topografia na circulação dos ventos na área.

- As mais altas taxas de umidade relativa, acima de 90 %, estão presentes no Itacorubi e em Hercílio Luz. A umidade relativa média anual é mais baixa no LABSOLAR, também na tabela 33.

Os protótipos 49, menos sensíveis às alterações topoclimáticas, simulados no Itacorubi apresentaram os mais baixos consumos anuais (tabela 33), o que pode ser facilmente explicado ao se verificar que os mais baixos graus hora ocorrem no Itacorubi e que as somas anuais da radiação solar global incidente sobre o Itacorubi são também as mais baixas. De fato, a parcela das cargas de pico provenientes da radiação solar que atravessa o vidro assim como as médias dos ganhos térmicos anuais são inferiores no Itacorubi. Já os maiores consumos nos protótipos 49 ocorrem no LABSOLAR, sendo os maiores graus hora, em geral, no LABSOLAR, apesar da radiação ser mais intensa em Hercílio Luz (tabela 33). Como nos protótipos 79 os maiores consumos ocorrem sempre em Hercílio Luz, é possível perceber a diferença de resposta dos protótipos a diferentes fatores climáticos: o consumo no protótipo 49 responde melhor às variações na temperatura enquanto o consumo no protótipo 79 responde melhor às variações na radiação solar.

A radiação solar incidente sobre Hercílio Luz, a mais intensa dos três sítios estudados, e sobre o Itacorubi, a mais amena, e, em menor importância, nos graus hora, explica a diferença no consumo de 11 % entre Hercílio Luz e o Itacorubi em 1996 e de 18 % em 1997. É interessante notar que nos locais, Itacorubi e Hercílio Luz, onde as diferenças de consumo entre sítios foram máximas no protótipo 79 – 11 % e 18 %, foram observadas as diferenças de consumo mais baixas, porém no protótipo 49 – 2 % e 3 %. Novamente, percebe-se que o consumo do protótipo 49 está diretamente relacionado aos graus hora já que a máxima diferença de consumo entre sítios no protótipo 49 em Florianópolis ocorreu em 1996 entre o LABSOLAR e o Itacorubi, 6 %, assim como a máxima diferença de graus hora de 58 %; e as mínimas diferenças de consumo entre sítios – 2 % – em geral ocorrem nos anos e locais onde as diferenças entre os graus hora são também as mais baixas, entre LABSOLAR e Hercílio Luz em 1995, 18 %, e em 1997, 3 %. No entanto, deve-se lembrar que a radiação solar em Hercílio Luz é calculada enquanto a radiação solar no LABSOLAR e no Itacorubi é medida. Ainda assim, a diferença encontrada entre a radiação global do LABSOLAR e do Itacorubi é alta considerando a proximidade geográfica destas duas estações. Uma visita à estação do Itacorubi constatou que não há calibração frequente do piranômetro, o que pode ser responsável pelos dados de radiação horária

encontrados medidos no local. Estes dados então devem ser analisados com cuidado, pois é possível que não descrevam a realidade do local, o que não foi possível confirmar em tempo hábil para esta pesquisa.

Se os consumos e suas diferenças são bem relacionados aos fatores climáticos, o mesmo não se repete quando as cargas de pico devem ser relacionadas ao clima. Deve-se lembrar que os consumos são anuais e as cargas de pico referem-se à carga máxima de calor numa determinada hora de um dia do ano. O LABSOLAR abriga os protótipos cujas cargas de pico são as máximas dentre os três sítios simulados, mesmo sendo Hercílio Luz o local cuja incidência de radiação solar é mais intensa. Vale lembrar que os protótipos 49 apresentam os maiores consumos anuais no LABSOLAR enquanto os maiores consumos nos protótipos 79 ocorrem em Hercílio Luz.

TABELA 33 - Resumo das diferenças entre fatores climáticos, consumo, cargas de pico e ganhos térmicos em Florianópolis.

		HL	LS	IT	Média total
Porcentagem média dos graus hora em relação ao máximo (%)	1996	82	100	42	
	1997	100	97	70	
Porcentagem média da soma anual da radiação global em relação ao máximo (%)		100	77	65	
Porcentagem média da umidade relativa em relação ao máximo (%)		98	95	100	
Consumo anual médio (kWh/m ²)	Protótipo 49	67,4	69,3	66,1	67,8
	Protótipo 79	171,8	163,8	151,3	163,7
Cargas de pico médias (W/m ²)	Protótipo 49	2,7	3,4	2,9	3
	Protótipo 79	10,0	12,5	10,1	11
Média das somas do ganhos térmicos anuais (MW/m ²)	Protótipo 49	-4	-5	-5	-5
	Protótipo 79	31	20	15	22
Diferença média de consumo TRY x sítios (%), por sítio	Protótipo 49	8	5	10	7
	Protótipo 79	-5	0	7	4

TABELA 34 - Resumo dos coeficientes de determinação entre os sítios e as diferenças médias de consumo entre sítios.

		HL x IT	LS x HL	IT x LS	Média total
Coeficiente de determinação das TBS entre sítios	1996	0,82	0,61	0,83	
	1997	0,66	0,51	0,83	
Porcentagem das diferenças de consumo entre sítios (%)	Protótipo 49	2	3	5	3
	Protótipo 79	14	5	8	9

TABELA 35 - Porcentagem das diferenças médias de consumo entre o TRY e os sítios, agrupadas por ano.

Protótipo	95	96	97	Média dos módulos
49	7 %	7 %	7 %	7 %
79	-2 %	4 %	6 %	4 %

Já nos ganhos térmicos, a relação com os dados climáticos é direta e de fácil visualização. A radiação solar é responsável pelos ganhos térmicos por zona nos protótipos de Hercílio Luz que são em geral maiores que no Itacorubi ou no LABSOLAR, mesmo nos protótipos 49, salvo poucas exceções como a zona sul em 1996. Por sua vez, os protótipos do Itacorubi, local com menor incidência de radiação solar, tendem a apresentar os menores ganhos térmicos nos protótipos 79, assim como as maiores perdas de calor, como ocorre nos protótipos 49. É possível também perceber que, tanto nas zonas quanto nos protótipos, os ganhos térmicos nos protótipos 49 são negativos (figuras 76 e 78). A razão pela qual este protótipo perde mais calor do que recebe é a mesma pela qual este protótipo possui mais baixos ganhos térmicos – por radiação – no vidro quando comparados aos ganhos por condução da parede ou da janela. O *brise* contido somente no protótipo 49 impede que este receba fração de calor equivalente ao que atravessa o vidro do protótipo 79, mas não o impede de perder o calor interno por condução.

A princípio então, o protótipo 49 deveria sofrer um estudo mais aprofundado devido às perdas de calor durante o inverno de Florianópolis mas, se for observada a escala do eixo das coordenadas dos protótipos 49 e 79 é possível perceber que o protótipo 79 ganha de 10 MW/m² a 70 MW/m² enquanto o protótipo 49 perde somente 4 MW/m² a 9 MW/m² em um ano. Assim, pode-se concluir que, em um balanço anual dos ganhos e perdas de calor, o protótipo 79 recebe muito calor enquanto o protótipo 49 não perde uma quantidade equivalente de calor, havendo então

maior estabilidade entre os ganhos e perdas térmicas no protótipo 49 ao final de um ano, do que entre os ganhos e perdas térmicas no protótipo 79.

Considerando aspectos qualitativos, pode-se afirmar que o alto consumo do protótipo 79 em Hercílio Luz foi consequência da alta radiação solar incidente no local, ainda que calculada, assim como o alto consumo do protótipo 49 foi consequência de graus hora máximos no LABSOLAR. Não houve alto consumo de energia nos protótipos simulados no Itacorubi, onde a radiação solar e os graus hora foram os mais baixos dentre as três localidades. Assim, o sítio onde ocorreram as mais altas temperaturas é das áreas estudadas o mais urbanizado, o sítio onde incide a radiação mais intensa é o mais livre de obstruções na direção leste-oeste e, por fim, o sítio onde a umidade relativa mostrou ser mais alta localiza-se ao lado do mar e de um mangue. Estas diferenças nas características dos locais onde foram simulados os protótipos provocam as diferenças topoclimáticas que, por sua vez, alteram o consumo do ar condicionado. Em Florianópolis foram encontradas diferenças máximas de consumo entre sítios de 18 %, o que é significativo no consumo de uma edificação, principalmente considerando que esta diferença é somente no consumo do ar condicionado. Num edifício cujo envelope o proteja das variações topoclimáticas, a diferença no consumo do ar condicionado pode chegar a 6 %, porcentagem também significativa.

Ao incluir a simulação do consumo dos protótipos utilizando um arquivo climático do ano climático de referência, TRY, de Florianópolis, estas diferenças máximas de 18 % e 6 % se alteram. As diferenças de consumo encontradas passam a ser então entre o TRY e cada sítio estudado, com diferenças máximas de 10 % no protótipo 49 e 9 % no protótipo 79. As diferenças médias totais, como visto na tabela 33, foram de 7 % e 4 % nos protótipos 49 e 79, respectivamente. Pode-se concluir então que a simulação do desempenho térmico de uma edificação em Florianópolis utilizando o TRY pode alterar em até 10 % o consumo de um edifício, ou seja, a diferença entre o consumo de um edifício simulado com o TRY e um edifício simulado com outro arquivo climático pode ser de até 10 %.

Ao analisar as condicionantes topoclimáticas, percebe-se que as pequenas diferenças entre a radiação global do TRY e do LABSOLAR, -10 %, -9 % e -6 %, se refletem nas diferenças de consumo entre o TRY e o Labsolar no protótipo 79 (tabela 33). As menores diferenças de consumo no protótipo 49 são também entre o TRY e o LABSOLAR, porém as diferenças entre os graus hora do TRY e do LABSOLAR não são as menores dentre os três sítios, o que implica na existência de um outro fator que influencia o consumo do protótipo 49. Ao observar as

pequenas diferenças entre os graus hora do TRY e do Itacorubi, 2 % e 13 %, e a maior diferença entre o consumo dos protótipos simulados com estes arquivos climáticos, 10%, percebe-se que realmente os graus hora não são o único fator que determinam a variação do consumo do protótipo 49. Sabe-se que o TRY possui dados de vento diferentes dos demais arquivos, o que pode ter alterado a influência da temperatura no consumo final do protótipo 49. No entanto, a análise das velocidades do vento não foi suficiente para determinar sua participação no consumo. Mas, como mostrado na análise entre o consumo dos arquivos IT_{HL} e IT₀, é possível que o vento altere o consumo de forma ainda não esclarecida.

As médias por sítio das diferenças de consumo entre o TRY e os anos, agrupadas por sítios, na tabela 33, mostram que, no Itacorubi, as diferenças de consumo com TRY foram de 10 % no protótipo 49 e de 7 % no protótipo 79. A tabela 35 apresenta estas mesmas médias, porém agrupadas por ano, das diferenças de consumo entre o TRY e os sítios. Nesta, a máxima diferença de consumo encontrada no protótipo 49 foi de 7 %, igual para todos os anos, enquanto no protótipo 79 foi de 6 %. A amplitude das médias das diferenças entre o consumo do TRY e dos anos chegou a 5 % e 7 % enquanto as diferenças médias entre o consumo do TRY e dos sítios, agrupadas por ano, apresentaram amplitudes menores, de 0 e 4 %. Foi identificada então uma diferença média entre o consumo simulado com o TRY e com arquivos climáticos de cada sítio em um mesmo ano que são mais próximos da média total que a diferença de consumo encontrada na simulação de vários anos de um mesmo sítio. Conclui-se então que, simulando o consumo em uma cidade através de um arquivo TRY, há uma diferença média no consumo do TRY de 4 % em um edifício menos sensível a variações climáticas e de 7 % em um edifício sensível a variações climáticas para uma simulação em qualquer local na cidade. Esta diferença pode ser estimada simulando o consumo com arquivos climáticos de diferentes sítios em um mesmo ano e adotada para outros anos, enquanto que as diferenças de consumo provenientes do ano climático de referência não devem ser adotadas para outros locais de uma mesma cidade quando simulados diversos anos de arquivos climáticos provenientes de uma mesma estação.

5.3.4. ANÁLISE DA RADIAÇÃO GLOBAL MEDIDA NO ITACORUBI

Como visto, foram encontradas grandes diferenças na intensidade da radiação global horária medidas no Itacorubi e no LABSOLAR. Mesmo que havendo diferenças de nebulosidade, os dados do Itacorubi pareceram não ser totalmente confiáveis. Como não foi possível realizar medições em dia de céu claro para conferir a intensidade da radiação global incidente no

Itacorubi e no LABSOLAR, a análise baseou-se somente em dados medidos no LABSOLAR e no Itacorubi em dias de céu claro de setembro de 1997 a março de 1998. Neste período, foram medidas 137 horas de radiação solar em dias de céu claro nos dois locais, cujas diferenças são apresentadas na figura 84.

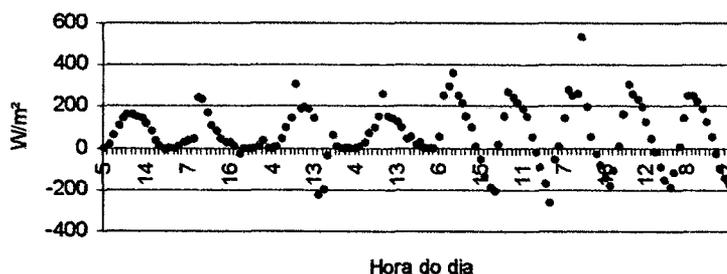


FIGURA 84: Diferenças entre a radiação global medida no Labsolar e no Itacorubi em dias de céu claro.

A máxima diferença encontrada foi de 525 W/m^2 , com médias de 113 W/m^2 . Em geral, as diferenças não ultrapassaram 350 W/m^2 . Em visita ao local de medição, foi constatado que o piranômetro nunca foi calibrado, carecendo ainda de manutenção. Constatou-se também que o piranômetro não é de primeira classe, como o piranômetro utilizado no LABSOLAR, estação utilizada para comparar os dados do Itacorubi. É possível, então, que os dados de radiação solar horária medidos no Itacorubi não correspondam às condições reais de radiação global incidente no local. Recomenda-se assim, cautela no uso dos dados horários de radiação solar global medidos no Itacorubi.

5.4. DISCUSSÃO FINAL

Ao contrário do Rio de Janeiro e de Manaus, os arquivos climáticos de Florianópolis possuem registros diferenciados de radiação solar ou nebulosidade, o que foi fundamental na variação das diferenças de consumo entre protótipos. Estas podem variar em até 6 % dependendo do sítio, neste caso, de 61 % em Hercílio Luz para 55 % no Itacorubi. Com dados idênticos de radiação solar, a variação das diferenças de consumo entre protótipos não passou de 2 % em Manaus (tabela 36), sem variações no Rio de Janeiro.

TABELA 36 - Resumo dos fatores climáticos e desempenho dos protótipos nas três cidades estudadas.

		Rio de Janeiro	Manaus	Florianópolis
Maior R ² de TBS entre estações		0,82	0,78	0,83
Dif. média de graus hora (%)		49	3	31
Dif. máxima da radiação entre estações (%)		0	0	39
Consumo (kW/m ²)	Protótipo 49	80	101	68
	Protótipo 79	194	221	164
Diferença de consumo entre protótipos (%)		59	52	58
Diferença de consumo entre sítios (%)	Protótipo 49	6	1,0	3
	Protótipo 79	6	1,8	9
Diferença de consumo entre anos (%)	Protótipo 49	1,2	1,7	1,0
	Protótipo 79	1,5	1,6	2,2

No Rio de Janeiro, as médias das diferenças de consumo entre sítios dos protótipos 49 e 79 são iguais, 6 % e, em Manaus, as médias das diferenças de consumo entre sítios nos dois protótipos são semelhantes, com uma diferença de apenas 0,8 % entre o protótipo 49 e o 79. Em Florianópolis, a diferença do protótipo 49 para o 79 é de 6 %, sendo as diferenças médias de consumo entre sítios de 3 % no protótipo 49 e 9 % no protótipo 79. Conforme mostrado na tabela 36, não há diferenças na intensidade da radiação solar das estações do Rio de Janeiro e Manaus, enquanto em Florianópolis, a máxima diferença na radiação global entre sítios ocorre entre Hercílio Luz e o Itacorubi, de 39 %, em 1997. A menor diferença encontrada entre as estações de Florianópolis é 22 %, entre Hercílio Luz e LABSOLAR em 1996. Assim, percebe-se que a diferença de radiação solar entre sítios pode refletir-se na variação das diferenças de consumo entre sítios, variação esta que depende das características do envelope da edificação.

Além da variação encontrada nas diferenças de consumo entre sítios dependente do tipo de protótipo quando há dados distintos de radiação solar global, a grandeza destas porcentagens também variou de uma cidade para outra. Analisando o protótipo 79, as diferenças de consumo entre sítios em Florianópolis mostraram ser maiores, 9 %, do que as diferenças encontradas no Rio de Janeiro, de 6 %, e em Manaus, cuja média foi 1,8 %. As máximas diferenças de consumo entre sítios foram de 18 % em Florianópolis, 8 % no Rio de Janeiro e em Manaus, 2,5 %. Apesar das diferenças de consumo entre sítios no Rio de Janeiro serem significativas, sua amplitude foi

pequena, 3 %, em relação a Florianópolis, cuja amplitude foi de 16 % - mínima de 2 % e máxima de 18 %. Esta maior amplitude e maior grandeza nas diferenças de consumo entre sítios em Florianópolis se devem a três principais fatores: há uma estação climática a mais para análise em Florianópolis; há dados distintos de radiação em suas estações e a diferença entre graus hora é alta, com diferença máxima de graus hora entre sítios de 58 % e média de 31 %. As diferenças de graus hora entre sítios de Florianópolis é o fator que se equipara à diferença de graus hora entre sítios do Rio de Janeiro, cuja diferença máxima é de 52 %, com diferença média de 49 %. Este fator pode explicar porque somente em Manaus as diferenças de consumo entre sítios foram tão baixas: além de possuir dados idênticos de radiação solar como no Rio de Janeiro, as diferenças máximas de graus hora não ultrapassaram 7 %, com médias de 3 % (tabela 36).

Enquanto as médias das diferenças de consumo de energia elétrica entre protótipos e entre sítios em Florianópolis apresentaram diferentes grandezas em relação às do Rio de Janeiro e Manaus, as porcentagens das diferenças médias de consumo entre anos mostraram-se equivalentes de uma cidade às demais, variando em 1,2 % somente (tabela 36). Porém, analisando cada sítio e protótipo separadamente, as diferenças de consumo entre anos de Florianópolis mostraram ser de maior grandeza do que as do Rio de Janeiro e Manaus, com uma diferença máxima de 4,1 % no Itacorubi de 1996 para 1997 no protótipo 79 enquanto Rio de Janeiro e Manaus apresentam diferenças máximas de consumo entre anos de 2,9 % (tabela 18) e 2,5 % (tabela 22), respectivamente. Enquanto no Rio de Janeiro e em Manaus os dados de radiação solar são idênticos, em Florianópolis a diferença na radiação solar global de 1996 para 1997 no Itacorubi mostrou ser a maior dentre as estações, sendo 10,7 % (tabela 24), o que mostra a influência da radiação solar nas diferenças entre anos. Esta influência é confirmada ao perceber as inexistência de diferenças do consumo entre anos do protótipo 49 no mesmo período e local, protótipo este protegido da radiação solar, com WWR de 20 % e *brises*. Ou seja, no local onde diferença de radiação de um ano para o seguinte é alta, é o local onde o protótipo mais exposto à radiação solar apresenta diferença de consumo entre anos significativa, enquanto o protótipo mais protegido da radiação solar a diferença de consumo entre anos é zero.

A comparação dos resultados das diferenças de consumo das três cidades estudadas mostra como as diferenças presentes entre os fatores dos arquivos climáticos podem determinar o grau de diferenças encontradas na simulação do consumo de uma edificação, o que também depende de seu envelope. Deve-se atentar então para a qualidade dos dados medidos que, em alguns casos, comprometem maiores conclusões, como as observações de nebulosidade nos locais onde não

havia medições de radiação solar, as medições de radiação solar no Itacorubi, ou a inexistência de dados de vento no LABSOLAR. Deve-se também atentar para o tipo de fator climático que pode apresentar variações significativas quando combinado às características arquitetônicas do edifício, a fim de identificar a relevância dos dados - presentes no arquivo climático - no consumo da edificação.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

As diferenças de consumo entre os sítios urbanos e os anos selecionados foram simuladas para verificar quanto podem influir as diferenças nos dados climáticos medidos em diferentes estações de uma mesma cidade e medidos em diferentes anos em uma mesma estação na avaliação do desempenho térmico de uma edificação.

As diferenças medidas nas estações são consequência das diferenças na paisagem de seus sítios, nem sempre na zona rural. Diferenças na topografia, na cobertura vegetal ou na forma urbana alteram as condições de ventilação. Diferenças da presença de elementos naturais como rios ou baías, cobertura do solo ou impermeabilização, alteram as condições de umidade. Diferenças nas características dos materiais – albedo, emissividade – que compõem a paisagem natural ou urbanizada alteram as condições da temperatura do ar.

As diferenças ocorridas entre os anos são consequência das alterações macroclimáticas, ou seja, no clima zonal e regional, que tendem a ser cíclicas.

O objetivo deste trabalho é então comparar as diferenças de consumo simulado com arquivos climáticos medidos em diferentes locais em uma mesma cidade e medidos em diferentes anos em uma mesma estação climática.

Estas diferenças de consumo de energia elétrica, tanto entre anos quanto entre sítios, podem se alterar dependendo das características da edificação. Assim, foram utilizados dois protótipos, um menos sensível às variações do ambiente externo e outro mais sensível, de forma a avaliar a variação, por protótipo, destas diferenças de consumo. O menos sensível era composto de *brises* horizontais, WWR de 20 % e U_{par} de 1,92 W/m²K, dentre outras características. O protótipo mais sensível às variações do ambiente externo era composto de WWR de 80 %, sem *brises*, com U_{par} de 4,35 W/m²K, dentre outras propriedades.

Embora este trabalho tenha sido realizado com 20 arquivos climáticos mais um TRY, para 3 capitais brasileiras, Rio de Janeiro, Manaus e Florianópolis, há uma dificuldade em se obter arquivos climáticos de qualidade no Brasil que pode ser exemplificada pelos ajustes realizados no tratamento dos arquivos climáticos:

- A porcentagem de dados nos arquivos climáticos de 1987 a 1989 do Rio de Janeiro era pequena, média de 28 %, porém estes anos foram utilizados na simulação por serem os mais recentes que continham dados de nebulosidade. Foi necessária então uma interpolação de muitos dados para completar as 8760 horas de um arquivo climático. O

procedimento foi possível devido à boa distribuição dos dados climáticos nas 8760 horas do ano.

- Dados de nebulosidade foram importantes onde dados horários de radiação solar não foram medidos nas estações. Entretanto, os mesmos dados de radiação solar foram adotados nos arquivos climáticos das duas estações climáticas da cidade do Rio de Janeiro por haver observações das condições de nebulosidade em somente uma estação climática, a de Santos Dumont. Em Manaus, o procedimento foi também adotado, pois somente a estação de Ponta Pelada registrou dados horários de nebulosidade.
- Em Florianópolis, foi necessário utilizar os mesmos dados de direção e velocidade do vento para todos os arquivos climáticos de um mesmo ano em razão das estações do LABSOLAR e Itacorubi não terem medido o vento durante o período analisado.
- Os dados de radiação solar do Itacorubi mostraram-se duvidosos devido à qualidade do sensor utilizado e à falta de calibração no equipamento.
- O arquivo TRY utilizado na análise foi o TRY original utilizado atualmente em simulações portanto, não teve dados horários de nebulosidade convertidos para radiação solar, como os demais arquivos climáticos simulados.

Estas limitações têm impacto nas conclusões, devendo ser levadas em consideração na análise.

No Rio de Janeiro, cidade onde os dados de radiação solar dos arquivos climáticos eram iguais entre os sítios e a diferença média nos graus hora foi de 49 %, a diferença de consumo entre sítios foi de 6 %, tanto no protótipo menos sensível quanto no protótipo mais sensível às variações do ambiente externo. Não foram encontradas diferenças de consumo significativas entre os anos simulados, com médias de 1,2 % no protótipo menos sensível e 1,4 % no protótipo mais sensível às variações topoclimáticas.

As diferenças médias de graus hora entre sítios, 49 % maior em A. C. Jobim, podem ser explicadas pela sua proximidade ao continente em relação a Santos Dumont, próximo à abertura da Baía da Guanabara para o Oceano Atlântico. Daí o maior consumo encontrado nos protótipos simulados em A. C. Jobim, mesmo sendo Santos Dumont próximo à área densa e verticalizada do centro. No entanto, seria interessante obter dados medidos no centro do Rio de Janeiro, onde, acredita-se, poderiam ser encontradas diferenças no consumo em relação aos protótipos simulados em Santos Dumont.

Em Manaus, cidade onde os dados de radiação solar dos arquivos climáticos eram iguais entre os sítios e a diferença média nos graus hora foi de 3 %, com máxima de 7 %, a diferença de

consumo entre sítios foi baixa, de 1,0 % no protótipo menos sensível à variações externas e 1,8 % no protótipo mais sensível. As diferenças entre anos também não foram significativas, com diferenças médias de 1,7 % no protótipo menos sensível e 1,6 % no protótipo mais sensível.

A princípio, esperava-se que os protótipos simulados com arquivos climáticos de Ponta Pelada apresentassem maior consumo devido a sua proximidade do centro de Manaus. No entanto, percebeu-se que as diferenças topoclimáticas não foram significativas para alterar o consumo de energia dos protótipos simulados com arquivos climáticos do Aeroporto Eduardo Gomes e de Ponta Pelada, ou seja, a dinâmica urbana pouco influenciou no consumo de energia dos protótipos simulados em Ponta Pelada.

Em Florianópolis, cidade cujos dados de radiação solar eram diferentes entre os sítios, chegando a um máximo de 11 %, e a diferença média dos graus hora entre os sítios foi de 30 %, com diferença máxima de 58 %, as diferenças de consumo entre sítios variaram segundo o protótipo:

- No protótipo menos sensível às variações do ambiente externo, as diferenças de consumo entre sítios, de média 3 %, porém de máxima de 6 %, foram regidas pelos graus hora.
- No protótipo mais sensível às variações do ambiente externo, as diferenças de consumo entre anos, de média 9 %, e de máxima de 18 %, foram regidas pelas diferenças de radiação solar entre sítios e, com uma menor influência, pelos graus hora.

As diferenças de consumo entre anos não se mostraram significativas, com diferença média de 1,0 % no protótipo menos sensível e de 2,2, % no protótipo mais sensível.

Para finalizar, os consumos dos protótipos simulados com os arquivos climáticos de Florianópolis foram comparados com os consumos simulados com o TRY, ano climático de referência, de Florianópolis de 1963. As diferenças de consumo entre o TRY e cada sítio simulado em seu respectivo ano foi de 7 % em média no protótipo menos sensível e 4 % em média no protótipo mais sensível às condicionantes topoclimáticas, com diferença máxima de 10 %, ocorrida entre o TRY e o Itacorubi em 1996 e 1997.

A variação das médias das diferenças de consumo entre o TRY e os sítios e das médias das diferenças de consumo entre o TRY e os anos mostraram existir uma diferença média de até 7 % que pode ser estimada através da média das diferenças de consumo entre o TRY e sítios distintos. Já as diferenças médias de consumo entre o TRY e cada ano simulado, agrupadas por

sítio, mostraram ser diferentes da média total da diferença de consumo entre o TRY e o sítios e anos estudados.

Esperava-se que, pela baixa ocupação do entorno de Hercílio Luz, nesta localidade seriam encontrados os menores consumos. Percebeu-se, entretanto, que a radiação solar determinou um consumo mais alto nos protótipos simulados neste sítio através dos ganhos térmicos mais altos do que nos protótipos simulados no LABSOLAR e no Itacorubi. Embora fosse esperado também que a ocupação do entorno do LABSOLAR pudesse elevar as temperaturas e por conseguinte, aumentar o consumo dos protótipos simulados com dados daquele local, este fator influenciou somente o consumo de edificações com bom isolamento e proteção contra a radiação, como no protótipo 49. O Itacorubi, que se esperava também apresentar alto consumo, apresentou mais baixos consumos do que os protótipos simulados em Hercílio Luz, área mais afastada da área urbana.

Sendo assim, observa-se uma tendência à radiação solar predominar como fator interveniente no consumo do protótipo sem proteções solares enquanto há uma tendência dos graus hora, ou a temperatura, predominar no protótipo cuja proteção solar isole os efeitos da radiação. Semelhanças na umidade são percebidas nos sítios estudados mas não se refletem no consumo em razão da preponderância da radiação solar e temperatura. A diferença nas velocidades dos ventos urbanos de um sítio para outro pôde alterar o consumo no protótipo menos sensível às mudanças externas quando as diferenças entre os graus hora foram pequenas. Os ganhos térmicos foram influenciados, basicamente, pela radiação solar, mesmo no protótipo 49, menos sensível às mudanças no ambiente externo com aberturas protegidas da radiação solar direta.

Dentre os resultados que mais se destacaram, pode-se afirmar que a diferença média de consumo entre sítios encontrada foi de 6 % no Rio de Janeiro com diferença máxima de 8 %. Em Florianópolis, a diferença média de consumo entre sítios foi de 9 %, com diferença máxima de 18 %. A diferença média de consumo entre anos foi de 2,2 %, com diferença máxima de 4,1 %. E, concluindo, a diferença média de consumo entre o TRY de Florianópolis e os sítios simulados foi de 7 %, com máximo de 10 %.

6.1. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Recomenda-se comparar os dados estimados de radiação solar global do Rio de Janeiro e de Manaus com dados de radiação medidos nestas cidades, a partir de dados de nebulosidade no

mesmo período de medição da radiação solar, para verificar se os coeficientes mensais das equações de estimativa da radiação global necessitam de ajustes.

Sugere-se também um estudo específico para verificação da influência das velocidades e de direções do vento no cálculo do consumo através do DOE 2.1-E para se obter informações acerca das trocas térmicas no envelope do edifício de acordo com a dinâmica dos ventos e das propriedades dos componentes da fachada.

Desenvolvimento de algoritmos para converter dados climáticos de arquivos climáticos medidos em estações climáticas para locais densamente urbanizados a fim de simular edifícios localizados em locais onde não é possível instalar uma estação climática completa.

A comparação do consumo simulado com o TRY e com outros arquivos climáticos de diferentes sítios pode ser estendida a outras cidades de forma a encontrar a diferença média de consumo com o TRY e com outros arquivos climáticos. Já se sabe que a diferenciação de anos é irrelevante, sendo necessário somente processar arquivos climáticos de estações distintas.

E finalmente, com última sugestão para futuros trabalhos na área de eficiência energética, é interessante comparar os consumos simulados com diferentes arquivos climáticos: TRY, WYEC2, TMY2. Para tanto, é necessária a compilação de arquivos climáticos do tipo TMY2 e WYEC2 para cidades brasileiras, bem como criar outros arquivos TRY para cidades em que estes ainda não foram compilados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L., COLLE, S., ALMEIDA, A. P., MANTELLI NETO, S. L. Qualificação e recuperação de dados de radiação solar medidos em Florianópolis -SC. In: BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL ENGINEERING AND SCIENCES, 8th, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ENCIT, 2000.

AKBARI, H. Heat islands, white surfaces, urban trees: impact on heating and cooling energy use and the urban environment. In: ENHANCING ELECTRICITY'S VALUE TO SOCIETY CONFERENCE. *Proceedings...* Toronto: 1990. p. 865-882

AKBARI, H., BRETZ, S. E., HANFORD, J. W., KURN, D. M., FISHMAN, B. L., TAHA, H.G., BOS, W. *Monitoring peak power and cooling energy savings of shade trees and white surfaces in the Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Service Area: data analysis, simulations and results.* Sacramento: LBL, 1993. p. 146 (Technical report).

AL-RABGI, O. M., AL-BEIRUTTY, M. H., FATHALAH, K. A. Estimation and management of electric energy consumption due to air conditioning cooling load. In: *Energy Conservation and Management*, v. 40, p. 1527-1542, 1999.

ASHRAE. *ASHRAE Fundamentals Handbook.* Atlanta: ASHRAE, 2001.

ASSIS, E. S. Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor: análise de desempenho de áreas verdes urbanas em clima tropical. 1990. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

_____. Impactos do clima urbano no conforto térmico e no consumo energético do edifício de escritórios típico de Belo Horizonte, MG. In: NUTAU, 1998, São Paulo. *Anais eletrônicos...* São Paulo: USP, 1998.

BACH, W. Urban Climate, Air Pollution, and Planning. In: DETWYLER, R., MARCUS, M.G. *Urbanization and Environment*. Belmont: Duxbury Press, 19__.

BARBIRATO, G. *Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió-AL*. 1998. 173 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BRANDÃO, A. M. P. M. As alterações climáticas na área metropolitana do Rio de Janeiro: uma provável influência do crescimento urbano. In: ABREU, M. A. *Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Secretaria do Ministério da Cultura, Turismo e Esportes, 1992. p. 143-200

BRYSON, R. A., ROSS, B. The Climate of the City. In: DETWYLER, R., MARCUS, M.G. *Urbanization and Environment*. Belmont: Duxbury Press, 19__.

CA, V. T., ASAEDA, T., ABU, E. M. Reductions in Air Conditioning Energy Caused by a Nearby Park. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 29, p. 83-92, 1998.

CA, V. T., ASAEDA, T., ASHIE, U. Development of a numerical model for the evaluation of the urban thermal environment. In: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Elsevier Science, v. 81, p. 181-196, 1999.

CARLO, J. C. *Métodos Climatológicos Aplicados ao Planejamento Urbano*. 2000, 50 p. Monografia (Especialização em Análise Urbana) – Escola de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais.

CARRIERE, M., SCHOENAU, G. J., BESANT, R. W. Investigation of some large building energy conservation opportunities using DOE-2 model. In: *Energy Conversion & Management*. Pergamon Press, v. 40, p. 861-872, 1999.

CEC - CALIFORNIA ENERGY COMMISSION STAFF. High temperatures and electricity demand: an assessment of supply adequacy in California. *Report*. Sacramento: California Energy Commission, 1999. p. 76

COLLE, S., PEREIRA, E. B. Atlas de Irradiação Solar do Brasil. Brasília, 1998. 65 p. Disponível em: <www.labsolar.ufsc.br>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2001.

CRAWLEY, D. B., HUANG, Y. J. Does it matter which weather data you use in energy simulations? In: *Building Energy Simulation User News*. University of California, n. 1, v. 18, p. 2-12, 1997.

CRAWLEY, D. B., HAND, J. W., LAWRIE, L. K. Improving the weather information available to simulation programs. In: BUILDING SIMULATION'01, 6th, 1999, Kyoto. *Conference Proceedings...* Kyoto: IBPSA, 1999. v. 2, p. 529-536

CRAWLEY, D. B., LAWRIE, L. K., WINKELMANN, F. C., BUHL, W. F., HUANG, Y. J., PEDERSEN, C. O., STRAND, R. K., LIESEN, R. J., FISHER, D. E., WITTE, M. J., GLAZER, J. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 33, p. 319-331, 2001.

DEPARTMENT OF ENERGY. *International Surface Weather Observations*, 1982 to 1997, v. 4.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1991. 919 p.

ELIASSON, I. Urban Nocturnal Temperatures, street geometry and land use. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 30, n. 3, p. 379-392, 1996.

FEZER, F. The influence of building and location on the climate of settlements. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 4, p. 91-97, 1982.

GCCE. Aprova as metas preliminares de conservação de energia elétrica pelo GCCE - Grupo Coordenador de Conservação de Energia Elétrica, as quais servirão para efeito das projeções de mercado relativas ao Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 - Plano 2010. Resolução, n. 6, 18 de dezembro de 1986. *Lex*: Diário Oficial da União de 19 de dezembro de 1986, Seção 1, p. 19273, v. 124, n. 243.

GCE. A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica - GCE, determina que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste adotem a redução de fornecimento de energia elétrica às Unidades Consumidoras por elas atendidas, iniciando o racionamento de energia elétrica. Resolução, n. 1, 16 de maio de 2001. *Lex*: Diário Oficial da União de 17 de maio de 2001, Seção 1, p. 1, v. 139, n. 95 - E.

GELLER, H. S. *Efficient electricity use: a development strategy for Brazil*. Washinton D.C : American Council for an Energy-Efficient Economy, 1990.

GIVONI, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. 464 p.

GOLANY, G. S. Urban Design Morphology and Thermal performance. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 30, n. 3, p. 455-465, 1996.

GONÇALVES, H. E ALMEIDA, F. O uso de programas de simulação dinâmica de edifícios em estudos de sensibilidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, São Paulo, 1995. *Anais...* São Paulo: ENMSA, 1995. p. 231-245.

GOULART, S., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética em edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: UFSC, 1997. 345 p.

HASSID, S., SANTAMOURIS, M., PAPANIKOLAOU, N., LINARDI, A., KLITSIKAS, N., GEORGAKIS, C., ASSIMAKOPOULOS, D. N. The effect of the Athens heat island on air conditioning load. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 32, p. 131-141, 2000.

HEINO, R. Homogeneity of the long-term urban data records. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 33, p. 3879-3883, 1999.

HENSEN, J. Simulation of building energy indoor environmental quality - some weather data issues. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CLIMATE DATA AND THEIR APPLICATIONS IN ENGINEERING, 1999, Prague. *Proceedings...* Prague: Czech Hydrometeorological Institute in Prague, 1999.

HERNANDEZ NETO, A., TRIBESS, A., VITTORINO, F., AKUTSU, M. The effects of indoor conditions on the reduction of energy consumption in commercial buildings in Rio de Janeiro. In: BUILDING SIMULATION '99, Tokyo, 1999. *Proceedings...* Tokyo: IBPSA, 1999. p. 723-728

HEYER, L. F. *Manaus: um exemplo de clima urbano em região subequatorial*. 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

HONG, T., CHOU, S. K., BONG, T. Y. Building simulation: an overview of developments and information sources. In: *Building and Environment*. Pergamon Press, v. 35, p. 347-361, 2000.

JAUREGUI, E. Tropical Urban Climates: Review and Assessment. In: URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1986, Geneva. *Proceedings...* Geneva: WMO, 1986. n. 652, p. 26-45

KRÜGER, E., LAMBERTS, R. Comparação da radiação solar medida com valores estimados a partir de dados de nebulosidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, V, 1999, Fortaleza. *Anais eletrônicos...* Fortaleza: ANTAC, 1999.

KURN, D. M., BRETZ, S. E., HUANG, B., AKBARI, H. *The potential for reducing urban air temperatures and energy consumption through vegetative cooling*. Berkeley: UCB/LBL, 1994. 25 p. (Technical report)

LAM, J. C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. In: *Building and Environment*. Pergamon Press, v. 35, p. 19-26, 2000.

LAMBERTS, R., PEREIRA, F. O. R., DUTRA, L. *Eficiência Energética em Edificações*. São Paulo: PW, 1997. 188 p.

LANSDBERG, H. E. Micrometeorological Temperature Differentiation Through Urbanization. In: URBAN CLIMATES, 1970 a, London. *Proceedings...* London: WMO, 1970 a. p. 129-136

_____. Climates and Urban Planning. In: URBAN CLIMATES, 1970, London. *Proceedings...* London: WMO, 1970 b. p. 364-374

LOMBARDO, M. *A Ilha de Calor nas Metrôpoles: o caso de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LUDWIG, F. L. Urban Temperature Fields. In: URBAN CLIMATES, 1970, London. *Proceedings...* London: WMO, 1970. p. 81-107

MASON, M. D., KINGSTON, T. M.. Let's talk about the weather. In: BUILDING SIMULATION'01, 3rd, 1993, Adelaide. *Conference Proceedings...* Adelaide: IBPSA, 1993. v. 1, p. 487-494

MENDES, N., LAMBERTS, R., CUNHA NETO, J. A. B. Building Simulation in Brazil. In: BUILDING SIMULATION'01, 7th, 2001, Rio de Janeiro. *Conference Proceedings...* Rio de Janeiro: IBPSA, 2001. V 1, p. 3-14

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional. 2000. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 9 de setembro de 2001.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. 1976. 181 p. Tese (Livre-docência em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

_____. A cidade como derivador ambiental e a geração de um clima urbano - estratégias de abordagem geográfica. In: *Geosul - Revista do Dep. De Geociências CCH. UFSC*, n. 9, p. 80-114, 1990.

MUNN, R. E. Airflow in Urban Areas. In: *URBAN CLIMATES*, 1970, London. *Proceedings...* London: WMO, 1970. p. 15-39

NICHOL, J. E. Visualization of urban temperatures derived from satellite images. In: *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis Ltd, v. 19, p. 1639-1649, 1998.

NJAU, E. Expressions for wind speed, relative umidity, rainfall, absolute humidity, vapour pressure and dew point as functions of temperature. In: *Renewable Energy*. Pergamon, v. 6, p. 23-28, 1995.

OKE, T. R., HANNEL, F. G.. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. In: *URBAN CLIMATES*, 1970, London. *Proceedings...* London: WMO, 1970. p. 113-119

OKE, T. R., SPRONKEN-SMITH, R. A., JÁUREGUI, E., GRIMMOND, C. S. B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 33, p. 3919-3930, 1999.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. 2nd edition. London: Methuen & Co Ltd, 1981. 372 p.

OLIVEIRA, P. M. Metodologia do desempenho urbano considerando os atributos bioclimatizantes da forma urbana e permitindo o controle do conforto ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais. In: *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 1993, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 1993. v. 2, p. 1003-1013

PADMANABHAMURTY. Tropical Urban Climate - a scientific challenge. In: TECHNICAL CONFERENCE ON TROPICAL URBAN CLIMATES, 1994, Bangladesh. *Proceedings...* Bangladesh: WMO, 1994. n. 647, p. 449-469

PAMPLONA, M. *Mapeamento da ocupação do solo na porção insular do distrito sede de Florianópolis (SC) como base para o estudo do clima urbano*. 1999. 108 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.

PAPADOPOULOS, A. M. The influence of street canyons on the cooling loads of buildings and the performance of air conditioning systems. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 33, p. 601-607, 2001.

PEDRINI, A. *Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações*. 1997. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

PEIXOTO, M. C., LABAKI, L., SANTOS, R. F. Conforto térmico em cidades: avaliação do efeito da arborização no controle da radiação solar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV, Rio de Janeiro, 1995. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p. 629-634

PIETROBON, C. E. Luz e calor no ambiente construído escolar e o sombreamento arbóreo: conflito ou compromisso com a conservação de energia. 1999. v. 1 270 p., v. 2 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina

PITTA, T. *Estudo de métodos diretos e indiretos de estimativa de irradiação solar global diária horizontal a partir de observações superficiais de cobertura total de nuvens em Florianópolis*. 2001. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROSENFELD, A. H., ROMM, J. J., AKBARI, H., POMERANTZ, M., TAHA, H. *Policies to reduce heat islands: magnitudes of benefits and incentives to achieve them*. Pacific Grove: ACEEE, 1996. p. 177-191 (Technical report)

SAILOR, D. J.. Role of surface characteristics in urban meteorology and air quality. 1993. Ph.D Thesis, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley Laboratory.

SAILOR, D. J. Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augmentation. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 32, n. 1, p. 43-52, 1998.

SANTAMOURIS, M. Energy and indoor climate in urban environments - recent trends. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV, 1997, Salvador. *Anais....* Salvador: FAU UFBA, 1997. p. 15-24

_____. Cooling heats up: Specific problems of Southern Europe. In: SAVE, THE CONFERENCE FOR AN ENERGY EFFICIENCY MILLENIUM. 1999, Graz. *Proceedings...* Graz: EVA, 1999. Disponível em: <[http://www.eva.wsr.ac.at/\(en\)/publ/gebaeude.htm](http://www.eva.wsr.ac.at/(en)/publ/gebaeude.htm)>. Acesso em: 15 de setembro de 2000.

SARAIVA, J. A. G., SILVA, F. V. M., SILVA, F. A. G.. O vento, a cidade e o conforto. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV, 1997, Salvador. *Anais....* Salvador: FAU UFBA, 1997. p. 129-131

SEZERINO, M. L., MONTEIRO, C. A. F. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. In: *Geosul - Revista do Departamento de Geociências, CCH*. UFSC, n. 9, p. 20-60, 1990.

SIGNOR, R. *Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras*. 1999, 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

TAESLER, R. Urban Climatological Methods and Data. In: URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1986, Geneva. *Proceedings...* Geneva: WMO, 1986. n. 652, p. 199- 236

TAHA, H., DOUGLAS, S., HANEY, J. Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation. In: *Energy & Buildings*. Elsevier Science, v. 25, p. 169-177, 1997.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. In: *Energy and Buildings*. Elsevier Science, v. 25, p. 99-103, 1997 a.

_____. Modeling the impacts of large scale albedo changes on ozone air quality in the south coast air basin. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 31, n. 11, p. 1667-1676, 1997 b.

THEVENARD, D., BRUNGER, A. ASHRAE Research Project 1015-RP: Typical Weather Years for International Locations. Waterloo: ASHRAE, 2001. 109 p. (Technical report)

TRIBESS, A., HERNANDEZ NETO, A., VITTORINO, F., PEÇANHA, M. Aspectos de conservação de energia em ambientes condicionados. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAU UFBA, 1997. p. 413-417

TSO, C. P. A Survey of Urban Heat Island Studies in Two Tropical Cities. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 30, p. 507-519, 1996.

TUMANOV, S., STAN-SION, A., LUPU, A., SOCI, C., OPREA, C. Influences of the city of Bucharest on weather and climate parameters. In: *Atmospheric Environment*. Pergamon Press, v. 33, p. 4173-4183, 1999.

WILLIAMSON, T., ERELL, E. Thermal Performance simulation and the urban micro-climate: measurements and prediction. In: BUILDING SIMULATION'01, 7th, 2001, Rio de Janeiro. *Conference Proceedings...* Rio de Janeiro: IBPSA, 2001. v. 1, p. 159-164

WINKELMANN, F.C. BIRDSALL, B. E., BUHL, W. F., ELLINGTON, K. L., ERDEM, A. , HIRSCH, J. J., GATES, S. *DOE-2 Supplement, Version 2.1E*. Berkeley: 1993. 482 p.

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM, BADEN-WÜRTTEMBERG. *Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung, folge 2*, Stuttgart, 1995. (Cartilha Urbanística do Clima; Indicações para o Plano Diretor)

ZHAO, B., LI, Y., LI, X., YAN, Q.. Numerical analysis of Wind effect on high-density building areas. In: BUILDING SIMULATION'01, 6th, 1999, Kyoto. *Conference Proceedings...* Kyoto: IBPSA, 1999. v. 2, p. 823-829