

Universidade de Brasília  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Área de Concentração: Tecnologia

# **Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**



Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

**Darja Kos Braga**

**Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim**

**Brasília, Abril de 2005**

**Universidade de Brasília**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Tecnologia

**Darja Kos Braga**

**Arquitetura residencial das superquadras do Plano  
Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

**Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim**

**Brasília, 2005**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

# **Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

### **Orientadora:**

---

**Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

### **Comissão Examinadora:**

---

**Profa. Dra. Marta Adriana Bustos Romero**

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

---

**Profa. Dra. Rosa Maria Sposto**

Faculdade de Tecnologia, UnB

**Brasília, 2005**

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, **Profa. Dra. Cláudia Amorim**, que, nos anos de convívio, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

À **Profa. Rosana Clímaco**, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

À **Sra. Maria Evania** e à colega arquiteta **Andréia Moura**, por permitirem executar as medições em seus apartamentos e fornecerem os dados necessários para as simulações.

À **Sra. Cristina Costa**, do Instituto Nacional de Meteorologia, pelos dados cedidos para a implementação deste trabalho.

Ao programa **PROCEL Edifica**, do convênio FUB/Eletróbrás, pela concessão da bolsa de mestrado.

À **Alice Flores**, cuja dedicação contribuiu para que este trabalho fosse mais completo.

Aos amigos do mestrado, **Juliana, Liza, Valério, Paulinha, Grego, Delayse e Valéria**, pela amizade, apoio e troca de conhecimento.

Por fim, à minha família, **Kennedy e os filhos Alencar e Cristina**, e à minha mãe, **Kristina**, pelo constante apoio e compreensão.

## RESUMO

O trabalho pretende avaliar o conforto térmico em edifícios residenciais do Plano Piloto de Brasília. Muitos deles possuem fachadas envidraçadas sem proteção solar e orientadas indiscriminadamente. Para os climas tropicais, porém, este tipo de construção não é adequado.

Nos dias claros a radiação solar direta penetra demasiadamente nos apartamentos, ocasionando altas temperaturas internas que ultrapassam os limites do conforto humano. Tentando solucionar o problema, os moradores manipulam, cada um a seu critério, toldos, películas ou sistemas de ar condicionado resultando em fachadas esteticamente comprometidas.

A questão estética das fachadas torna-se mais relevante ainda considerando os títulos de “Patrimônio Nacional” e de “Patrimônio Cultural da Humanidade” que o Plano Piloto de Brasília ostenta devido à qualidade de seu urbanismo e arquitetura.

O objetivo do trabalho é compreender a problemática e por meio das medições *in loco* e simulações computacionais, buscar soluções que atendam às exigências de conforto térmico e de preservação da estética da arquitetura residencial em Brasília.

Os resultados demonstram que a maioria dos blocos residenciais não foi projetada e implantada conforme princípios bioclimáticos. O levantamento de blocos residenciais das 117 superquadras existentes demonstrou que 82% apresentam fachadas com elementos que visam minimizar temperaturas internas, confirmando que o principal motivo da descaracterização é o desconforto térmico por calor.

## **ABSTRACT**

Brasília, capital of Brazil, is a new city, planned and built between 1956 and 1960. The objects of this study are the residential buildings, constructed from 1958: most of those followed the modern style, using horizontal strip windows. This often implicates in facades with a high percentual of glazing. However, most of the buildings don't have any kind of solar protection (nor had any preoccupation with correct orientation). For tropical climates this is not adequate.

The climate of Brasilia is classified as tropical of altitude and has two seasons well defined: hot-humid in the summer and hot-dry in the winter. On clear days the direct solar radiation enters in high quantity inside the apartments, elevating the temperatures that frequently exceed limits of thermal comfort. Trying to solve the problem the residents handle, each one with their own criterion, awnings, solar films, systems of air conditioning etc. The result are visually polluted facades, what is a relevant question, considering that Pilot Plan of Brasilia is considered "National Patrimony" and as well "Cultural Heritage of Humanity" by UNESCO, due to the quality of his architecture and urbanism.

This article exposes these problems and, through simulations with the software Ecotect, proposes some solutions, in order to achieve environmental (thermal and luminous) comfort in these apartments, with minimum interventions in the original architecture.

The results appointed that most of the residential blocks was not projected and implanted respecting bio-climatic principles. The field research demonstrated that 82% of blocks exhibit facades with elements which aim is minimizing high temperatures, confirming that the principal cause for discharacterization is the discomfort by heat.

## **LISTA DE FIGURAS**

### **Capítulo 1**

Figura 1.1 – Desenhos explicativos do Lúcio Costa apresentados no Concurso

Figura 1.2 – Projeto de Plano Piloto apresentado no Concurso

Figura 1.3 – Desenho da Unidade de Vizinhança apresentado no Concurso

Figura 1.4 – Vista aérea de superquadra SQN 202

Figura 1.5 – Desenhos de planta e de vista da superquadra apresentados ao Concurso

Figura 1.6 – Planta da SQN 106

Figura 1.7 – As sucessivas mudanças na projeção e no pavimento tipo

Figura 1.8 – Fachada posterior inteiramente de cobogós: SQS 107, bloco J e SQS 408, bloco H

Figura 1.9 – Delimitação da área tombada do conjunto urbanístico de Brasília

### **Capítulo 2**

Figura 2.1 – Escala de índice de VME

Figura 2.2 – Brise misto na SQN 206

Figura 2.3 – Carta bioclimática de Brasília para o ACR 1987

### **Capítulo 4**

Figura 4.1 – Imagem de satélite do Plano Piloto com a indicação das áreas das superquadras e as orientações dos edifícios nas Asas Norte e Sul.

Figura 4.2 – Orientações dos edifícios residenciais da Asa Norte sobrepostas à carta solar

Figura 4.3 – Orientações dos edifícios residenciais da Asa Sul sobrepostas à carta solar

Figura 4.4 – Fachada principal e posterior da tipologia mais freqüente de 6 pavimentos

Figura 4.5 – Fachadas principais dos blocos F da SQN 308 e I da SQS 110

Figura 4.6 – Fachada principal do bloco A, SQN 406 e os fundos da mesma tipologia

Figura 4.7 – SQN 208, bloco E e SQN 311 bloco A

Figura 4.8 – SQN 213, bloco A

Figura 4.9 – Exemplos da arquitetura recente nas quadras 400

Figura 4.10 – Exemplos de brises com função de resguardar a área de serviço

Figura 4.11 – Exemplos de edifícios com muitas varandas fechadas

Figura 4.12 – Exemplos de películas, toldos e caixas de ar condicionado nas fachadas

## **Capítulo 5**

Figura 5.1 – A fachada frontal e a fachada posterior da tipologia escolhida

Figura 5.2 – SQS 308, bl. E, fachada principal e detalhe da persiana

Figura 5.3 – Planta do apartamento tipo da tipologia analisada

Figura 5.4 – Localização dos blocos B e D na SQN 108

Figura 5.5 – Exemplos da disposição dos aparelhos Gemmini Data Loggers.

Figura 5.6 – Planta do apartamento com as zonas criadas no Ecotect

Figura 5.7 – Modelo em 3D do apartamento com as zonas que apresentam apartamentos vizinhos

Figura 5.8 – Tela do programa usada para especificar os atributos das zonas

Figura 5.9 – Quadro usado para especificar os horários e a frequência da presença das pessoas e do funcionamento dos aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos



## **LISTA DE TABELAS**

### **Capítulo 2**

Tabela 2.1 – Nível de iluminação exigido pela Norma Brasileira (NBR 5413/1992)

Tabela 2.2 – Comportamento térmico de vidros diante radiação solar

Tabela 2.3 – Estratégias Bioclimáticas para a cidade de Brasília

Tabela 2.4 – Percentual de desconforto por período do dia

### **Capítulo 4**

Tabela 4. 1 – Ocorrência de brises, varandas e intervenções

### **Capítulo 5**

Tabela 5.1 – Atributos das zonas

Tabela 5.2 – Algumas propriedades de vidro comum sem e com película refletiva incolor

Tabela 5.3 – Algumas propriedades da parede externa original e com a adição da massa térmica

Tabela 5.4 – Resumo de dados simulados para apartamento leste-oeste

Tabela 5.5 – Resumo de dados simulados para apartamento norte-sul

Tabela 5.6 – A iluminação natural na sala do apto 502 com céu encoberto de 10.000 lux para a situação original e a situação proposta com combinação das soluções

Tabela 5.7 – A iluminação natural na suíte do apto 502 com céu encoberto de 10.000 lux para a situação original e a situação proposta com combinação das soluções

### **Anexo A**

Tabela A.1 – Dados simulados, apto. leste-oeste – situação original, dia 24/09

Tabela A.2 – Dados simulados, apto. leste-oeste – com película refletiva incolor, dia 24/09

Tabela A.3 – Dados simulados, apto. leste-oeste – com maior massa térmica, dia 24/09

Tabela A.4 – Dados simulados, apto leste-oeste – com WWR 50%, dia 24/09

Tabela A.5 – Dados simulados, apto. leste-oeste – combinação das soluções, dia 24/09

### **Anexo B**

Tabela B.1 – Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 24/09

Tabela B.2 – Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 24/09

Tabela B.3 – Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 24/09

Tabela B.4 – Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 24/09

Tabela B.5 – Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 24/09

### **Anexo C**

Tabela C.1 – Dados simulados, apto. leste-oeste – situação original, dia 22/12

Tabela C.2 – Dados simulados, apto. leste-oeste – com película refletiva incolor, dia 22/12

Tabela C.3 – Dados simulados, apto. leste-oeste – com maior massa térmica, dia 22/12

Tabela C.4 – Dados simulados, apto. leste-oeste – com WWR 50%, dia 22/12

Tabela C.5 – Dados simulados, apto. leste-oeste – combinação das soluções, dia 22/12

### **Anexo D**

Tabela D.1 – Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 22/12

Tabela D.2 – Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 22/12

Tabela D.3 – Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 22/12

Tabela D.4 - Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 22/12

Tabela D.5 - Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 22/12

### **Anexo E**

Tabela E.1 - Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 22/06

Tabela E.2 - Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 22/06

Tabela E.3 - Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 22/06

Tabela E.4 - Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 22/06

Tabela E.5 - Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 22/06

### **Anexo F**

Tabela F.1 - Tabela utilizada no levantamento das fachadas

## **LISTA DE GRÁFICOS**

### **Capítulo 2**

Gráfico 2.1 - Relação VME e PPI

Gráfico 2.2 - Reflexão da radiação solar em relação ao ângulo da incidência

Gráfico 2.3 - Reflexão do espectro solar visível em relação ao ângulo da incidência da luz solar

Gráfico 2.4 - Reflexão dos Raios UV em relação ao ângulo da incidência da luz solar

Gráfico 2.5 - Reflexão dos raios infravermelhos em relação com o ângulo da incidência da luz solar

Gráfico 2.6 - Valores médios das temperaturas de bulbo seco (TBS) e da umidade relativa (UR) para cidade de Brasília (1982 –1997)

### **Capítulo 4**

Gráfico 4.1 - Radiação solar nas principais fachadas da Asa Norte para dia 24 de setembro

Gráfico 4.2 - Radiação solar nas principais fachadas da Asa Norte para dia 22 de dezembro

Gráfico 4.3 - Radiação solar nas principais fachadas da Asa Sul para dia 24 de setembro

Gráfico 4.4 - Radiação solar nas principais fachadas da Asa Sul para dia 22 de dezembro

Gráfico 4.5 - Frequência de fechamentos opacos sobre alvenaria

Gráfico 4.6 - Frequência de fechamentos opacos sem alvenaria

Gráfico 4.7 - Frequência de tipos de fechamentos transparentes

Gráfico 4.8 - Frequência dos brises

Gráfico 4.9 - Correlação entre o tipo de brise e a época da construção do edifício

Gráfico 4.10 - Frequência das intervenções nas fachadas

### **Capítulo 5**

Gráfico 5.1 - Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em setembro de 2003

Gráfico 5.2 - Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em dezembro de 2003

Gráfico 5.3 - Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em março de 2004

Gráfico 5.4 - Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em setembro de 2003

Gráfico 5.5 - Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em dezembro de 2003

Gráfico 5.6 - Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em março de 2004

Gráfico 5.7 - Gráfico de temperaturas horárias

Gráfico 5.8 – Gráfico de ganhos e perdas térmicos discriminados pela origem

Gráfico 5.9 – Variáveis climáticas para o dia 24 de setembro - arquivo climático usado pelo Ecotect

Gráfico 5.10 – Gráfico comparativo dos ganhos solares diretos e ganhos por condução e convecção na sala orientada para leste – dia 24/09.

Gráfico 5.11 – Variáveis climáticas do dia 22 de dezembro - arquivo climático usado pelo Ecotect

Gráfico 5.12 – Variáveis climáticas do dia 22 de junho - arquivo climático usado pelo Ecotect

#### **Anexo A**

Gráfico A.1 – Temperatura Média Radiante; sala azimuth 72°, dia 24/09

Gráfico A.2 – Voto Médio Estimado; sala azimuth 72°, dia 24/09

Gráfico A.3 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala azimuth 72°, dia 24/09

Gráfico A.4 – Temperatura Média Radiante; suíte azimuth 252°, dia 24/09

Gráfico A.5 – Voto Médio Estimado; suíte azimuth 252°, dia 24/09

Gráfico A.6 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte azimuth 252°, dia 24/09

#### **Anexo B**

Gráfico B.1 – Temperatura Média Radiante; sala azimuth 162°, dia 24/09

Gráfico B.2 – Voto Médio Estimado; sala azimuth 162°, dia 24/09

Gráfico B.3 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala azimuth 162°, dia 24/09

Gráfico B.4 – Temperatura Média Radiante; suíte azimuth 342°, dia 24/09

Gráfico B.5 – Voto Médio Estimado; suíte azimuth 342°, dia 24/09

Gráfico B.6 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte azimuth 342°, dia 24/09

#### **Anexo C**

Gráfico C.1 – Temperatura Média Radiante; sala azimuth 72°, dia 22/12

Gráfico C.2 – Voto Médio Estimado; sala azimuth 72°, dia 22/12

Gráfico C.3 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala azimuth 72°, dia 22/12

Gráfico C.4 – Temperatura Média Radiante; suíte azimuth 252°, dia 22/12

Gráfico C.5 – Voto Médio Estimado; suíte azimuth 252°, dia 22/12

Gráfico C.6 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte azimuth 252°, dia 22/12

#### **Anexo D**

Gráfico D.1 – Temperatura Média Radiante; sala azimuth 162°, dia 22/12

Gráfico D.2 – Voto Médio Estimado; sala azimute 162°, dia 22/12

Gráfico D.3 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala azimute 162°, dia 22/12

Gráfico D.4 – Temperatura Média Radiante; suíte azimute 342°, dia 22/12

Gráfico D.5 – Voto Médio Estimado; suíte azimute 342°, dia 22/12

Gráfico D.6 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte azimute 342°, dia 22/12

## **Anexo E**

Gráfico E.1 – Temperatura Média Radiante; sala sul, dia 22/06

Gráfico E.2 – Voto Médio Estimado; sala sul, dia 22/06

Gráfico E.3 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala sul, dia 22/06

Gráfico E.4 – Temperatura Média Radiante; suíte norte, dia 22/06

Gráfico E.5 – Voto Médio Estimado; suíte norte, dia 22/06

Gráfico E.6 – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte norte, dia 22/06

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACR – Ano Climático de Referência

CAU – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Governo Distrital

COBRACOM – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CIBSE – Chartered Institute of Building Services Engineers

IBPSA – International Building Performance Simulation Association

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ISO – International Organization for Standardization

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MEC – Ministério da Educação e Cultura

MRT – Mean Radiant Temperature

NBR – Norma Brasileira

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital Federal

PMV – Predicted Mean Vote

PPD – Predicted Percentage Dissatisfied

PPI – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SQN – Superquadra Norte

SQS – Superquadra Sul

TMR – Temperatura Média Radiante

TRY – Test Reference Year

VME – Voto Médio Estimado

## ÍNDICE

Introdução .....	1
------------------	---

### 1ª PARTE: Referencial teórico: Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília, Clima e conforto ambiental, Simulação computacional

---

<b>1. ARQUITETURA RESIDENCIAL DAS SUPERQUADRAS DO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA</b>	
1.1 <u>Arquitetura modernista</u> .....	6
1.2 <u>Breve história da cidade</u> .....	7
1.3 <u>Concepção do Plano Piloto</u> .....	8
1.3.1 Cidade Jardim e Unidade de Vizinhança .....	10
1.3.2 Superquadras .....	11
1.3.3 Códigos de Obras de Plano Piloto .....	12
1.4 <u>Edifícios residenciais</u> .....	13
1.4.1 Projeção e pavimento tipo .....	13
1.4.2 Tipologias e fachadas .....	16
1.4.3 Ocupação da cobertura .....	17
1.5 <u>Proteção e preservação</u> .....	18
1.5.1 DOCOMOMO .....	19
<b>2. CLIMA, CONFORTO AMBIENTAL E ENERGIA: Definições, conceitos e variáveis arquitetônicas</b> .....	22
2.1 <u>Variáveis climáticas</u> .....	22
2.1.1 Radiação solar .....	22
2.1.1.1 Radiação solar direta .....	22
2.1.1.2 Radiação solar difusa .....	24
2.1.2 Temperatura .....	24
2.1.3 Vento .....	24
2.1.4 Umidade .....	24
2.2 <u>Conforto ambiental</u> .....	25
2.2.1 Conforto térmico .....	25
2.2.1.1 Índices de conforto térmico .....	26
2.2.2 Conforto luminoso .....	27
2.3 <u>Variáveis arquitetônicas</u> .....	28
2.3.1 Fechamentos opacos .....	29
2.3.1.1 Inércia térmica .....	29
2.3.1.2 Isolamento térmico .....	29

2.3.2	Fechamentos transparentes .....	30
2.3.2.1	Vidros .....	30
2.3.2.2	Polícarbonatos .....	32
2.3.3	Window Wall Ratio (WWR) .....	32
2.3.4	Proteções solares .....	33
2.3.4.1	Brises .....	33
2.3.4.2	Películas refletivas .....	34
2.4	<u>Consumo de energia</u> .....	36
2.4.1	Consumo de energia no Brasil .....	36
2.5.1.1	Normalização em eficiência energética e conforto ambiental .....	37
2.4.2	Consumo residencial de energia elétrica em Brasília .....	38
2.5	<u>Clima de Brasília: caracterização e recomendações de projeto</u> .....	38
2.5.1	Avaliação bioclimática do clima de Brasília .....	40
2.5.2	Estratégias bioclimáticas indicadas para Brasília .....	43
2.5.2.1	Ventilação .....	44
2.5.2.2	Resfriamento evaporativo .....	44
2.5.2.3	Massa térmica .....	44
2.5.2.4	Aquecimento solar passivo .....	45
<b>3.</b>	<b>SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b> .....	<b>46</b>
3.1	<u>Breve histórico da simulação computacional</u> .....	46
3.1.1	Simulação computacional no Brasil .....	47
3.2	<u>Ecotect – programa computacional escolhido</u> .....	48
3.2.1	Método de admitância .....	49
3.2.2	Exatidão e relevância dos resultados .....	50
3.2.3	Características do programa .....	50

## **2ª PARTE: Análise de conforto térmico dos edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto; Estudo de caso; Conclusões**

---

<b>4.</b>	<b>SUPERQUADRAS DO PLANO PILOTO: tipologias e aspectos de conforto térmico</b> .....	<b>53</b>
4.1	<u>Metodologia do estudo</u> .....	53
4.2	<u>Orientação e insolação dos edifícios residenciais</u> .....	53
4.2.1	Orientação .....	53
4.2.2	Insolação.....	55



4.3	<u>Levantamento das fachadas de edifícios residenciais</u> .....	58
4.3.1	Tipologias .....	59
4.3.1.1	Tipologias representativas do período 1958-1979 .....	59
4.3.1.2	Tipologias representativas do período 1980-2004 .....	60
4.3.2	Fechamentos opacos e transparentes .....	62
4.3.3	Brisas .....	64
4.3.4	Varandas .....	65
4.3.5	As intervenções: toldos, películas e caixas de ar condicionado .....	66
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>69</b>
5.1	<u>Metodologia do trabalho</u> .....	69
5.2	<u>Escolha da tipologia</u> .....	69
5.3	<u>Medições <i>in loco</i></u> .....	70
5.3.1	Procedimento .....	71
5.3.2	Resultados .....	72
5.4	<u>Simulações com software Ecotect</u> .....	75
5.4.1	Construção de modelo .....	75
5.4.1.1	Modelagem .....	75
5.4.1.2	Materiais .....	78
5.4.1.3	Atributos das zonas .....	78
5.4.2	Dados climáticos .....	81
5.4.3	Modelos originais e modelos com as modificações .....	81
5.4.4	Análises térmicas e de conforto .....	82
5.4.4.1	Temperaturas horárias .....	83
5.4.4.2	Ganhos e perdas térmicos .....	83
5.4.4.3	Temperatura média radiante (TMR), voto médio estimado (VME) e percentual de pessoas insatisfeitas (PPI) .....	84
5.4.4.4	Metodologia das simulações .....	84
5.4.5	Análises luminosas .....	85
5.5	<u>Resultados e discussão</u> .....	85
5.5.1	Potencialidades e limitações do software Ecotect (parte térmica) .....	86
5.5.2	Equinócio de primavera (24 de setembro) .....	86
5.5.2.1	Apartamento A (leste-oeste) .....	87
5.5.2.2	Apartamento B (norte-sul) .....	89
5.5.3	Solstício de verão (22 de dezembro) .....	90
5.5.3.1	Apartamento A (leste-oeste) .....	90
5.5.3.2	Apartamento B (norte-sul) .....	91
5.5.4	Solstício de inverno (22 de junho) .....	91
5.5.4.1	Apartamento B (norte-sul) .....	92
5.5.5	Análises luminosas .....	94

<b>CONCLUSÕES</b> .....	96
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	102
<b>ANEXOS:</b>	
<b>A.</b> Tabelas e gráficos referentes às simulações do apartamento A para dia 24/09 .....	107
<b>B.</b> Tabelas e gráficos referentes às simulações do apartamento B para dia 24/09 .....	115
<b>C.</b> Tabelas e gráficos referentes às simulações do apartamento A para dia 22/12 .....	123
<b>D.</b> Tabelas e gráficos referentes às simulações do apartamento B para dia 22/12 .....	131
<b>E.</b> Tabelas e gráficos referentes às simulações do apartamento B para dia 22/06 .....	139
<b>F.</b> Tabela utilizada no levantamento das fachadas .....	147
<b>G.</b> Carta resposta do Dr. Andrew Marsh .....	149

## INTRODUÇÃO

Os problemas de conforto ambiental têm sido tema de diversos trabalhos nacionais e internacionais realizados recentemente. Consta-se que, cada vez mais, arquitetos e engenheiros preocupam-se com esse tema.

Os pioneiros nessa área foram os irmãos Victor e Aladar Olgyay, húngaros radicados nos Estados Unidos. A partir da década de 50, eles publicaram numerosos artigos e livros. Entre os mais conhecidos, estão os livros: *Application of Climate Data to House Design* (1953), *Solar Control and Shading Devices* (1957) e *Design with Climate* (1963). Neste último introduziram o termo 'bioclimatic approach' (abordagem bioclimática) e desenvolveram um diagrama bioclimático chamado de Carta Bioclimática.

Outro autor, que também se tornou referência na área, é o israelense Baruch Givoni. Dos anos 60 em diante, Givoni produziu muitas obras importantes sobre a relação entre clima, homem e arquitetura, entre elas, *Man, Climate and Architecture* (1969) e *Passive and Low Energy Cooling of Buildings* (1994). Givoni aprimorou a Carta bioclimática desenvolvida por Olgyay e a adaptou a diversos climas e culturas.

A arquitetura bioclimática pode ser descrita como a arquitetura que através do projeto otimiza as relações energéticas com o ambiente natural circundante. De acordo com Romero (2000), arquitetura bioclimática é o ambiente construído que atua como mecanismo de controle das variáveis do meio, através de sua envoltura, de seu entorno e do aproveitamento dos fatores climáticos.

Desse modo, é possível traçar estreita relação entre arquitetura bioclimática e desenvolvimento sustentável, paradigma de desenvolvimento que desejamos implantar no futuro. Esse desenvolvimento demandaria mudanças profundas em grande número de áreas, entre elas a arquitetura. Essa deveria se tornar mais econômica do ponto de vista energético, utilizar materiais menos prejudiciais ao meio ambiente e ser mais acessível aos menos privilegiados.

As questões ligadas à sustentabilidade vêm sendo discutidas no mundo inteiro. No Brasil, os debates energético e ambiental estão recorrentemente presentes na mídia desde a crise de energia de 2001, que incentivou inúmeras pesquisas com o objetivo de diminuir os consumos em todas as áreas.

Um dos campos afetados é o da arquitetura, uma vez que a iluminação e o condicionamento artificial são responsáveis por uma parcela expressiva do consumo energético nacional. Como principais vilões foram apontados os edifícios comerciais, de escritórios, institucionais e outros que freqüentemente utilizam iluminação e condicionamento de ar artificiais durante todo o expediente usual de trabalho, resultando em consumos exorbitantes.

Um grande número de pesquisas condenou principalmente a arquitetura que prega grandes panos de vidro, advinda de países com clima temperado e inadequada para climas tropicais. Nesse tipo de edifícios, em dias claros, a radiação solar direta penetra excessivamente, ocasionando aquecimento demasiado ou demandando grandes potências do ar condicionado.

Edifícios residenciais, por outro lado, não costumam apresentar esse aparelho. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), em 1991, apenas 6% das residências o possuíam, representando na época

7% do total consumido por edificações residenciais. Os números não são alarmantes, portanto, não existe uma grande preocupação sobre esse aspecto.

A cidade de Brasília apresenta um clima com muitas horas dentro da zona de conforto, conforme comprovou a pesquisa de Goulart et al (1998), que apontou o clima da capital como o mais favorável entre as 14 grandes cidades brasileiras estudadas.

Os fatos podem dar a impressão errada de que as moradias brasilienses não enfrentam problemas de conforto térmico. Todavia, não é essa a visão que se obtém passeando pelo Plano Piloto de Brasília. Chamam atenção as fachadas repletas de toldos, películas e caixas de ar condicionado, dispositivos cuja principal função é minimizar as temperaturas internas.

A situação indica que uma parte dos blocos<sup>1</sup> residenciais do Plano Piloto não apresenta índices de conforto térmico adequados. Visando investigar o problema, para o presente estudo definiu-se pela execução de um levantamento que abrangesse todos os edifícios residenciais situados nas superquadras de Plano Piloto de Brasília.

A pesquisa demonstrou que a maioria dos blocos apresenta indícios de desconforto térmico por calor. As tipologias modernistas que possuem grandes panos de vidro sem proteção solar externa se mostraram as mais suscetíveis à presença de elementos não originais.

O problema, porém não é somente de conforto, mas também estético, pois o Plano Piloto é considerado Patrimônio Nacional e Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO, o que implica ou requer proteção e preservação das características essenciais do conjunto urbanístico, arquitetônico e paisagístico.

No setor residencial existe a preservação oficial acerca dos conceitos da Superquadra e Unidade de Vizinhança, limitando o número de pavimentos dos blocos e a taxa máxima da ocupação. Não há nenhuma determinação específica relacionada às fachadas. No entanto, apurou-se que existe uma certa preocupação dos próprios condomínios, que costumam, por exemplo, uniformizar a cor dos toldos ou até proibir o uso desse elemento.

Nos edifícios da primeira geração construída na cidade, que poderiam ser considerados merecedores de preservação, resolver problemas térmicos pode ser uma tarefa complicada, pois na maioria dos casos as soluções acarretam transformações nas fachadas.

Como já mencionado, a solução do problema não pode consistir em proibição do uso de elementos não originais nas fachadas, mas precisaria se basear na resolução de problemas de conforto térmico, responsáveis por fadiga térmica, mal-estar e queda no rendimento do trabalho.

Dessa forma, levando-se em conta as considerações anteriores, coloca-se como **objeto de estudo** do trabalho o conforto térmico em edifícios residenciais situados nas superquadras do Plano Piloto e as questões da preservação da arquitetura residencial.

Os **objetivos gerais** são:

- Contribuir, nas escalas projetual e tecnológica, para a melhoria das condições de habitabilidade das moradias em edifícios do Plano Piloto de Brasília, através de indicações que venham a subsidiar, com parâmetros e critérios de projeto bioclimático, a preservação, a ‘estética’ e as intervenções nas edificações, maximizando o conforto térmico e a economia de energia nas habitações.

Como **objetivos específicos** podem ser citados:

- Examinar parâmetros, características e critérios da arquitetura residencial modernista em Brasília e a problemática específica em relação ao conforto térmico;
- Analisar alguns aspectos da preservação e manutenção da arquitetura modernista;
- Estudar parâmetros de conforto térmico, relacionados a essa arquitetura, que possam ser otimizados;
- Analisar propostas projetuais e tecnológicas em estudos de caso, que possam servir de subsídios a intervenções futuras para otimização do conforto ambiental desta arquitetura, preservando a ‘estética’ da mesma;
- Avaliar potencial do software Ecotect 5.20, utilizado como ferramenta computacional para investigação da situação original dos estudos de caso e das propostas para otimização e correção dos problemas encontrados.

O trabalho é apresentado em 5 capítulos, estruturados em duas partes:

## **1ª PARTE: Referencial teórico: Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília, Clima e conforto ambiental, Simulação computacional;**

### **Capítulo 1: Arquitetura residencial das superquadra do Plano Piloto de Brasília**

Após uma breve introdução a respeito da arquitetura modernista e o nascimento da cidade de Brasília, o capítulo aborda a concepção das áreas residenciais e os edifícios que ali se situam, finalizando com aspectos de proteção e preservação.

### **Capítulo 2: Clima, conforto ambiental e energia: definições, conceitos e variáveis arquitetônicas**

Abrange a análise dos fatores climáticos, aspectos de conforto térmico e luminoso e as variáveis arquitetônicas a estes relacionadas, consumo de energia e recomendações bioclimáticas para o clima brasileiro.

### **Capítulo 3: Simulação computacional**

---

<sup>1</sup> Em Brasília os edifícios residenciais são nomeados “blocos” e diferenciados pelas letras do alfabeto latino. Assim, ao longo deste trabalho o termo “blocos” refere-se aos edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto.

Traça breve história da simulação computacional no Brasil e no mundo, finalizando com a apresentação do software escolhido.

## **2ª PARTE: Análise de conforto térmico dos edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Estudo de caso**

### **Capítulo 4: Superquadras de Plano Piloto: tipologias e aspectos de conforto**

Análise da orientação e insolação de edifícios residenciais situados nas superquadras de Plano Piloto. Exposição dos resultados da pesquisa sobre as características das fachadas dos respectivos edifícios.

### **Capítulo 5: Estudo de caso**

Apresentação das medições *in loco* e das simulações computacionais em tipologia escolhida.

### **Anexos:**

Contém dados das simulações, organizados em tabelas e gráficos.

## **1ª PARTE**

---

**Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília; Clima e conforto ambiental; Simulação computacional**

## Capítulo 1

# ARQUITETURA RESIDENCIAL DAS SUPERQUADRAS DO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA

### 1.1 ARQUITETURA MODERNISTA

Chama-se de arquitetura modernista o conjunto de movimentos e escolas arquitetônicas que caracterizaram a arquitetura produzida durante grande parte do século XX – principalmente entre as décadas de 20 e 60. Caracteriza-se pela utilização de tecnologia e materiais novos, contrariando os estilos passados e apresentando uma beleza simples e funcional por meio de volumes geométricos simples e pouca ornamentação.

Considera-se que tenham existido duas grandes vertentes do movimento moderno: o organicismo e o funcionalismo.

O organicismo foi mais expressivo até os anos 50 e abraçou os princípios do modernismo associados aos princípios históricos de orientação, sítio, ventilação e iluminação natural. Os arquitetos mais expressivos foram: Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto, Louis Kahn e Le Corbusier. (GALLO e SZABO, 2001; CORBELLA e YANNAS, 2003).

Do funcionalismo surgiram novas tendências, sendo a mais importante o Estilo Internacional (International Style), que muitas vezes ignorou as condições do lugar e utilizou a nova tecnologia como um fim em si (CORBELLA e YANNAS, 2003). As raízes se encontram nas obras e idéias de Walter Gropius, Mies van der Rohe e também Le Corbusier. Este último apresentou em 1927 os 5 pontos da arquitetura moderna: pilotis, terraço jardim, planta livre, fachada livre e janela em fita (conhecida também como janela corrida), reinterpretando os elementos construtivos tradicionais.<sup>2</sup>

De acordo com Bruand (1991) e Mindlin (1999), a influência do Estilo Internacional na introdução da arquitetura moderna no Brasil foi fundamental. A primeira geração de arquitetos modernos do país (Lucio Costa, Oscar Niemayer, Affonso Eduardo Reidy, Carlos Leão, Rino Levi, etc.) possui criações bastante fundamentadas nas idéias de Le Corbusier, criando uma obra que viria a se tornar conhecida mundialmente (MINDLIN, 1999).

O edifício do Ministério da Educação e Cultura (MEC), construído no Rio de Janeiro em 1936, é considerado um marco na arquitetura modernista brasileira (MINDLIN, 1999). A obra projetada por um grupo de jovens arquitetos<sup>3</sup> liderado por Lúcio Costa contou com a participação direta de Le Corbusier. Segundo Mindlin (1999), o edifício é a primeira aplicação, em escala monumental, das idéias de Le Corbusier - apresentando os seus 5 pontos da arquitetura modernista. Outra característica marcante é a construção afastada dos limites de terreno, fugindo da habitual

---

<sup>2</sup> <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/bases/texto133.asp>>

<sup>3</sup> Carlos Leão, Jorge Moreira, Affonso Eduardo Reidy, Oscar Niemayer e Ernani Vasconcelos.



aglomeração de prédios alinhados à calçada. Não se pode esquecer da aplicação de brises<sup>4</sup>. Este elemento, aplicado na fachada norte do MEC tornou-se quase obrigatório nas obras modernistas posteriores.

Nos anos 40 Lúcio Costa projetou no Rio de Janeiro o Parque Guinle, o primeiro conjunto de edifícios construídos sob pilotis considerado um prenúncio das superquadras de Brasília (FRANÇA, 2001).

## 1.2 BREVE HISTÓRIA DA CIDADE

Desde 1750 existem registros sugerindo a transferência da capital do Brasil, então colônia de Portugal, para o centro do território. O objetivo estava em ocupar as grandes áreas do interior e garantir a posse. Mas tarde as questões político-estratégicas e de segurança também se transformaram em argumentos recorrentes (FONSECA, 2001).

Com a Proclamação da República, em 1889, o ideal de interiorização transformou-se em lei constitucional. Assim, a constituição de 1891 previa uma área de 14.400 km<sup>2</sup> para a nova capital no Planalto Central brasileiro. No ano seguinte foi criada a missão técnico-científica chefiada pelo astrônomo belga Luiz Cruls, partindo do Rio de Janeiro para explorar o centro do país e finalmente demarcar a área da futura capital.

Os 21 profissionais que acompanhavam Cruls catalogaram a flora, a fauna e fizeram um levantamento detalhado dos rios, do solo, do clima, do modo de vida de seus habitantes e dos aspectos urbanos e arquitetônicos das cidades da região. O relatório Cruls, com mais de 300 páginas e publicado em 1894 se tornou um dos mais completos relatos sobre a região do Planalto, classificada como de clima ameno, águas potáveis abundantes, terra boa e de fácil integração com o resto do país. Segundo Fonseca (2001), a área retangular demarcada e denominada de Quadrilátero Cruls recebeu oficialmente, e pela primeira vez, o nome de Distrito Federal.

Nas comemorações do centenário da Independência do Brasil, em 1922, ocorreu mais um passo com o lançamento da Pedra Fundamental da nova capital no Morro de Centenário, a 9 km da Planaltina (FONSECA, 2001).

Os estudos foram retomados em 1946, quando foi estabelecida uma nova comissão sob chefia de general Djalma Poli Coelho. O relatório da comissão reforçou a escolha da área inicialmente proposta pela Missão Cruls.

Somente em 1952 o Congresso Nacional aprovou a lei que previa estudos definitivos para a localização da nova capital. Foi criando então um outro grupo que, entre outros trabalhos, contratou a firma norte-americana Donald Belcher & Associates, especializada em estudos de aerofotogrametria. A empresa selecionou cinco sítios<sup>5</sup> de 1000 km<sup>2</sup> dentro de uma vasta área de 52 mil km<sup>2</sup>, e entre estes indicava o sítio Castanho como o mais adequado. Para a escolha foram investigados vários aspectos, dos quais, segundo Fonseca (2001), clima e hidrografia foram preponderantes.

---

<sup>4</sup> De acordo com Bruand (1991), o brise-soleil foi proposto pela primeira vez em 1933 por Le Corbusier em seus projetos para a cidade de Argel (Argélia). O design, porém, era bastante distinto daquele desenvolvido para o edifício do MEC.

O sítio Castanho destacou-se principalmente por causa das qualidades climáticas:

“O Sítio Castanho é um sítio convexo. É aberto a todas as influências dos ventos predominantes e, durante os períodos de calmaria, ele tem uma forma topográfica ideal para promover a drenagem do ar através do sítio da cidade. O ar se movimentava do planalto alto e seco através da área da cidade e se drena dentro da vale florestado do rio São Bartolomeu... A área do sítio é bem drenada, condição esta que reduzirá a umidade a um mínimo. Ela é coberta com uma floresta de árvores baixas de melhor qualidade que a de quaisquer outras áreas altas. Isto influenciará favoravelmente o micro-clima e dessa forma reduzirá a temperatura do solo e a influência da radiação noturna”.<sup>6</sup>

Fonseca (2001) afirma que o sítio Castanho se encontrava exatamente no local onde esteve acampada a comitiva da Missão Cruels, na antiga Fazenda Bananal. Em torno deste local foram traçados os limites do Distrito Federal, com uma área de aproximadamente 5.000 km<sup>2</sup>.

Em 1955 Juscelino Kubitschek deu início à sua campanha para a presidência e assumiu o desafio de construir em curto espaço de tempo a futura capital do país. No ano seguinte, já como presidente eleito, iniciou o processo de instalação da nova Capital.

Logo após a posse foi criada a Comissão de Planejamento da Construção e da Mudança da Capital Federal responsável pela demarcação do território do futuro Distrito Federal e pela elaboração do Edital do Concurso para o plano da cidade (TAMANINI apud CARPINTERO 1998). Em setembro de 1956 esta foi substituída pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital Federal – a NOVACAP<sup>7</sup>. Em seguida foi publicado no Diário Oficial o edital do concurso com o título de “Concurso Nacional do Plano Piloto da Nova Capital do Brasil” (TAMANINI apud CARPINTERO 1998).

O resultado da seleção foi anunciado por um júri internacional no dia 23 de março de 1957. Entre os 26 concorrentes venceu o projeto de Lúcio Costa. Carpintero (1998) sugere que o projeto vencedor era o mais representativo do pensamento urbanístico daquele momento da história. O júri fez observação destacando que era, entre todos os concorrentes, o único adequado para uma capital administrativa do país (CARPINTERO, 1998).

### 1.3 CONCEPÇÃO DO PLANO PILOTO

O projeto de Lúcio Costa para a nova capital federal teve como ponto de partida “dois eixos cruzando-se em ângulo reto, ou seja, o próprio sinal da cruz” (COSTA, 1957, p. 38). Os dois eixos nada mais são do que as duas principais vias do Plano Piloto, denominados de Eixo Monumental e Eixo Rodoviário.

A Figura 1.1 apresenta a evolução da idéia inicial do Lúcio Costa: cruz, desenho da cruz adaptado à topografia do local e os dois eixos já com as funções atribuídas. O Eixo Monumental, que se estende por 9.750m na direção Leste - Oeste, é perpendicular às curvas de nível, caindo suavemente na

---

<sup>5</sup> Os sítios receberam nomes de cores: Castanho, Azul, Verde, Vermelho e Amarelo.

<sup>6</sup> Excerto extraído da página 243 do Relatório Técnico sobre a Nova Capital da República, mais conhecido como Relatório Belcher (apud Fonseca, 2001, p.28)

<sup>7</sup> Criada para administrar as obras da nova Capital; Lei nº. 2.874, de 19 de setembro de 1956.

direção do lago Paranoá. Ao longo da via foram dispostos os setores institucionais e os que agregam funções de trabalho e lazer. (Fig. 1.2)

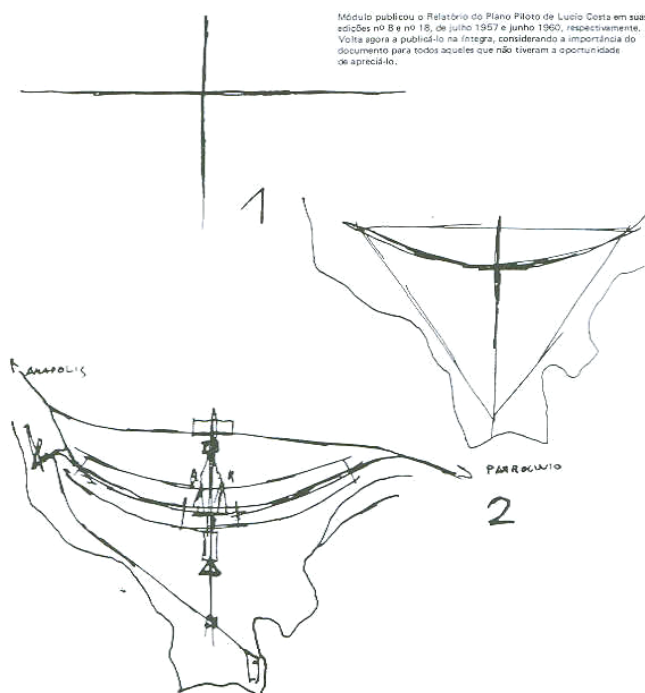


Figura 1.1: Desenhos explicativos do Lúcio Costa apresentados no Concurso

Fonte: COSTA (1957, p.39).

O Eixo Rodoviário por sua vez, com 14.300m na direção Norte – Sul, foi levemente arqueado para se adaptar à topografia local e ao escoamento natural das águas. Foi destinado a receber setores residenciais em forma de superquadras. A Figura 1.2 apresenta o Eixo Rodoviário (em laranja) e as áreas das superquadras delimitadas por linha amarela.

Imediatamente após o Concurso, a NOVACAP promoveu uma revisão do projeto, introduzindo algumas mudanças na concepção original, entre estas a ampliação da área residencial<sup>8</sup> (CARPINTERO, 1998). Assim, acrescentou-se a leste mais uma seqüência de superquadras, diferenciadas das demais por se tratar de quadras duplas<sup>9</sup> e econômicas<sup>10</sup> (linha amarela tracejada na Figura 1.2).

Posteriormente as superquadras foram nomeadas. A primeira fileira acima do Eixo Rodoviário recebeu nome de superquadras 100, a fileira acima desta de superquadras 300, a fileira imediatamente abaixo do Eixo de superquadras 200 e a fileira adicionada por último de superquadras 400.

<sup>8</sup> Outras grandes mudanças procedidas pela NOVACAP imediatamente após a divulgação do resultado do concurso foram: deslocamento do conjunto urbano para leste (em aproximadamente 800m), aproximando-se do Lago Paranoá; deslocamento de Setor de Embaixadas devido à ampliação da área residencial; criação a oeste do Eixo de uma faixa de casas geminadas e de um novo setor de grandes áreas para colégios, igrejas, instituições de caridade, religiosas, culturais e de pesquisa.

<sup>9</sup> Trata-se de duas quadras conjuntas com uma única entrada para veículos.

<sup>10</sup> Econômicas por se tratarem de edifícios de três pavimentos sem elevadores.

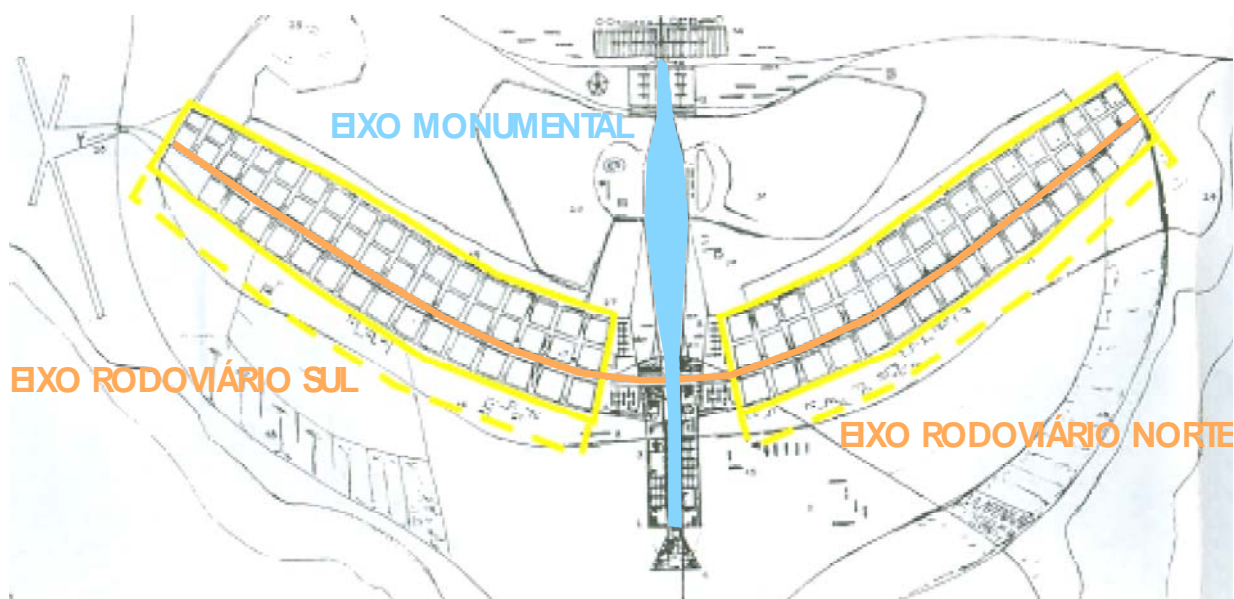


Figura 1.2: Projeto de Plano Piloto apresentado no concurso – em amarelo é destacada a área das superquadras proposta originalmente.

Fonte: Adaptação a partir de Carpintero (1998, p. 112).

### 1.3.1 Cidade Jardim e Unidade de Vizinhança

Carpintero (1998) discute em seu trabalho inúmeros princípios e idéias que serviram de inspiração para Lúcio Costa no seu projeto de Plano Piloto. Para o desenho das superquadras duas influências são fundamentais: a Cidade Jardim e a Unidade de Vizinhança.

O conceito da **Cidade Jardim** foi desenvolvido por Ebenezer Howard e publicado no seu livro "*Tomorrow: A peaceful path to Real Reform*", em 1898. No século XIX as cidades sofriam pela falta de espaços verdes, sol, luz natural e ar fresco, o que resultava em fácil propagação de doenças. O campo, por outro lado, sofria por outras razões: falta de infra-estrutura, acesso à escola, trabalho, serviços, etc. A idéia de Howard compreendia a junção do que cada um tinha de melhor. Deste modo nasceu a cidade jardim, uma cidade horizontal com número de habitantes limitado, muita área verde e com todas vantagens que a cidade grande oferece.

A idéia de **Unidade de Vizinhança**, desenvolvida por Clarence Stein na década de 1920, deriva do conceito da cidade jardim. Costa adotou as idéias de Stein para resolver problemas da habitação. Porém, em seu relatório e memorial justificativo da proposta, Costa sempre fala do bairro e não da unidade de vizinhança. Carpintero (1998) indica que a razão está em cada bairro ter o caráter próprio, enquanto nas unidades de vizinhança isto não acontece. Costa queria evitar a monotonia, desejando que cada quadra tivesse seu próprio caráter. O autor do projeto sugeriu, por exemplo, o plantio de uma espécie diferente na cinta arborizada de cada uma.

Posteriormente, em 1986, Costa escreveu sobre a unidade de vizinhança:

“O princípio de organização de vizinhança era colocar dentro de uma distância percorrível a pé todas as facilidades necessárias diariamente ao lar e à escola, e

manter fora dessa área de pedestres as pesadas artérias de tráfego que conduzem pessoas ou mercadorias que nada tem a ver com a vizinhança”.<sup>11</sup>

Uma Unidade de Vizinhança de Lúcio Costa é composta por quatro superquadras vizinhas (Fig.1.3) formando um quadrado de aproximadamente 600x600m.

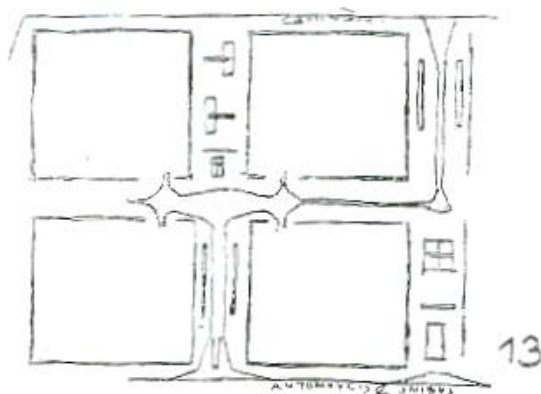


Fig. 1.3: Desenho da Unidade de Vizinhança apresentado ao Concurso  
Fonte: Carpintero (1998, p. 134).

### 1.3.2 Superquadras

As Superquadras são áreas verdes com dimensões aproximadas de 250m por 250m, onde se encontram implantados os edifícios residenciais (Fig. 1.4). O solo é público, de forma que não há cercas e muros<sup>12</sup> e os vazios estão preenchidos por gramados, chegando a alcançar até 84% da área, segundo Romero (2001). As superquadras 100, 200 e 300 possuem no máximo 11 blocos enquanto as 400 podem ter até 20 edifícios.



Figura 1.4: Vista aérea de superquadra SQN 202, ao fundo SQN 102 e SQN 103  
Fonte: <http://www.geocities.com>, autor Augusto C. B. Areal, 1997.

<sup>11</sup> Terceiro item da carta manuscrita por Lúcio Costa datada de 3 de julho de 1985 e publicada pela revista Módulo, n.89/90, 1986, p.117 (apud GOROVITZ, 1991, p. 293).

<sup>12</sup> Cercas e muros são ilegais, mas há muitas superquadras onde os blocos são rodeados pelas cercas vivas.

De acordo com o Relatório do Plano Piloto de Brasília, as superquadras seriam:

“... grandes quadras dispostas, em ordem dupla ou singela, de ambos os lados da faixa rodoviária, e emolduradas por uma larga cinta densamente arborizada, árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal, com chão gramado e uma cortina suplementar de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, o conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem” (COSTA, 1957, p. 42).

A Figura 1.5 expõe os desenhos das superquadras elaborados por Lúcio Costa.

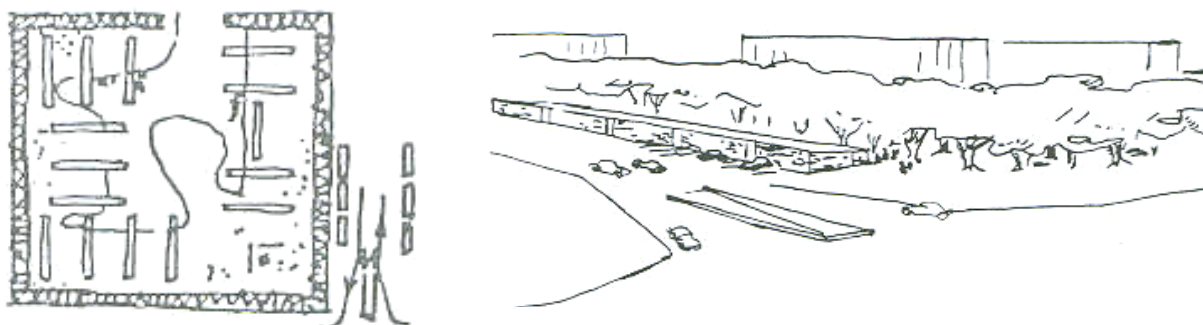


Figura 1.5: Desenhos de planta e de vista da superquadra apresentados ao Concurso

Fonte: Costa (1957, p. 43 e 47).

### 1.3.3 Códigos de Obras do Plano Piloto

A definição e o controle das características das construções são feitos por meio das normas urbanísticas de diferentes órgãos administrativos e reunidas no Código de Obras municipal. Em Brasília está atualmente em vigor o código de 1998, que suplantou os anteriores de 1989, 1967 e 1960.

O primeiro código (1960), aprovado poucos meses após a inauguração da cidade, foi praticamente o detalhamento do projeto de Lúcio Costa (FRANÇA, 2001). Nesta época a NOVACAP detinha poderes quase que absolutos sobre a gestão urbana. A instituição contou inicialmente com a participação ativa dos institutos de previdência de diversas categorias, entretanto, como a demanda por edificações residenciais era sempre maior da capacidade de oferta, a NOVACAP recorreu, ainda antes da inauguração da cidade, a outras instituições públicas, como o Banco do Brasil e a Caixa Econômica Federal, e mesmo a empresas privadas. (BATISTA et al, 2003)

O Código de 1967, editado durante ditadura militar, permitia uma maior participação de empreendedores privados na construção de Brasília. Neste período tornou-se expressiva a construção de edifícios dirigidos para o mercado imobiliário.

Alguns acontecimentos marcaram a elaboração do Código de 1989: (1) a inclusão de Brasília na lista de 'Patrimônio Cultural da Humanidade' pela UNESCO, em 1987, (2) a proposta "Brasília Revisitada", de Lúcio Costa, no mesmo ano, e (3) a promulgação da nova Constituição Brasileira em 1988, com a qual o DF adquiriu autonomia política.

O último fato resultou na criação de uma Câmara de representantes eleitos com poderes para estabelecer políticas de uso e ocupação de solo. Isso se concretizou em 1993 com a aprovação da Constituição do Distrito Federal que colocou o controle urbanístico nas mãos dos órgãos locais.

A redução de requisitos e a simplificação de procedimentos para a aprovação de projetos foram características das mais marcantes do Código de 1998. Nele também foram eliminadas quase que integralmente as exigências relativas à qualidade arquitetônica. Ao que se vê, o último código contraria tendências atuais de aplicação de normas cada vez mais rígidas, principalmente em cidades tombadas.

## 1.4 EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

A única descrição que Lúcio Costa fornece em seu Relatório do Plano Piloto sobre os edifícios residenciais é que “dentro destas ‘superquadras’ os blocos residenciais podem dispor-se da maneira mais variada, obedecendo, porém a dois princípios gerais: gabarito máximo uniforme, talvez seis pavimentos e pilotis (...)” (COSTA, 1957, p. 42)<sup>13</sup>. A escassez de informações é compreensível, afinal o projeto é urbanístico e não arquitetônico. Suas premissas básicas são, porém, respeitadas até hoje.

A implantação de prédios residenciais dentro das superquadras varia de quadra para quadra. Há dois grupos principais de blocos residenciais: (1) os que ficam nas quadras 100, 200 e 300 possuem térreo sobre pilotis e mais seis andares; (2) aqueles das quadras 400 apresentam térreo mais três pavimentos, a maioria sobre pilotis<sup>14</sup>. Aqui a garagem e os elevadores não são obrigatórios, uma vez que sua ausência causa barateamento na moradia e deste modo aumenta a diversificação sócio-econômica do Plano Piloto.

Observa-se uma grande homogeneidade visual dos edifícios residenciais. As principais causas, além das normas muito restritas<sup>15</sup>, são: rápida construção da cidade, economia de escala e o fato de alguns poucos arquitetos terem presença muito marcante, construindo algumas dezenas de edifícios<sup>16</sup>. É muito comum a repetição de um projeto, não somente dentro de uma superquadra, mas também nas quadras vizinhas. Mesmo alterando cores e materiais de acabamento existem várias quadras onde todos os seus blocos seguem uma mesma linguagem.

### 1.4.1 Projeção e pavimento tipo

Lúcio Costa determinou que os edifícios residenciais seriam construídos sobre os pilotis já no Relatório do Plano Piloto. Como os prédios com pilotis possuem espaço de livre passagem, este não

---

<sup>13</sup> Na realidade o que foi recomendado por Lúcio Costa no Relatório do Plano Piloto foi uma altura máxima, podendo então existir na mesma quadra prédios com as alturas e os números de andares diferentes (isto de fato ocorre somente nas quadras SQS 308 e SQS 114, que apresentam além dos prédios de seis pavimentos, alguns blocos com quatro pavimentos). Os Códigos de Obras de Plano Piloto, ao contrário, limitam o número de pavimentos e não a altura máxima dos blocos, e obviamente, blocos com o mesmo número de pavimentos podem ter alturas diferentes.

<sup>14</sup> Nas quadras 400 da Asa Sul existem edifícios, chamados “Blocos JK”, com três pavimentos sem pilotis.

<sup>15</sup> A projeção e o número de pavimentos definidos não permitem ao arquiteto inovar na forma dos edifícios.

<sup>16</sup> Por exemplo, Eduardo Negri, arquiteto da Caixa Econômica Federal nos anos 60 e 70, e Manoel Hermano, que projetava para CODEBRÁS (FRANÇA, 2001, p.17).



poderia ser chamado nem de lote nem de terreno, pois estes termos já possuíam definições jurídicas. De acordo com França (2001), a palavra **projeção**, usada para designar as áreas destinadas às edificações, foi adotada pela primeira vez no código de obras de 1960.

Em 1969 foram lançadas todas as projeções para blocos residenciais das superquadras do Plano Piloto. A projeção padrão no caso dos blocos residenciais é retangular com dimensões de 12,5m x 85m<sup>17</sup> (Fig. 1.6). A forma delgada e a altura de seis pavimentos resultam em edifícios na forma de lâmina, com duas fachadas principais para onde se abrem as janelas e duas fachadas que são normalmente cegas.

As projeções foram traçadas seguindo um certo padrão. Todas foram projetadas paralelamente aos limites das quadras, isto é paralelamente ou perpendicularmente aos Eixos Rodoviários.

Os edifícios implantados nos limites das superquadras costumam ter a fachada principal voltada para o limite externo e os do interior são comumente voltados para praças internas ou áreas com equipamentos públicos. A SQN 106 é um exemplo deste princípio (Fig. 1.6). As saliências na planta dos blocos são as torres de circulação vertical que indicam a fachada dos fundos. Os blocos A, D, E, F, J e K, localizados no perímetro, têm fachada principal virada para fora da quadra e os blocos B, C, G e I localizados no miolo para dentro.<sup>18</sup> Os estacionamentos são com grande frequência implantados no espaço entre blocos periféricos e internos (Fig. 1.6).

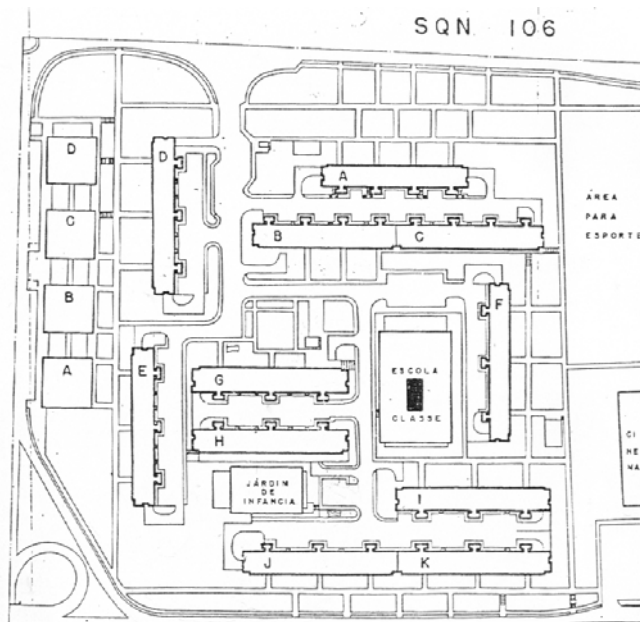


Figura 1.6: Planta da SQN 106.

O código de 1967 permitia que o proprietário de todas as projeções de uma superquadra alterasse a disposição, a quantidade e a forma dos blocos, desde que mantendo a taxa de ocupação, os pilotis e o número de pavimentos. Somente quatro das superquadras sofreram mudanças radicais em relação às projeções originais. Na superquadra SQS 207 a planta dos blocos têm forma de letra H e são

<sup>17</sup> É comum a justaposição de duas projeções formando um bloco duplo muito comprido com 12,5m de largura e 170m de comprimento.



dispostos a 45° em relação ao perímetro da quadra. Nas superquadras SQN 309 e SQN 310 há alguns edifícios implantados diagonalmente em relação aos limites da quadra. Na SQN 204 os edifícios têm forma muito diferente da projeção original.

Durante as últimas décadas foram introduzidas muitas modificações nos códigos de obras, alterando a forma da projeção e do pavimento tipo, sempre favorecendo os interesses imobiliários. Um bloco típico de seis pavimentos da década de 1960 possuía 48 apartamentos (BATISTA et al, 2003). Os edifícios novos com o mesmo gabarito de seis pavimentos e construídos formalmente sobre as mesmas projeções chegam a abrigar 96 apartamentos.

A Figura 1.7 e a explicação a seguir ajudam a compreender os mecanismos introduzidos pelos diferentes códigos de obras que permitiram a multiplicação da área do pavimento tipo e simultânea alteração das fachadas.

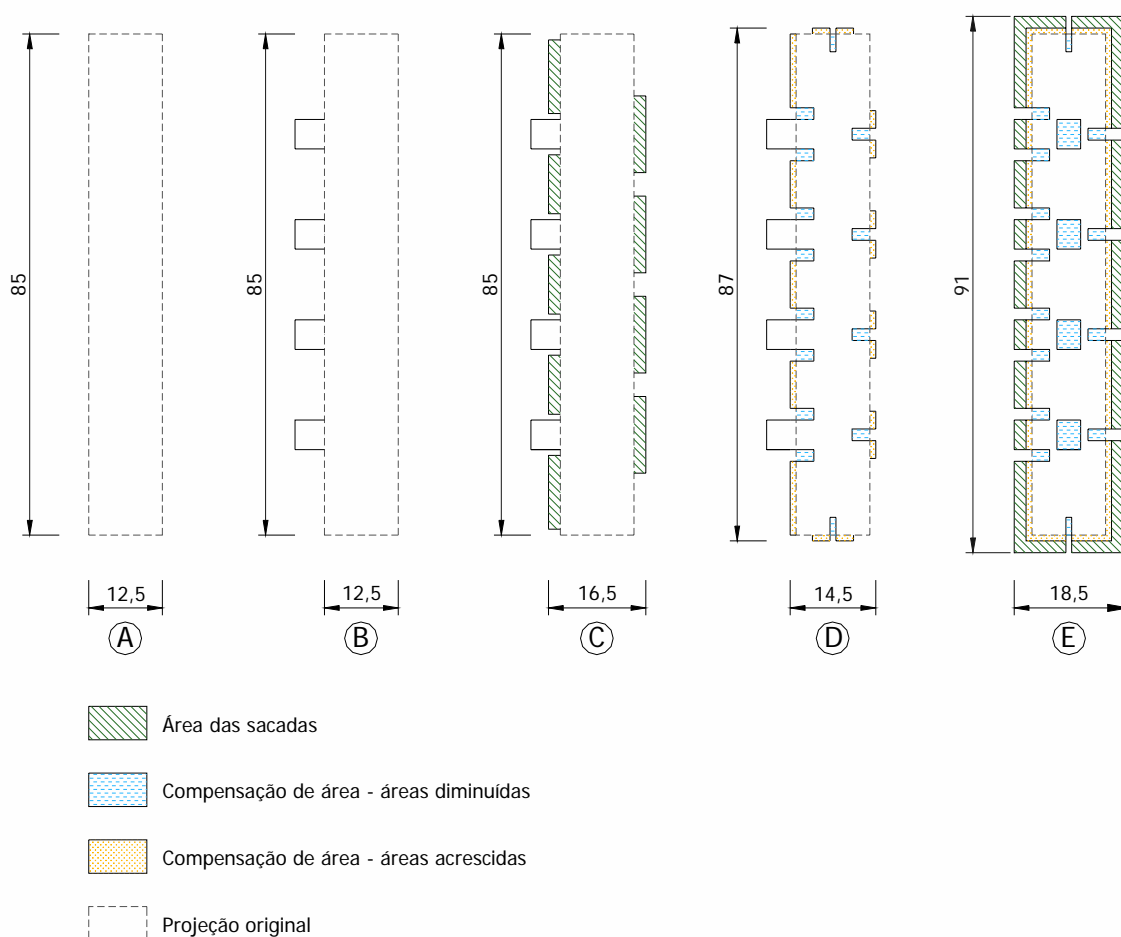


Figura 1.7: As sucessivas mudanças na projeção e no pavimento tipo.

Fonte: BATISTA (2003, p. 9).

O esquema A expõe a projeção original em forma de um retângulo perfeito com 12,5m x 85m. O código de 1960 exigia que as fachadas laterais fossem cegas, o que resultava numa clara divisão entre fachadas de frente e de fundo.

<sup>18</sup> Os edifícios com planta quadrática (letras A, B, C e D) pertencem ao comércio local.

No esquema B percebemos as torres de circulação vertical alocadas fora do perímetro, em área pública. Esta solução foi adotada na prática desde o início da implantação do Plano Piloto, mas regulamentada somente pelo código de 1967. Além disso, este código não faz mais restrições às fachadas laterais e ao mesmo tempo permite até oito apartamentos por prumada.

A área na cor verde no esquema C corresponde às sacadas com até 2m de balanço para fora dos limites da projeção. Este artifício foi regulamentado pela Decisão do CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Governo Distrital) nº 21, em 1975, que excluiu suas áreas do cálculo da área máxima da construção.

O código de 1989 confirmou a regra referente às sacadas e autorizou a 'compensação de área'. A regra permite que a área das reentrâncias criadas na projeção devido a poços de ventilação e iluminação possa ser compensada em seu perímetro em balanço até um metro (esquema D). Neste código também foi autorizada a compensação da área de circulações verticais situadas no interior da projeção para fora do seu perímetro. Esta medida contribuiu para o desaparecimento dos apartamentos vazados e a conseqüente abolição da oposição tradicional frente/fundos.

Uma das conseqüências desta medida é uma sensível piora no desempenho térmico e luminoso dos ambientes internos. Os apartamentos não vazados não permitem ventilação cruzada e recebem luz natural somente de um lado, o que resulta na maioria dos casos em apartamentos com banheiros servidos por um poço de ventilação e sem iluminação natural. Além disso, isso implica necessariamente apartamentos onde todos os cômodos são voltados para faces que recebem alto grau da insolação (nordeste, norte, noroeste, oeste) necessitando de proteções solares nem sempre aplicadas.

“Como as sacadas vinham sendo fechadas com vidro ou outros materiais, o Código de 1998 legalizou a situação de fato e permitiu que áreas previstas para sacada fossem incorporadas aos ambientes lindeiros já no projeto. A combinação das tais permissões resulta no esquema E” (BATISTA et al, 2003, p.10).<sup>19</sup> Assim fica explicado o aumento do perímetro do pavimento tipo dos originais 12,5m x 85m até os atuais 18,5m x 91m, garantindo um aumento de área útil da ordem de 50%<sup>20</sup>.

#### **1.4.2 Tipologias e fachadas**

Nos blocos residenciais das décadas de 1950 e 1960 existe uma clara distinção entre as fachadas de frente e dos fundos. A fachada da frente, para onde são voltados os compartimentos nobres (sala e quartos) é normalmente caracterizada por grandes janelas corridas, seguindo as premissas de Le Corbusier. Voltados para os fundos ficam cozinha, área de serviço e dependências dos empregados. O código de 1960 ordena: “As áreas de serviço deverão ter elementos vazados que as protejam da visibilidade externa e impeçam a colocação de roupas para secar nos peitoris...”. Por conta da

---

<sup>19</sup> As sacadas são também um elemento de proteção solar. Quando fechadas com vidro, acrílico etc., no entanto, se transformam em elemento gerador de calor por meio de efeito estufa.

<sup>20</sup> Batista et al. argumentam que se trata de aumento da área útil da ordem de 70%, porém, fazendo os cálculos chegou-se ao número entre 50 e 60%.

exigência tornou-se quase sistemático o uso dos cobogós<sup>21</sup>. Muitos prédios dos anos '60 possuem fachadas dos fundos constituídas somente com este elemento. A Figura 1.8 ilustra exemplos de 6 e 3 pavimentos.

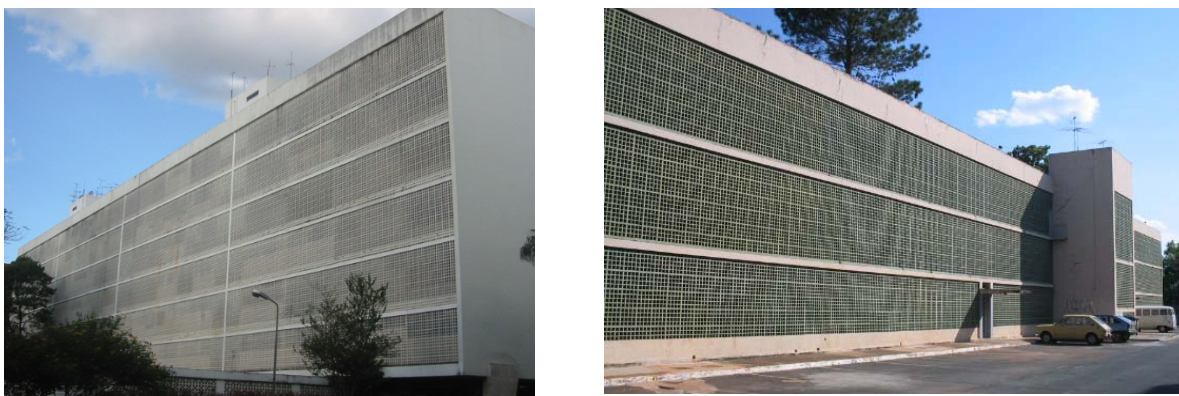


Figura 1.8: Fachada posterior inteiramente de cobogós: SQS 107, bloco J e SQS 408, bloco H.

No final da década de 1960 começou lentamente a desaparecer a distinção clara das fachadas frente/fundo, principalmente em decorrência da abolição dos apartamentos vazados e semi vazados<sup>22</sup>.

Assim, a grande maioria dos edifícios da década de 1990 possui fachadas equivalentes (no sentido de não haver uma principal). O código de 1989 autorizou a instalação de jardineiras e elementos decorativos com balanço até quarenta centímetros. O mesmo código permitiu também a ocupação da cobertura com dependências coletivas para recreação e lazer.

Após as inúmeras mudanças nos códigos de obras referentes à projeção, ao pavimento tipo, às fachadas etc. observam-se claras diferenças entre os blocos mais antigos e os mais novos. Em geral os antigos possuem volumetria pura, componentes retos e ortogonais, janelas corridas, brises e coberturas planas. Em sua maioria, os apartamentos são vazados ou semi-vazados.

A partir dos anos 90 os blocos são recortados devido às reentrâncias e sacadas, às vezes possuindo detalhes curvos. Os apartamentos são menores, em geral não são vazados e as superfícies de vidro reduzidas.

#### 1.4.5 Ocupação da cobertura

A cobertura plana de edifícios residenciais do Plano Piloto provém dos cinco pontos de arquitetura moderna protagonizados por Le Corbusier: pilotis, planta livre, janela corrida na horizontal, fachada livre e cobertura plana. A justificativa para o emprego da cobertura plana foi (segundo as premissas de Le Corbusier) o ganho de mais um pavimento, para se obter assim uma área de estar ao ar livre.

<sup>21</sup> Os cobogós são elementos vazados, de concreto. Normalmente possuem dimensões de um tijolo comum e são empregados para a ventilação e iluminação natural dos ambientes.

<sup>22</sup> Os apartamentos vazados são aqueles cujas dependências são voltadas para as duas faces opostas do edifício, permitindo assim ventilação cruzada. Os semi-vazados dão diretamente apenas para uma fachada longitudinal e no lado oposto possuem aberturas voltadas para circulação horizontal que se estende ao longo do edifício e é aberta para a outra fachada longitudinal.

Deste ponto de vista a ocupação da cobertura é legítima. Lúcio Costa não se pronuncia a respeito em seu Relatório do Plano Piloto de Brasília.

Até o Código de 1989, a ocupação das coberturas era autorizada somente para equipamentos técnicos, como caixas d'água e casas de máquinas. Com ele passou a ser permitido o uso coletivo para fins de recreação e lazer. Autorizou-se a ocupação de até 40% da área da cobertura, exigindo um afastamento mínimo de 2,50m dos limites da projeção e altura máxima de 4m.

O Código de 1998, porém, permitiu a ocupação parcial privativa da cobertura por parte dos donos dos apartamentos do último andar. Apesar da cláusula sobre o recuo mínimo de 2,5m, tornaram-se comuns construções que não respeitam a legislação. "Este padrão de construção é criticado, sobretudo por seus resultados heterogêneos, uma vez que cada proprietário executa suas obras com caráter próprio e materiais diferenciados, sem maiores preocupações com o conjunto arquitetônico".(BATISTA et al., 2003, p. 12).

## 1.5 PROTEÇÃO E PRESERVAÇÃO

Brasília é considerada Patrimônio Nacional devido a seus antecedentes históricos, qualidade de urbanismo e arquitetura e quantidade de recursos humanos e materiais envolvidos na sua construção (BRASÍLIA Patrimônio Cultural, 2001).

No nível nacional a cidade conta com a proteção do Governo do Distrito Federal<sup>23</sup> e do Governo Federal<sup>24</sup>. A proteção, viabilizada pela legislação específica, tem por objetivo conservar e manter as características essenciais do conjunto urbanístico, arquitetônico e paisagístico.

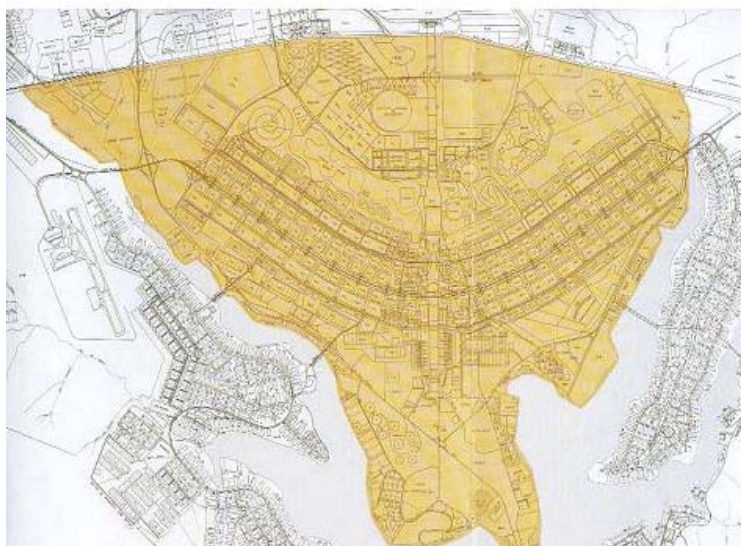


Figura 1.9: Delimitação da área tombada do conjunto urbanístico de Brasília.

Fonte: BRASÍLIA Patrimônio Cultural.

<sup>23</sup> Decreto nº 10.829 de 14 de outubro de 1987, baseado no documento Brasília Revisitada, elaborado por Lúcio Costa nos anos 1985-87. O documento trata das questões de complementação, preservação, adensamento e expansão urbana.

<sup>24</sup> Portaria nº 314 de 8. de outubro de 1992, de Instituto Brasileiro do Patrimônio Cultural. É uma cópia do Decreto nº 10.829.

A área protegida abrange 112,25 km<sup>2</sup>, sendo considerada a maior área urbana tombada do mundo (Figura 1.9). A proteção se dá a partir de quatro escalas urbanísticas adotadas já no projeto do Plano Piloto em 1957: monumental, residencial, gregária e bucólica.

A escala monumental é constituída pelo Eixo Monumental, desde a Praça dos Três Poderes até a Praça do Buriti. O centro de Brasília, que representa escala gregária, inclui a plataforma da Rodoviária, setores Bancário, Comercial, Hoteleiro, de Diversões, Médico-Hospitalar, de Autarquias e de Rádio e Televisão Sul e Norte. A escala bucólica é apresentada por espaços livres e áreas verdes que conferem a Brasília o caráter de cidade jardim.

A escala residencial engloba setores residenciais das Asas Norte e Sul que, por meio do conceito de superquadra e unidade de vizinhança, visa proporcionar uma nova maneira de se viver.

A legislação Distrital e Federal decreta a respeito dos edifícios residenciais:

- Os edifícios residenciais nas quadras 100, 200 e 300 terão seis pavimentos sobre pilotis;
- Nas quadras 400 os edifícios residenciais terão três pavimentos sobre pilotis;
- Em todas as superquadras a taxa máxima de ocupação para a totalidade dos edifícios residenciais será de 15%;
- Cada superquadra contará com um único acesso para automóveis e será cercada em todo o seu perímetro com faixa de 20m de largura densamente arborizada;
- Além das unidades de habitação serão previstas e permitidas pequenas edificações de uso comunitário com, no máximo, um pavimento.

Além da proteção Distrital e Federal a Brasília conta com a proteção da UNESCO desde 7 de dezembro de 1987. A cidade foi reconhecida como “Patrimônio Cultural da Humanidade” por ser a única capital do mundo totalmente projetada e construída dentro dos ideais modernistas<sup>25</sup>.

### 1.5.1 DOCOMOMO <sup>26</sup>

O DOCOMOMO é uma organização sem fins lucrativos cujo objetivo é estudar e preservar obras significativas do movimento moderno no campo da arquitetura, urbanismo e paisagismo<sup>27</sup>. Foi fundada em 1988 por dois professores da Universidade de Eindhoven, na Holanda, e hoje conta com escritórios em 45 países e mais de 2000 membros no mundo inteiro.

A cada dois anos o DOCOMOMO organiza uma conferência internacional para discutir temas ligadas ao movimento moderno. A sexta conferência, intitulada de “Modern city facing the future” (A cidade moderna encarando o futuro) foi sediada em Brasília em setembro de 2000, aproveitando as comemorações do 40º aniversário da cidade.

---

<sup>25</sup> Concretizando os princípios firmados em 1934 na Carta de Atenas, documento final do I. Congresso Internacional da Arquitetura Moderna.

<sup>26</sup> A sigla vem do termo: DOcumentation and COnservation of buildings, sites and neighborhoods of the MOdern MOvement (Documentação e Conservação de construções, sítios e bairros do Movimento Moderno).

<sup>27</sup> Todas as informações sobre a organização são oriundas do site: <http://www.docomomo.com>, acessado em 18/02/04.

A organização elaborou uma lista de critérios cujo objetivo é ajudar a determinar a importância de um espaço construído e com isso decidir se este deveria ser preservado, em que grau e como<sup>28</sup>:

1. Mérito tecnológico: quando a obra contém tecnologias inovadoras para resolver problemas de estrutura, do programa ou estéticos;
2. Mérito social: quando o desenho reflete mudanças nos padrões sociais do século XX;
3. Mérito artístico e estético: quando a obra possui composição, proporção, escala, material ou detalhes que deveriam ser preservados;
4. Mérito canônico: quando a obra e/ou o arquiteto são famosos;
5. Valor referencial: quando a obra influenciou outros artistas ou arquitetos por causa de seus atributos;
6. Integridade: quando a intenção original de desenho está aparente e não houve reformas que comprometeram a integridade arquitetônica da estrutura ou do lugar.

Geralmente um maior número de critérios correspondidos significa maior importância da obra.

Sherban Cantacuzino (1990) discutiu em artigo de sua autoria para a 1ª Conferência Internacional de DOCOMOMO os princípios de proteção da arquitetura do movimento moderno. O autor apontou que a proteção da arquitetura moderna em princípio não é diferente da proteção de outros estilos. As diferenças aparecem em métodos e técnicas da restauração, pois as construções modernas estavam frequentemente designadas a ter vida útil curta e muitas foram construídas experimentalmente.

Para ele, a proteção e a preservação são dois termos que se encaixam em termo mais amplo: a conservação. A conservação significa manter algo vivo o que no caso da arquitetura moderna pode significar uma casa, um bairro ou a cidade inteira. Isso pode demandar introdução de uma vida nova e com isso novos usos. Deste modo, a conservação não pode excluir as mudanças.

O importante é preservar as características que importam. Para isso é necessário fazer uma extensa pesquisa e análise a respeito de objeto a ser conservado e entender as razões pelas quais deveria ser preservado. Esta pesquisa deveria ir além da qualidade arquitetônica, interesse histórico e condição física da construção. Deveria incluir também uma análise da dinâmica do espaço no qual está inserida – as necessidades econômicas e sociais da área e como a construção em processo de conservação poderia supri-las de melhor maneira.

Portanto, o processo da conservação deve começar com uma extensa avaliação sobre que aspectos realmente valem a pena preservar. Significa que outros poderiam sofrer mudanças quando estas sejam necessárias para manter a obra em uso. Acredita-se que em longo prazo esta é a melhor maneira de preservação e normalmente o melhor uso é aquele para a qual a obra foi projetada inicialmente.

---

<sup>28</sup> Idem.

Associando as recomendações do DOCOMOMO e de Cantacuzino (1990) ao nosso objeto de estudo, pode-se afirmar que primeiramente deveria ser feito um estudo para identificar os potenciais edifícios a serem preservados. O estudo poderia ser baseado na lista dos critérios elaborados pela DOCOMOMO e provavelmente apontaria alguns dos edifícios mais antigos como merecedores da preservação.

Em seguida, uma análise mais detalhada sobre que partes poderiam ser preservadas, possivelmente indicando as fachadas, a área dos pilotis e talvez os espaços comuns internos dependendo do caso. Em cada tipologia deveriam ser apontados os principais elementos a serem preservados (configuração da fachada e/ou área de pilotis, materiais, a estrutura aparente, etc.), podendo modificar os outros caso isso se mostrasse necessário ou benéfico.

Aqui entra a questão dos edifícios que apresentam problemas de conforto térmico devido a grandes superfícies envidraçadas sem proteção solar e orientação inadequada. Caso queira-se preservar a fachada de um edifício deste, será que poderiam ser feitas mudanças externas para resolver os problemas térmicos? Quais mudanças seriam estas? Seria uma questão merecedora de análise à parte e dependente de cada caso.

Por outro lado, a proteção de áreas internas privativas (os apartamentos) não seria uma decisão sensata, pois a maioria delas já sofreu muitas mudanças. A proibição das reformas internas também acarretaria uma baixa nos preços dos apartamentos, podendo provocar em médio prazo a decadência dos edifícios, o que seria negativo para sua conservação.

O próximo capítulo aborda definições, conceitos e variáveis arquitetônicas referentes ao clima, ao conforto ambiental e ao consumo energético.

## Capítulo 2

# CLIMA, CONFORTO AMBIENTAL E ENERGIA: definições, conceitos e variáveis arquitetônicas

Neste capítulo serão abordados: (1) clima, (2) conforto térmico e luminoso, (3) consumo energético em edificações e (4) recomendações e estratégias projetuais para climas quentes e para a cidade de Brasília, com o objetivo de fundamentar o estudo em questão.

### 2.1 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Koppen (apud. FERREIRA, 1965) define clima como o “... conjunto das condições atmosféricas que tornam um lugar da superfície terrestre mais ou menos habitável para os homens, animais e plantas”.

De acordo com Vianna e Gonçalves (2001), o clima compreende o macro e o microclima, sendo a soma de fenômenos meteorológicos modificados pelas condições da superfície terrestre. O microclima pode ser definido como aquele encontrado num espaço mais limitado, seja o um ambiente, uma rua, uma cidade etc. O macroclima se refere àquele percebido nas diversas regiões, países, continentes e oceanos.

Entre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, pode-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos. São estas: a radiação solar incidente, a temperatura, a umidade relativa e os ventos.

#### 2.1.1 Radiação Solar

A radiação solar é a radiação eletromagnética emitida pelo sol, composta por radiação ultravioleta, visível e infravermelha. Segundo Givoni (1976) a visível possui a maior intensidade de radiação, no entanto mais da metade de energia é emitida como infravermelha.

A radiação solar chega à superfície terrestre de maneira direta e difusa. Os percentuais de cada uma dependem da transparência da atmosfera, da camada de ozônio<sup>29</sup>, da presença de vapores de água e dióxido de carbono<sup>30</sup>, da quantidade de nuvens no céu e até da espessura da camada da atmosfera a ser atravessada pela radiação, até chegar a um determinado ponto na terra.

Para a arquitetura é uma das variáveis de maior impacto, pois determina o quanto será necessário proteger ou expor a construção às condições naturais do tempo.

##### 2.1.1.1 Radiação Solar Direta

A posição do sol na abóbada celeste pode ser definida por meio dos ângulos de altitude solar e de azimute solar, que variam de acordo com a hora do dia e o período do ano.

---

<sup>29</sup> O ozônio é responsável pela absorção da maior parte dos raios ultravioletas.

<sup>30</sup> O dióxido de carbono absorve os raios infravermelhos e sua carga térmica elevada.



A intensidade da radiação direta depende da altitude solar e do ângulo de incidência dos raios solares na superfície receptora. Quanto menor a altitude solar, mais longo é o caminho da radiação pela atmosfera e menos radiação chega à superfície terrestre. Este fenômeno, que ocorre devido à absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera, é conhecido como dissipação atmosférica<sup>31</sup> (FROTA, 2004).

O espectro solar é composto por três tipos de radiação: ultravioleta, visível e infravermelha curta.

A **radiação ultravioleta** é responsável pela higienização dos ambientes (por ser germicida e bactericida), pigmentação e queimaduras de pele, síntese de vitamina D e descoloração de pigmentos. A **luz visível** é necessária para a maioria das ações do homem e para a fotossíntese vegetal. A **radiação infravermelha curta** é responsável pelo aquecimento dos ambientes (GILIO; PERÉN; CARAM, 2001).

A radiação solar direta é a fonte de luz mais intensa<sup>32</sup> e, devido à sua componente térmica, é muitas vezes considerada indesejável para a iluminação dos interiores. Entretanto, comparando a eficácia luminosa de luz natural com a de luz artificial percebemos que a luz natural produz menos calor que a maioria das lâmpadas<sup>33</sup>. Portanto a luz natural pode ser uma alternativa para diminuir a carga térmica emitida nos edifícios pela iluminação artificial, assumindo-se que pode ser distribuída, manipulada e largamente utilizada para fins da iluminação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Corbella e Yannas (2003) afirmam que nos climas tropicais a radiação solar é a principal causa de desconforto térmico, podendo, todavia, ser absorvida pela construção de duas maneiras:

1.) A porção que ingressa pelas aberturas é absorvida pelas superfícies de piso ou das paredes, convertendo-se em energia térmica e elevando imediatamente a temperatura do ar do ambiente. Quando as aberturas se encontram vedadas com vidro ocorre o **efeito estufa**, que corresponde ao seguinte processo: a radiação solar possui radiação infravermelha curta (700 a 2.300 nm) que penetra pelo vidro e aquece os corpos. Os corpos aquecidos emitem calor em forma da radiação infravermelha longa (2.300 a 10.000 nm) ao qual o vidro é opaco, aprisionamento deste modo o calor acumulado dentro do ambiente (CORATO et al, 2001).

2.) A radiação solar que atinge as paredes externas se converte em calor aumentando a temperatura da superfície externa. Inicia-se então uma onda de calor transmitida por condução através da parede até a superfície interna, elevando a temperatura desta. A superfície aquecida emite a radiação infravermelha longa e eleva a temperatura do ar interior causando o desconforto térmico dos ocupantes.

---

<sup>31</sup> O sol poente possui cor avermelhada, pois apenas a luz nesta frequência de ondas consegue atravessar o longo caminho pela atmosfera.

<sup>32</sup> A luz solar direta perpendicular à superfície a ilumina com 60.000 a 100.000 lux (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

<sup>33</sup> A luz natural ilumina com intensidade de 90 - 150 lm/Watt - lúmens por cada watt de calor dissipado. A eficácia luminosa da luz artificial é: lâmpadas incandescentes 5 - 30 lm/Watt, fluorescentes 20 - 100 lm/Watt e lâmpadas de sódio de alta pressão 45-110 lm/Watt (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

### **2.1.1.2 Radiação Solar Difusa**

A radiação difusa é a consequência de interferências provocadas pela atmosfera no trajeto da radiação direta. Quanto mais nublado for o céu menor a parcela da radiação direta e maior a parcela da radiação difusa que chega à superfície terrestre.

### **2.1.2 Temperatura**

A variação da temperatura na superfície da Terra é resultado dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação solar de local para local. Quando a velocidade de fluxos de ar é pequena, a temperatura é consequência em grande parte dos ganhos térmicos do local. A radiação solar que atinge a superfície terrestre é recebida de forma distinta dependendo do tipo de solo, da vegetação, da topografia e da altitude.

Os dados climáticos recolhidos ao longo de anos são preciosas ferramentas para se conhecer o comportamento das temperaturas num determinado local.

Em climas secos, a diferença entre as temperaturas mínima a máxima diária é maior do que em climas úmidos. Durante o dia a radiação solar incidente no plano horizontal é menor no clima úmido por causa da nebulosidade, aumentando também as perdas por evaporação. Durante a noite, as nuvens num clima úmido impedem a perda de calor por radiação (RIVERO, 1985).

Para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como vento e umidade.

### **2.1.3 Vento**

Na escala global, o determinante principal dos ventos é a distribuição das pressões atmosféricas. Estas podem ser explicadas, entre outros fatores, pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra (FROTA, SCHIFFER; 2001).

Na esfera local, as correntes de ar sofrem influência da topografia, das diferenças de temperaturas causadas por diversos revestimentos de solo e da vegetação. Os diagramas chamados 'rosa-dos-ventos' ilustram a probabilidade de ocorrência de vento num lugar para as principais orientações e suas velocidades.

O movimento do ar afeta nosso corpo. Não diminui a temperatura, mas provoca a sensação de frescor devido à perda de calor corporal por convecção e aumento da evaporação (OLGYAY, 1998).

### **2.1.4 Umidade**

A umidade do ar resulta da evaporação de água das superfícies úmidas e da evapotranspiração das plantas, podendo ser medida em termos absolutos ou relativos.

A umidade absoluta é o peso de vapor de água contido em uma unidade de volume de ar ( $\text{g/m}^3$ ). A umidade relativa é a proporção entre a umidade que o ar contém e a umidade máxima que poderia conter naquela temperatura, expressa em porcentagem (%).

A umidade relativa tende a aumentar quando a temperatura do ar diminui, e vice versa. Nos locais com alta umidade, a transmissão da radiação solar é reduzida devido ao vapor de água e as nuvens que a absorvem e a redistribuem na atmosfera. Em locais com ar seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias. Com alta umidade relativa a evaporação do suor fica mais lenta, aumentando a sensação de desconforto térmico.

## **2.2 CONFORTO AMBIENTAL**

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) afirmam que a preocupação do homem com seu conforto é diretamente proporcional à evolução da humanidade, ou seja, quanto mais evoluídas as sociedades, maiores ficam as exigências relacionadas ao conforto e ao bem estar.

Segundo Corbella e Yannas (2003, p.30) "... uma pessoa está em um ambiente físico confortável quando se sente em neutralidade com relação a ele".

Distinguimos vários tipos de conforto: térmico, luminoso, acústico, ergonomia e qualidade do ar. No presente trabalho serão abordados o conforto térmico e luminoso.

### **2.2.1 Conforto térmico**

ASHRAE (1993, apud LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997) define conforto térmico como o estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

O conceito de Frota e Schiffer (2001) leva em consideração mecanismos termorreguladores e a atividade do indivíduo. Assim, o conforto térmico é definido como a sensação do organismo quando perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo, sem recorrer a nenhum mecanismo termorregulador.

O metabolismo é o processo no qual as calorias adquiridas pelos alimentos estão transformadas por organismo em energia, usando o oxigênio extraído do ar pela respiração. Desta energia, aproximadamente 80% se transforma em calor e 20% em potencial de trabalho (FROTA; SCHIFFER, 2001). A energia transformada em calor necessita ser dissipada para que o organismo mantenha a temperatura interna constante. A dissipação da energia interna depende de vários fatores e é controlada por meio de mecanismos termorreguladores. Estes estão ativados quando a pessoa deixa de sentir conforto térmico.

No frio, mecanismos termorreguladores ajudam a evitar perdas térmicas do corpo e aumentam a produção interna de calor. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997) se manifestam na seguinte ordem: vasoconstrição periférica (contração de vasos capilares próximos à pele), arrepios e o aumento de metabolismo revelado pelo tremor dos músculos.

No calor, agem os mecanismos termorreguladores que aumentam as perdas térmicas do corpo: a vasodilatação periférica (dilatação de vasos próximos à pele), o suor e a redução automática do metabolismo.

O intercâmbio de calor entre o corpo e seu entorno pode ser classificado em quatro processos: radiação, condução, convecção e evaporação. Olgay (1998) estima que corpo humano perde cerca

de 40% de calor pela radiação, 40% por convecção e 20% por evaporação. Estas proporções mudam dependendo das condições térmicas, atividade e vestimentas da pessoa, entre outros fatores.

Os desequilíbrios ocasionados entre a geração e a dissipação do calor causam sensações desconfortáveis, fadiga<sup>34</sup> ou mesmo patologias em casos mais extremos. Os limites de sobrevivência são 32°C e 42°C (FROTA; SCHIFFER, 2001). A temperatura corporal do homem saudável deve se manter praticamente constante: entre 36,1°C e 37,2°C.

### 2.2.1.1 Índices de conforto térmico

As condições de conforto térmico dependem da atividade desenvolvida pelo indivíduo, sua vestimenta<sup>35</sup> e das variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa, velocidade do ar, etc. Os índices de conforto procuram englobar, num parâmetro, o efeito dessas variáveis.

Segundo Frota e Schiffer (2001) existem cerca de três dezenas de índices de conforto térmico. O elaborado por Fanger é um dos mais completos, pois leva em consideração a temperatura de bulbo seco, a temperatura média radiante, a umidade relativa, a velocidade de ar, a atividade e a vestimenta da pessoa.

Este índice foi escolhido para auxiliar na análise de desempenho térmico dos ambientes analisados neste estudo. Além de ser muito completo, o índice é um dos mais confiáveis e utilizados, pois desde 1984 serve como a base para a norma da International Organization for Standardization ISO 7730 (AMORIM, 1998; MACIEL, 2002).

Fanger, em 1970, desenvolveu a equação que calcula o índice chamado *Predicted Mean Vote - PMV* (Voto Médio Estimado - VME) para avaliar a sensação térmica e o grau de desconforto em ambientes fechados. O índice prevê valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas numa escala numérica com sete pontos. Os valores variam entre -3 e 3 e expressam a satisfação humana em relação ao ambiente térmico. O valor zero se refere ao ambiente neutro, valores negativos ao frio e os positivos ao calor. (Figura 2.1)

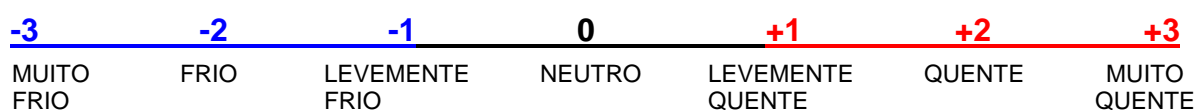


Figura 2.1: Escala de índice de VME.

A partir do valor de VME define-se o índice conhecido como Predicted Percentage of Dissatisfied - PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas - PPI), que avalia insatisfação térmica, por meio da estimativa do percentual de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente (AMORIM,

<sup>34</sup> Frota e Schiffer (2001, p. 21) distinguem três tipos de fadiga corporal: (1) muscular, resultante do trabalho físico, (2) Termo-higrométrica, relativa ao calor e ao frio e (3) Nervosa, principalmente visual e sonora;

<sup>35</sup> O efeito térmico da roupa se mede em *Clo*, uma unidade arbitrária que determina grau de isolamento da roupa. O valor de 1 *Clo* equivale ao isolamento que proporciona roupa normal de um homem em estado de conforto a uma temperatura de 21,1°C, sem movimento do ar, com umidade relativa menor de 50% e com pouca atividade física. (OLGYAY, 1998)

1998). O índice PPI pode variar de 5% à 100%, pois num grupo grande de pessoas nunca é possível satisfazer a todos. O Gráfico 2.1 apresenta a relação entre os valores numéricos de VME e o PPI obtidos por Fanger.

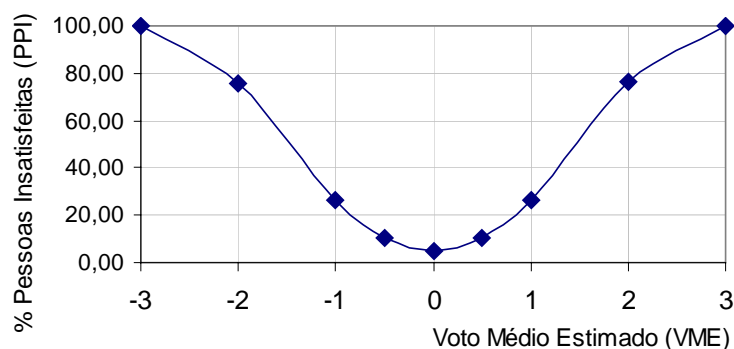


Gráfico 2.1: Relação entre VME e PPI

Segundo a norma ISO 7730 os ambientes ideais possuem valor de VME entre - 0.5 e + 0.5, o que corresponde a até 10% de pessoas insatisfeitas. São toleráveis, porém, os ambientes com VME entre -1 e +1 e 20% de pessoas insatisfeitas. A norma recomenda a utilização do índice de VME somente para os valores entre -2 e +2.

Estudos conduzidos em diferentes países demonstraram que jovens e pessoas idosas têm sensações iguais em ambiente iguais. Por outro lado Olgyay (1998) afirma que pessoas acima de 40 anos preferem geralmente temperatura 1°C mais elevada que os mais novos. Também afirma que mulheres preferem ambientes 1°C mais quentes que os homens.

Com relação à aclimação das pessoas, Butera (1995 apud AMORIM, 1998) assegura que um indivíduo exposto por longo período de tempo a um ambiente quente ou frio não se adapta a estas condições. Comparando os parâmetros de conforto de vários grupos de pessoas de proveniências diversas, as diferenças mostraram-se muito pequenas. Variações significativas se revelaram somente em relação ao comportamento psicológico quanto ao desconforto. Pessoas habituadas a ambientes confortáveis são menos predispostas a aceitar o desconforto.

Quanto à cor, os estudos mostraram que não existe relação entre a cor predominante de um ambiente e a sensação de calor ou frio (BUTERA apud AMORIM, 1998).

### 2.2.2 Conforto luminoso

O conforto luminoso pode ser compreendido como um conjunto de condições que garantem o desenvolvimento de tarefas visuais com a máxima precisão e o mínimo de esforço. De acordo com Vianna e Gonçalves (2001) estas condições são: iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados e equilíbrio de luminâncias.

Quanto mais complicada a tarefa a ser desenvolvida e quanto mais idosa pessoa, maior deverá ser o nível de iluminação do local. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997) a iluminação insuficiente causa fadiga, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as iluminâncias mínimas exigidas em função do tipo da tarefa (Tab. 2.1).

Tabela 2.1: Nível de iluminação exigido pela Norma Brasileira (NBR 5413/1992)

<b>Classificação</b>	<b>Nível de iluminação necessário</b>	<b>Tarefa</b>
Baixa	100 a 200 lux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circulação</li> <li>- Reconhecimento facial</li> <li>- Leitura casual</li> <li>- Armazenamento</li> <li>- Refeição</li> <li>- Terminais de vídeo</li> </ul>
Média	300 a 500 lux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura e escrita de documentos com alto contraste</li> <li>- Participação de conferências</li> </ul>
Alta	500 a 1.000 lux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura e escrita de documentos com fontes pequenas e de baixo contraste</li> <li>- Desenho técnico</li> </ul>

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA (1997, p. 45).

Como exposto anteriormente, contrastes adequados e a ausência de ofuscamento são duas condições necessárias para se obter conforto luminoso.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) definem contraste como a diferença entre a luminância de um objeto e a luminância do seu entorno imediato.

Vianna e Gonçalves (2001) definem ofuscamento como perturbação ou desconforto que ocorre quando o olho não consegue se adaptar aos contrastes excessivos de luminâncias. Esses contrastes excessivos dificultam a comunicação visual e causam fadiga rápida dos órgãos óticos. Podem ocorrer diretamente, quando o observador olha diretamente para a fonte de luz ou indiretamente, pela reflexão da imagem da fonte numa superfície refletora (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

### **2.3 VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS**

Em qualquer edificação as trocas de energia entre o exterior e o interior acontecem através do envelope do edifício. O envelope é constituído por paredes, coberturas e pisos que estão em contato direto com o ambiente externo.

O piso que está em contato direto com o solo não sofre grandes trocas térmicas, já que a temperatura do solo sofre variações pequenas. As paredes e coberturas externas, porém, recebem grandes cargas térmicas. A temperatura da superfície de uma parede ou cobertura pode variar até 50°C durante um único dia, dependendo do material, da cor e da orientação.

Cada material possui propriedades físicas distintas, reagindo diferentemente frente às trocas térmicas e principalmente frente à radiação solar. De grosso modo podemos classificar os materiais dos fechamentos em opacos e transparentes.

### 2.3.1. Fechamentos opacos

A principal diferença de fechamentos opacos e transparentes é sua capacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Em fechamentos opacos somente há transmissão de calor quando existe uma diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa. Com um diferencial de temperatura, começa a troca de calor entre as duas superfícies por condução. A intensidade do fluxo de calor pelo material depende da sua condutividade térmica ( $\lambda$ ), propriedade dependente da densidade ( $d$ ) do material. A espessura ( $R$ ) do material determina o tempo que o calor vai levar para atravessá-lo. Assim, a transmissão de calor nos fechamentos opacos demora algum tempo (normalmente algumas horas), enquanto nos fechamentos transparentes é quase instantânea.

A seguir serão abordados dois aspectos referentes aos fechamentos opacos e importantes para o desempenho térmico da construção: inércia térmica e Window Wall Ratio (WWR).

#### 2.3.1.1 Inércia térmica

“Nos estudos dos fenômenos térmicos, se fala de inércia térmica para indicar uma persistência da temperatura” (CORBELLA, YANNAS; 2003, p. 195). Papst (1999) define a inércia térmica como a capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor.

Uma edificação com pouca inércia acompanha em grande parte a variação da temperatura externa. Numa edificação com uma inércia hipotética infinita, a temperatura interna permaneceria constante. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e ou ganhos de calor. (PAPST, 1999)

Há dois parâmetros importantes associados à inércia térmica: a capacidade de amortecimento e o atraso térmico (RIVERO, 1986; PAPST, 1999; FROTA, SCHIFFER; 2001).

A capacidade de amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas.(PAPST, 1999)

Segundo Rivero (1986), o atraso térmico é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento.

Em locais onde o ganho de calor é desejável durante um período do ano, a inércia térmica tem diferentes papéis nos períodos quentes e frios, e para edifícios condicionados artificialmente ou não (PAPST, 1999). É principalmente indicada para locais com temperaturas altas durante o dia e baixas à noite, como em Brasília.

#### 2.3.2.1 Isolamento térmico

Para condições climáticas de Brasília, o isolamento térmico é recomendado na cobertura, pois esta parte do envelope recebe a maior carga térmica solar (AMORIM, 1998).

No caso das coberturas planas de blocos residenciais, se aconselha que sejam compostas por uma laje de concreto com espessura maior que 10 cm e uma camada de material isolante. O conforto

pode ser melhorado ainda com uma pintura de cor clara com grande poder refletivo (AMORIM, 1998; MACIEL, 2002).

### **2.3.2 Fechamentos transparentes**

Os fechamentos transparentes de um edifício compreendem janelas, aberturas zenitais e paredes transparentes. A sua função na arquitetura é permitir a iluminação natural do espaço interior e estabelecer uma conexão visual com o exterior. Através dos fechamentos transparentes acontecem as maiores trocas térmicas da construção.

As trocas térmicas de um fechamento transparente dependem da orientação e tamanho deste, do tipo de vidro e do uso de proteções solares. Nas últimas décadas foram lançados no mercado mundial fechamentos transparentes que, com adição de óxidos em sua composição ou combinação de materiais diferentes, controlam a transmissão de determinadas faixas de espectro solar.

A orientação das superfícies transparentes define o horário e a época da exposição do ambiente à radiação solar direta. Já o tamanho da abertura determina a quantidade de trocas térmicas. Na hora de dimensionar as aberturas deve se levar em conta, além das trocas térmicas, a iluminação natural do ambiente.

#### **2.3.2.1 Vidros**

Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis que permitem a iluminação natural do espaço interior e estabelecem uma conexão visual com o exterior. Porém, podem gerar problemas térmicos, acústicos e econômicos.

A radiação solar incidente em um fechamento transparente é em parte absorvida, em parte refletida e em parte transmitida para o interior. A parte absorvida se transforma em calor e pode ser emitida tanto para o exterior quanto para o interior na forma de radiação de onda longa.

A parcela transmitida depende da transparência do vidro, ou seja, da capacidade de transmitir as radiações presentes no espectro solar que abrange radiação ultravioleta, visível e infravermelho.

Portanto, a escolha de vidro deve ser baseada na sua capacidade de: admitir ou bloquear a luz natural, admitir ou bloquear o calor solar, permitir ou bloquear as perdas de calor do interior e permitir o contato visual entre interior e exterior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p.66).

A Tabela 2.2 apresenta o comportamento térmico de diferentes tipos de vidro diante radiação solar normal à superfície.



Tabela 2.2: Comportamento térmico de vidros diante radiação solar.

Tipos de Vidro	$\tau$	$\alpha$	$\rho$	G	$T_s$
Vidro Comum	0,85	0,07	0,08	0,88	$t_a + 7$
Vidro Absorvente Claro	0,52	0,41	0,07	0,68	$t_a + 23,3$
Vidro Absorvente Médio	0,31	0,63	0,06	0,56	$t_a + 26,6$
Vidro Absorvente Escuro	0,09	0,86	0,05	0,43	$t_a + 26,6$
Vidro Reflexivo Médio	0,25	0,42	0,33	0,42	$t_a + 21,0$
Vidro Reflexivo Escuro	0,11	0,42	0,47	0,28	$t_a + 22,8$

Onde:  $\tau$  = coeficiente de transmissão para um raio normal à superfície

$\alpha$  = coeficiente de absorção para um raio normal à superfície

$\rho$  = coeficiente de reflexão para um raio normal à superfície

G = coeficiente global de transmissão ( $G = \tau + 0,4 \alpha$ )

$T_a$  = temperatura do ar exterior ( $^{\circ}C$ )

$T_s$  = temperatura superficial máxima que alcança exposto ao sol ( $^{\circ}C$ )

Fonte: RIVERA (1986, p.96).

#### Vidro comum

O vidro comum é o mais utilizado no Brasil devido à sua disponibilidade e baixo custo. É altamente transparente a ondas curtas e opaco a ondas longas<sup>36</sup>. Isso significa boa visibilidade, mas também alta transmissividade da radiação solar e a ocorrência do fenômeno chamado de efeito estufa.

A reflexão do vidro incolor em função do ângulo de incidência dos raios solares é abordada no item. 2.4.3.2.

#### Vidros termo-absorventes

Este tipo de vidro é colorido a partir da adição de óxidos. Vem sendo usado na arquitetura em várias cores, como cinza, bronze, verde e azul. As mais eficientes são azul e verde, pois apresentam boa transmissão da radiação visível e atenuação da radiação infravermelha.

#### Vidros e películas absorventes (fumes)

São formados por duas ou mais placas de vidro, intercaladas por película polimérica de polivinil butiral incolor ou colorida. Podem ser encontrados no mercado em várias cores (azul, bronze, verde, fume).

O comportamento térmico é parecido com o de vidro termo-absorvente, mas a entrada de luz é menor, o que pode implicar a necessidade de luz artificial durante o dia.

#### Vidros e películas refletivos

Nas últimas duas décadas foram lançados no mercado mundial muitos materiais transparentes com a finalidade de obter maior conforto ambiental nas edificações. Para os climas quentes o material

transparente ideal é aquele que permite a passagem de luz visível e reflete o infravermelho próximo. Há dois tipos de soluções muito utilizadas com estas características: os vidros refletivos (chamados também de vidros metalizados a vácuo) e as películas de controle solar.

Os vidros refletivos são especificados normalmente já na fase da elaboração do projeto. Em uma de suas faces possuem uma camada de óxidos metálicos, o que aumenta o grau de reflexão e produz aparência de espelho.

Nestes tipos de vidros e películas há também uma redução da transmissão da luz visível. A outra desvantagem é a visão precária do interior para o exterior quando o ambiente externo está mais escuro que o interno. Portanto, não é recomendável em edificações onde a privacidade seja elemento importante.

A reflexão de vidros e películas refletivos em função do ângulo de incidência dos raios solares é tratada no item 2.4.3.2.

### **2.3.2.2 Policarbonatos**

As principais características dos policarbonatos são alta resistência a impactos<sup>37</sup> e opacidade aos raios ultravioletas. Isto os torna apropriados para o uso em vitrines, museus e bibliotecas, onde é necessária a ausência da radiação ultravioleta e ao mesmo tempo é desejada a luz natural. A outra vantagem para os climas quentes é a alta transparência à radiação de onda longa, ou seja, possuem grande capacidade de transmitir o calor, contribuindo para a redução do efeito estufa.

O grande problema aqui é a durabilidade do material. A transparência original permanece por apenas 5 a 7 anos, pois com tempo vão amarelando (CORATO et al, 2001). Além disso, possuem baixa resistência a riscos.

### **2.3.3 Window Wall Ratio (WWR)**

Como exposto anteriormente, a proporção entre a área da janela e a área total da parede externa é conhecida como Window Wall Ratio (WWR). Bannister et al (1998) analisam o efeito desta proporção nos gastos energéticos. Segundo os autores, em geral, janelas maiores aumentam ganhos e perdas térmicos, o que causa, em construções climatizadas artificialmente, impactos significativos nos custos energéticos. Em edifícios não climatizados, o tamanho das janelas não influencia expressivamente os gastos energéticos. Porém, altos índices de WWR ocasionam temperaturas internas maiores, forçando os usuários a instalar ar condicionado. Uma vez instalado o dispositivo, o uso da energia fica fortemente afetado pelas grandes superfícies envidraçadas.

Bannister et al. chegaram à conclusão que WWR de 50% é o limite superior adequado para todos os tipos relevantes das construções em todas as zonas climáticas.

Ghisi e Tinker (2001) pesquisaram sobre o tamanho de aberturas ideais, do ponto de vista energético, em edifícios de escritórios. A pesquisa abrangeu ambientes de formatos e tamanhos diferenciados

---

<sup>36</sup> Ondas curtas se dividem em visíveis e infravermelhas. As ondas longas são radiações infravermelhas emitidas por corpos aquecidos.

<sup>37</sup> Segundo os fabricantes, são até 250 vezes mais resistentes que o vidro comum (CORATO et al, 2001)

em cidades distintas. Em Brasília, para os ambientes de tamanho e formato próximos ao da sala e da suíte analisados no presente trabalho, a pesquisa aponta como ideais as aberturas com WWR de 18% a 39%, dependendo da orientação da fachada.

Considerando somente os aspectos energéticos e econômicos, pode-se chegar à conclusão que o melhor edifício não teria janela alguma. Existem, porém, outros fatores importantes que influenciam o design das janelas. A estética e os benefícios relacionados a conforto, saúde e produtividade provenientes da iluminação natural são igualmente importantes.

### **2.3.4 Proteções solares**

As proteções solares em aberturas das edificações são recursos importantes para a redução dos ganhos térmicos. Porém, deve-se tomar cuidado para não prejudicar demais a iluminação natural dos espaços internos.

No lado interior das aberturas se aplicam as proteções solares internas. Estas basicamente consistem em cortinas, persianas e prateleiras de luz internas. A desvantagem seria, no caso dos climas quentes, não evitar o efeito estufa, pois radiação solar que as atinge se transforma em calor, permanecendo no ambiente interno.

As aberturas em climas tropicais necessitam de uma proteção externa, que bloqueie a radiação direta antes desta penetrar no interior. As proteções solares externas são brises, toldos, beirais, películas refletivas, prateleiras de luz externas, etc.

Em seguida serão apresentados os dois tipos mais relevantes para o presente trabalho: os brises e as películas refletivas.

#### **2.3.4.1 Brises**

Os brises deveriam ser projetados em função da orientação da fachada e da eficiência desejada. São considerados eficientes quando impedem a entrada de raios solares num determinado período e ao mesmo tempo permitem a entrada da luz natural difusa em quantidade suficiente para poder dispensar a iluminação artificial.



Figura 2.2: Brise misto na SQN 206.

Podem ser horizontais, verticais ou mistos (Fig. 2.2). Os horizontais proporcionam o sombreamento quando o sol está alto, isto é, em torno de meio dia. Por isso são muito usados, no hemisfério sul, nas fachadas voltadas para o Norte. Os verticais protegem as aberturas do sol lateral, no período da manhã ou da tarde. Os mistos, por sua vez, são indicados para as fachadas que recebem muita insolação tanto do sol alto quanto do sol lateral.

#### 2.3.4.2 Películas refletivas

As películas para o vidro são cada vez mais usadas em fachadas de edifícios, lojas, escritórios, residências e em veículos. Existem vários tipos para usos variados: películas de segurança que impedem o estilhaçamento do vidro, películas coloridas para aumento da privacidade, películas refletivas de controle solar para redução dos ganhos solares, etc.

As películas de controle solar costumam ser aplicadas nas edificações que já estão em uso, com o intuito de minimizar o ganho de calor proveniente da radiação solar direta e diminuir luz excessiva.

De acordo com o artigo Reflexão da Radiação Solar em Vidros e Películas Refletivos (GILIO; PERÉN; CARAM, 2001) as películas refletivas de controle solar apresentam reflexão superior a dos vidros refletivos metalizados a vácuo. Esta confirmação é fruto de um trabalho experimental onde se comparou a reflexão dos dois materiais para os ângulos de incidência variados. O vidro comum também foi analisado servindo de referência, por se tratar do material mais encontrado no mercado.

No Gráfico 2.2 é apresentada a reflexão de vidro comum e de películas e vidros refletivos<sup>38</sup> em relação ao ângulo da incidência. Nota-se que todos os três materiais apresentam significativa elevação da reflexão para os ângulos de incidência maiores de 60°. Os coeficientes da reflexão das películas refletivas são expressivamente maiores que os dos vidros refletivos. A reflexão para as películas até o ângulo de incidência de 60° se aproxima a 50%, contra 25% dos vidros refletivos e 15% do vidro comum.

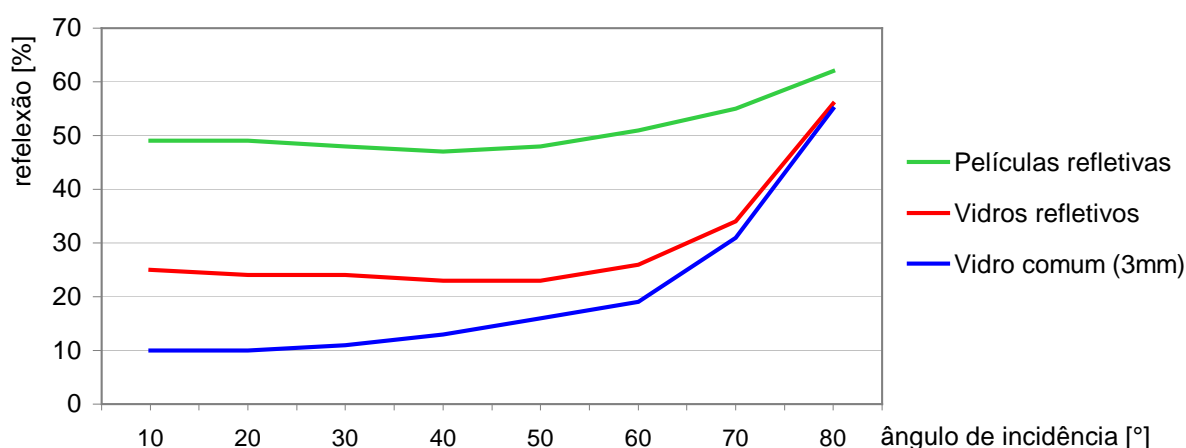


Gráfico 2.2: Reflexão da radiação solar em relação ao ângulo da incidência.

Fonte: Adaptado do Gilio, Perén e Caram (2001, p.4).

<sup>38</sup> Como existem diferentes tipos de vidros e películas refletivos, os resultados são uma média da amostra analisada.

O Gráfico 2.3 se refere a reflexão da luz solar visível. Embora as diferenças estejam menores que no gráfico anterior, as películas mantêm a tendência de maior reflexão: 34% contra 27% de vidros refletivos e 19% de vidro incolor.

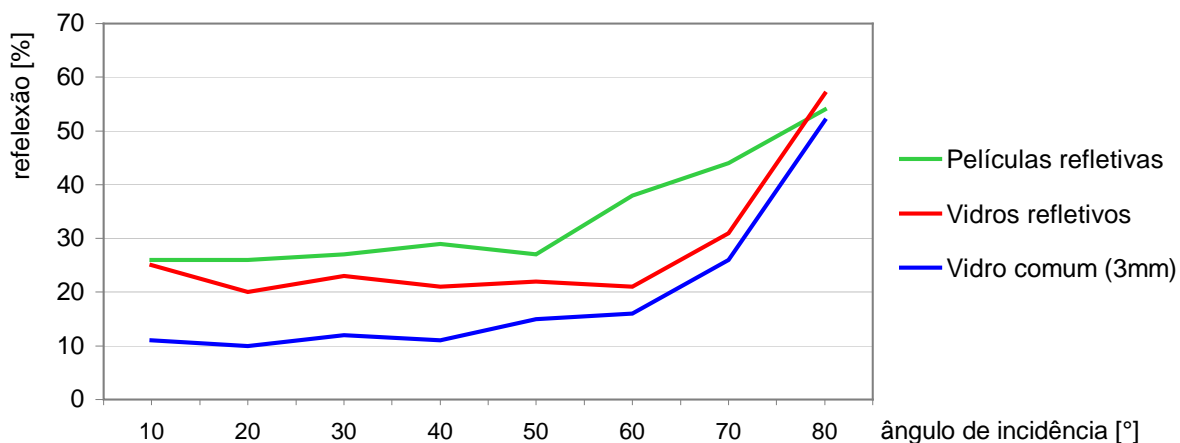


Gráfico 2.3: Reflexão do espectro solar visível em relação ao ângulo da incidência da luz solar.

Fonte: Arquivo próprio baseado nas tabelas de Gilio, Perén e Caram (2001).

Quanto à reflexão da radiação ultravioleta (UV) nota-se diferenças menores entre vidros e películas refletivos (Graf. 2.4). Até a incidência de 30° os vidros refletivos refletem mais. Para as incidências maiores as películas são mais eficientes. Em média as películas refletem um pouco mais da radiação UV que os vidros refletivos, 43% contra 37%.

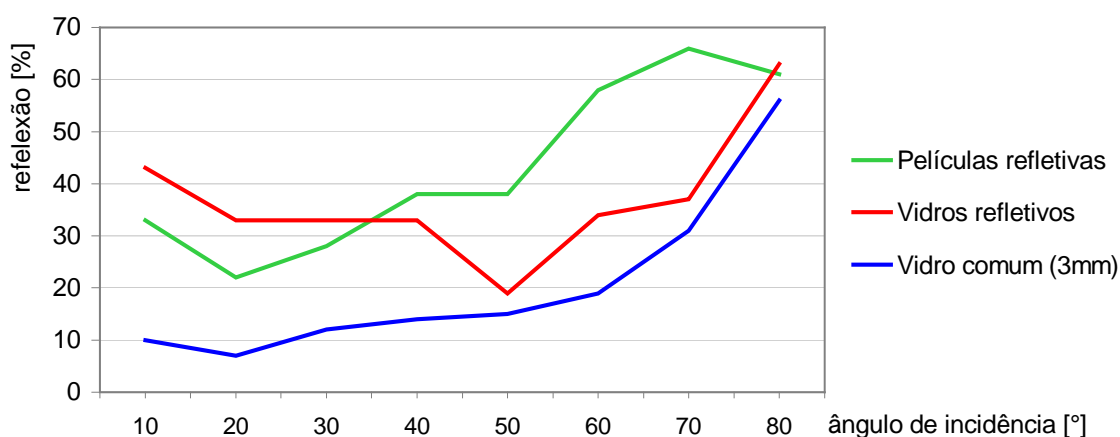
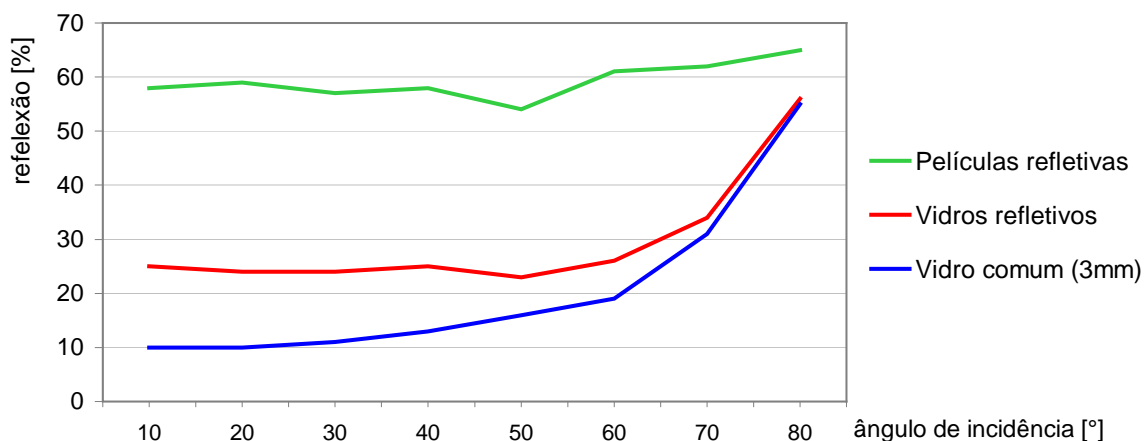


Gráfico 2.4: Reflexão dos raios UV em relação ao ângulo da incidência da luz solar

Fonte: Arquivo pessoal baseado nas tabelas de Gilio, Perén e Caram (2001).

A reflexão dos raios infravermelhos, principais responsáveis pelo aquecimento dos ambientes, é para vidro comum em média aproximadamente 20%, para os vidros refletivos cerca de 30% e para as películas refletivas quase 60% (Graf. 2.5).



.5 - Reflexão dos raios infravermelhos em relação ao ângulo da incidência da luz solar

Fonte: Arquivo pessoal baseado nas tabelas de Gilio, Perén e Caram (2001).

O estudo mostra que as películas refletivas são a solução mais indicada que os vidros refletivos quando se deseja evitar ganho de calor solar e não penalizar significativamente a entrada da luz visível.

## 2.4 CONSUMO DE ENERGIA

O princípio da arquitetura ambientalmente correta é aproveitar as características desejáveis do clima e evitar as indesejáveis. Infelizmente a premissa se perdeu ao longo do século XX devido aos avanços tecnológicos que possibilitam atingir o conforto ambiental em construções não adaptadas ao clima ao custo de grandes consumos energéticos.

*“Embora encontremos nesse período exemplos arquitetônicos notáveis nos quais se identifica a manutenção de princípios bioclimáticos históricos, os desenvolvimentos na área de sistemas estruturais, na produção de vidro e, posteriormente, no advento da luz elétrica contribuíram para retirar a função térmica do envoltório e passá-la aos sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração, e para substituir as aberturas na função de fontes de luz primárias” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p.07).*

A crise mundial de petróleo em 1973 e o conseqüente aumento de preços de energia despertaram a consciência da sociedade. Desde então se procura achar modos de gastar menos energia, já que esta, além dos altos custos, acarreta também danos ambientais e o esgotamento de recursos naturais.

### 2.4.1 Consumo de energia no Brasil

Em dezembro de 1985 o Governo Federal implantou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). As metas estabelecidas procuraram reduzir as perdas das concessionárias, racionalizar o uso da energia elétrica e uma maior eficiência energética em aparelhos elétricos. Em 18 de julho de 1991, o PROCEL foi transformado em Programa de Governo, tendo suas abrangência e responsabilidade ampliadas.

O setor industrial é o maior consumidor de toda a energia elétrica produzida, utilizando 44,6% desta. O uso residencial vem a seguir, com um consumo de 27%, seguido pelo uso comercial, com 13,9%. Os restantes 14,5% distribuem-se entre setor rural, iluminação pública, órgãos do governo e outros<sup>39</sup>.

A maior parte da energia usada em residências é consumida por geladeiras, chuveiros e lâmpadas (68%). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o consumo de ar condicionado representava, em 1991, somente 7% do total consumido por edificações residenciais. Contudo, na época, somente 6% das residências possuíam o aparelho. Porém “(...) com o desenvolvimento social crescente e a pouca qualidade das construções atuais, a aquisição desse aparelho será cada vez mais significativa, podendo se tornar um problema em breve”. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 21)

#### **2.4.1.1 Normalização em eficiência energética e conforto ambiental**

A necessidade de uma normalização sobre eficiência energética e conforto ambiental em edificações, adaptada à realidade brasileira, foi inicialmente discutida durante o I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, realizado no Rio Grande do Sul, em 1990 (GHISI et al, 2003).

Nesse direcionamento, em 1991 realizou-se em Florianópolis I Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações. De acordo com Ghisi et al (2003) ali foram elaborados dois textos delimitando diretrizes básicas para o desenvolvimento da normalização brasileira.

Em março de 1993, os textos foram apresentados ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACOM), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Em outubro do mesmo ano M.J. Barbosa e R. Lamberts publicaram uma comunicação técnica contendo sete textos base para o desenvolvimento de normas brasileiras de desempenho térmico e energético de edificações. Ao mesmo tempo, percebeu-se também a oportunidade de elaboração de pareceres relacionados à normalização da iluminação natural e de desempenho acústico (GHISI et al, 2003).

Os sete textos foram debatidos por meio das listas de discussões na internet e reuniões com os profissionais e pesquisadores da área durante anos 1996, 1997 e 1998. Todo o processo da elaboração de texto final está detalhadamente descrito em Ghisi et al (2003). O volume conclusivo possui cinco partes<sup>40</sup>:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

---

<sup>39</sup> Os dados são de 2001. Fonte: <<http://www.eletrobras.gov.br/procel/>>

<sup>40</sup> Pode ser obtido na página eletrônica: <http://www.labeee.ufsc.br/conforto/index.html>

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

Em janeiro de 2003 os textos foram aprovados pela Comissão de Estudo e estão aguardando a publicação pela ABNT. Os textos para as normas da Iluminação natural e desempenho acústico das edificações passaram por processos semelhantes.

#### **2.4.2 Consumo residencial de energia elétrica em Brasília**

Achão (2003) analisou em profundidade o consumo energético no setor residencial brasileiro. Um dos itens abordados pela autora foi o consumo de energia para condicionamento ambiental que inclui consumo de aparelhos de ar condicionado e ventiladores.

Em 1996, entre as 11 regiões metropolitanas<sup>41</sup>, Brasília apresentou o menor consumo para condicionamento ambiental – 5,3% do consumo total residencial. A média para todas as 11 regiões metropolitanas alcançou 11,2% (ACHÃO, 2003).

Comparando os dados de 1996 com aqueles de 1975 levantados por Arouca (1982 apud ACHÃO, 2003) houve um aumento significativo de consumo de energia para condicionamento dos ambientes. Em 1975 somente 2,2% do consumo energético residencial era com condicionamento ambiental, contra 11,2% em 1996 (média das 11 regiões metropolitanas). Em Brasília este percentual aumentou de 0,9% em 1975 para 5,3% em 1996 – o que representa um aumento de 588%. Ao que parece, o índice tão expressivo se deve ao aumento de poder aquisitivo, ao menor preço de aparelho de ar condicionado, à baixa qualidade de construções e ao aumento de calor pela urbanização excessiva, havendo ainda a tendência ao aumento do uso deste aparelho no setor residencial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

#### **2.5 CLIMA DE BRASÍLIA: CARACTERIZAÇÃO E RECOMENDAÇÕES DE PROJETO**

Ferreira (1965) foi pioneira na área de caracterização do clima de Brasília para o projeto bioclimático. Seu trabalho é utilizado até os dias atuais como referência para várias pesquisas da área, como Amorim (1998), Araújo (1999), Romero (2000), Maciel (2002), entre outros.

Contudo, os dados levantados pela autora são referentes ao período inicial de urbanização da cidade (1961-1965), podendo, portanto, não retratar de maneira atualizada o clima da região. Com o crescimento urbano e o conseqüente aumento da área pavimentada e construída pode ter ocorrido alteração no clima urbano. Segundo Koenigsberger et al (apud MACIEL, 2002), a temperatura do ar em uma cidade pode ser até 8 °C maior que no entorno e a umidade relativa pode ser reduzida em 5 a 10% devido às áreas pavimentadas, à ausência de vegetação e às altas temperaturas.

Mais recentemente Goulart, Lamberts e Firmino (1998) elaboraram detalhadas análises de clima para 14 cidades Brasileiras, entre elas Brasília. No entanto, como base para a capital brasileira foram

---

<sup>41</sup> As regiões metropolitanas analisadas foram: Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Curitiba, Porto Alegre, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Goiânia e Brasília.



utilizados os dados medidos no Aeroporto Internacional de Brasília entre anos 1961 e 1970, período no qual a cidade possuía menos da metade de sua população e ocupação urbana atual.

Maciel (2002), por outro lado, fez uma extensa análise climática e bioclimática da cidade com base nos dados climáticos obtidos pela INMET no período de 1982 a 1997. Por se tratar de valores mais atualizados, estes foram aqueles considerados efetivamente para este estudo.

O clima de Brasília pode ser classificado como Tropical de Altitude. De acordo com a classificação de Köppen são identificadas duas estações nitidamente distintas: quente-úmida (outubro a abril) e seca (maio a setembro). Maciel (2002) sugere a distinção de um terceiro período, dentro do período seco, que seria classificado como quente-seco e abrangeria os meses de agosto e setembro.

Como é possível observar nos climas compostos, verificam-se condições muito semelhantes ao clima tropical úmido, durante o período de chuvas, e semelhante ao clima tropical seco no período da seca, embora não demonstrem a consistência e os extremos que lhes são característicos (ROMERO, 2001; MACIEL, 2002).

No Gráfico 2.6 são apresentados os valores médios de temperatura e umidade relativa do período de 1982 a 1997. A linha azul escura mostra os valores médios das temperaturas máximas, a linha roxa se refere às temperaturas médias das médias e a azul clara aos valores médios das temperaturas mínimas. A umidade relativa é apresentada com colunas azul claras.

A temperatura do ar média é de 21,6 °C. As médias diárias são relativamente baixas, variando entre 14,6 °C, no mês de julho, e 21,1 °C, no mês de outubro, caracterizando, dessa forma, um predomínio de temperaturas amenas. Outubro é o mês mais quente, com temperaturas médias das médias mais elevadas, cerca de 23 °C, e, média das máximas de 29,2 °C, equivalente ao mês de setembro. O mês citado pode ser considerado como um dos mais desfavoráveis do ponto de vista do conforto térmico, apresentando elevadas temperaturas e baixa umidade relativa. As temperaturas acima de 30 °C representam menos de 3% mensais durante a maior parte do ano. Apenas nos meses de setembro e outubro, esse percentual varia entre 5 e 6% mensais (Graf. 2.6).

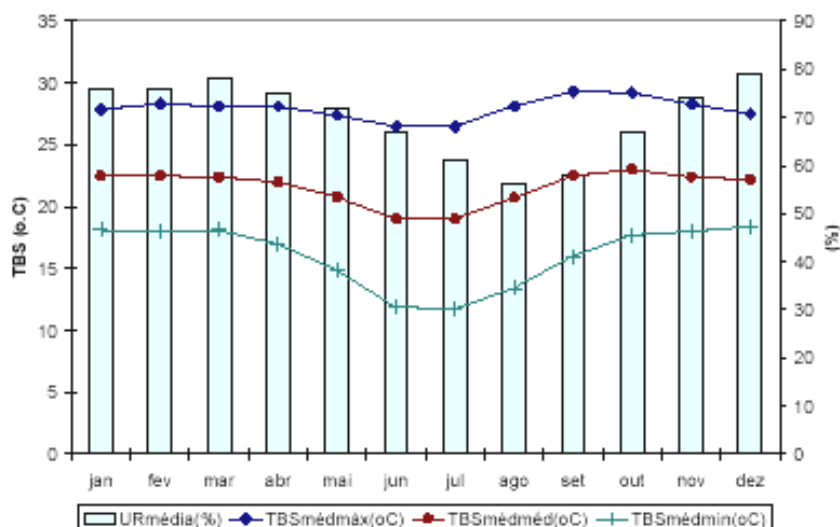


Gráfico 2.6: Valores médios das temperaturas de bulbo seco (TBS) e da umidade relativa (UR) para cidade de Brasília (1982-1997)

Fonte: MACIEL (2002, p.56).

As amplitudes diárias podem alcançar valores consideráveis, principalmente na época seca. No período quente-úmido as amplitudes variam entre 9,1 °C em dezembro e 11,4 °C em outubro. No período seco as temperaturas diárias apresentam em média maiores oscilações em julho (14,9°C) e menores em maio (12,5 °C) (Graf. 2.6).

A umidade relativa do ar média é de 70%. O mês mais seco é agosto, com 56% (Graf. 2.6). A umidade relativa mínima absoluta registrada é de 8%, no mês de setembro.

A precipitação total média está em torno de 1.500mm. Mais de 70% das chuvas acontecem de novembro a março, sendo dezembro o mês mais chuvoso com cerca de 250mm.

A insolação anual média soma em torno de 2.400 horas. A radiação direta é muito forte no inverno, a radiação difusa é intensa no verão e menor no inverno.

Os ventos predominantes são leste e sudeste na maior parte do ano, e noroeste nos meses mais chuvosos. Durante todo ano predominam as velocidades dos ventos de 2 a 3 m/s e de maneira secundária as velocidades de 3 a 4 m/s.

### **2.5.1 Avaliação bioclimática do clima de Brasília**

Vários autores preocupam-se em evidenciar a questão bioclimática ligada ao *habitat*. Os pioneiros nesta área foram os irmãos Olgay que nos anos 1950 estudavam o que passou a se chamar mais tarde de “arquitetura solar”, “arquitetura passiva” e “arquitetura bioclimática”.

Victor Olgay (1998) apontou que os esforços de controlar o meio ambiente e criar condições favoráveis para o desenvolvimento de atividades humanas são tão antigos quanto o próprio homem. Para sedimentar a idéia, expôs inúmeros exemplos da arquitetura popular que, com emprego de materiais locais e técnicas construtivas simples, proporcionam ambientes internos termicamente confortáveis na maioria dos climas. O autor explica como substituir lentos e trabalhosos processos de “tentativa e erro”, próprios à arquitetura vernacular, por métodos científicos apoiados em biologia, meteorologia, engenharia e arquitetura. Foi primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático que propõe estratégias da adaptação da arquitetura ao clima baseado nas condições externas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Baruch Givoni, também pioneiro na abordagem bioclimática do projeto arquitetônico, apresentou a partir da década de 60 vários estudos, onde foram analisados os elementos do clima, mecanismos de trocas térmicas, fisiologia do homem e índices de conforto térmico. Além disso, abordou a atuação da umidade e da radiação solar nos edifícios, efeitos da orientação, das aberturas e da ventilação, tipos de tetos e forros e as propriedades termofísicas dos materiais de construção (GIVONI, 1994).

A arquitetura bioclimática se baseia, como se vê, na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com o objetivo de fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto higrotérmico com baixo consumo de energia. Alguns métodos para projetos bioclimáticos aplicados à edificação utilizam

**cartas bioclimáticas**, que associam informações sobre a zona de conforto térmico, clima local e as estratégias de projeto<sup>42</sup> indicadas para cada período do ano.

Baseando-se na carta bioclimática de edificações elaborada por Givoni, Maciel (2002) realizou a análise bioclimática do clima da cidade de Brasília para o período de 1982 a 1997. A análise determina estipulação de um ano representativo do determinado período, denominado de Test Reference Year (TRY), ou Ano Climático de Referência (ACR). Stamper (apud GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 2002) descreve o procedimento utilizado para determinação de ACR, baseado na eliminação de anos que contém temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano somente. Seguindo o procedimento obteve-se como ACR do período 1982-1997 o ano 1987.

O arquivo do ACR consiste em dados climáticos horários para todas as 8.760 horas do ano. Com o auxílio do programa Analysis Bio 2.0<sup>43</sup>, Maciel (2002) plotou os dados de temperatura e umidade sobre a carta bioclimática (Figura 2.3).

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento evaporativo
4. Massa térmica p/ resfriamento
5. Ar condicionado
6. Umidificação
7. Massa térmica p/ aquecimento
8. Aquecimento solar passivo
9. Aquecimento artificial

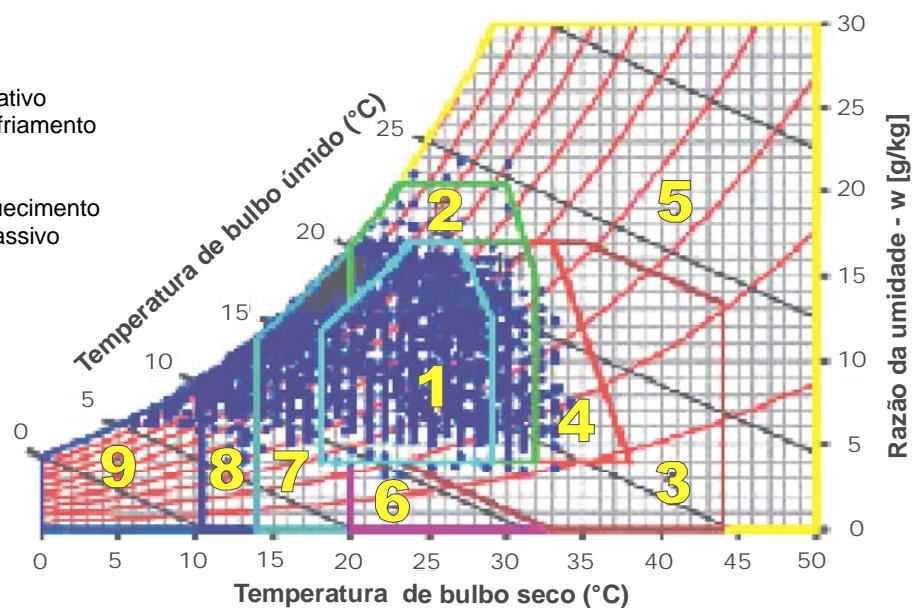


Figura 2.3: Carta bioclimática de Brasília para o ACR 1987.

Fonte: Adaptado de MACIEL (2002, p. 73).

A carta, construída sobre diagrama que relaciona temperatura do ar e umidade relativa, contém nove zonas. Na zona de conforto há grande probabilidade de que as pessoas se sintam confortáveis termicamente no ambiente interior (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997). Outras zonas indicam as estratégias de atuação para melhorar a sensação térmica. São elas: ventilação, resfriamento

<sup>42</sup> As estratégias de projeto são: ventilação, resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento, ar condicionado, umidificação, massa térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e aquecimento artificial.

<sup>43</sup> Programa computacional desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC) da Universidade Federal de Santa Catarina.

evaporativo, massa térmica para resfriamento, ar condicionado, umidificação, massa térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e aquecimento artificial.

As estratégias podem ser classificadas em naturais (sistemas passivos) e artificiais (sistemas ativos). As estratégias naturais são as que não gastam energia para seu funcionamento: ventilação natural, resfriamento evaporativo, massa térmica (que aumenta inércia térmica da construção), aquecimento solar passivo, etc. Os sistemas artificiais de uso mais comum na arquitetura são ventilação mecânica, aquecimento e refrigeração.

A tabela 2.3 apresenta os dados sobre conforto e desconforto térmico na cidade da Brasília, obtidos com ajuda da carta bioclimática apresentada anteriormente. Para cada tipo de desconforto são recomendadas as estratégias de projeto, descritas mais detalhadamente no item 2.5.2.

Observa-se que as condições se mantêm, durante 41% das horas do ano, em limites considerados confortáveis. O percentual de desconforto térmico por frio é de 36%, 14% superior ao desconforto por calor. São considerados como desconforto por frio os intervalos com temperaturas abaixo dos 18 °C (Tab. 2.3).

Tabela 2.3: Estratégias Bioclimáticas para a cidade de Brasília.

CONFORTO	DESCONFORTO	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS [%]	
41,2%	FRIO 36,6 %	Massa térmica para aquecimento	31,3
		Aquecimento solar passivo	4,37
		Aquecimento artificial	0,99
	CALOR 22,2 %	Ventilação	21,2
		Resfriamento evaporativo	8,38
		Massa térmica para resfriamento	8,29
		Ar condicionado	0,08
OBS.: O percentual de desconforto por calor ou frio não corresponde à soma das estratégias indicadas, pois os percentuais destas estratégias também consideram as zonas sobrepostas.			

Fonte: Adaptado de Maciel (2002, p.74).

As principais estratégias bioclimáticas recomendadas para frio são massa térmica e ganho solar passivo. Para o calor a tabela indica ventilação, massa térmica para resfriamento e o resfriamento evaporativo. Uso de sistemas artificiais (aquecimento artificial e ar condicionado) é necessário somente em 0,99%<sup>44</sup> das horas do ano no caso de desconforto por frio e em 0,08%<sup>45</sup> no caso de calor (Tab. 2.3).

Maciel (2002) faz comparação dos percentuais das estratégias obtidas para o ano 1987 com os percentuais obtidos para o ano climático de referência (1962) do período 1961 –1970. Observa que o desconforto por calor em 1987 aumentou 4,8% e o desconforto por frio diminuiu 4,6%. Estes dados

<sup>44</sup> Correspondendo a 87 horas por ano.

<sup>45</sup> Correspondendo a 7 horas por ano.

condizem com a tese que o aumento da área pavimentada e construída contribui para o aumento das temperaturas do lugar.

Se os percentuais de desconforto forem analisados de hora em hora é possível identificar diferentes comportamentos ao longo do dia. Analisar separadamente estes períodos é importante do ponto de vista das necessidades de projeto.

A Tabela 2.4 demonstra os diferentes percentuais que caracterizam as condições climáticas em cada período do dia. É possível identificar dessa forma que o percentual de desconforto térmico por frio registrado nos períodos diurno e noturno se deve, principalmente, ao intervalo entre 1:00 e 8:00 da manhã. O período da tarde, entre as 13h e 18h, é o principal responsável pelo desconforto por calor, com índice de 35,7%.

Tabela 2.4: Percentual de desconforto por período do dia.

<b>DESCONFORTO (%)</b>		<b>1987</b>
<b>Diurno 6 às 18h</b>	CALOR	25,9
	FRIO	19,5
<b>Noturno 18 às 6h</b>	CALOR	17,3
	FRIO	55,7
<b>Madrugada 1 às 8h</b>	CALOR	12,3
	FRIO	79,1
<b>Manhã 8 às 13h</b>	CALOR	23,4
	FRIO	10,6
<b>Tarde 13 às 18h</b>	CALOR	35,7
	FRIO	2,92

Fonte: adaptado da MACIEL (2002, p.74).

O estudo apresentado acima utiliza os dados climáticos externos. Nas edificações, porém, as condições de conforto são alteradas em virtude das variáveis arquitetônicas, orientação, entorno, padrão de uso, equipamentos, ocupação, etc.

No item a seguir são descritas as estratégias bioclimáticas recomendadas para as edificações na cidade de Brasília.

### **2.5.2 Estratégias bioclimáticas indicadas para Brasília**

Como visto no item anterior, a carta bioclimática elaborada por Givoni (apud MACIEL 2002) contém nove zonas. Uma delas é a zona de conforto, as outras indicam estratégias para amenizar a situação de frio ou calor.

Segundo a carta as temperaturas e umidades relativas externas proporcionam desconforto por frio em 36,6% e por calor em 22,2% das horas do ano (Tab.2.4). No entanto, a carta recomenda o uso das estratégias artificiais somente em 1,07% das horas do ano. Para a grande parte das situações de desconforto na cidade de Brasília, são indicadas as estratégias naturais, abordadas detalhadamente a seguir.

### 2.5.2.1 Ventilação

De acordo com Maciel (2002) a temperatura interna de um edifício ventilado naturalmente tende a se aproximar das condições externas. Por isso a utilização da ventilação diurna é aconselhável quando o conforto interno pode ser garantido pela temperatura externa, com velocidade do ar interna aceitável.

Para as regiões onde a temperatura diurna é maior que 29°C e umidade relativa inferior a 60% a ventilação noturna é mais adequada que diurna (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) listam as soluções arquitetônicas da ventilação mais utilizadas: ventilação da cobertura, ventilação cruzada, ventilação vertical e a ventilação sob a construção com o uso de captadores de vento.

Para o clima brasiliense a ventilação é a estratégia mais recomendada para desconforto por calor – durante 21,2% das horas do ano (Tab. 2.4). Nos edifícios residenciais a forma mais indicada é a ventilação cruzada.

### 2.5.2.2 Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo, indicado em 8,38% das horas do ano na cidade de Brasília, pode ser direto ou indireto. Os exemplos diretos são o uso da vegetação, fontes de água ou qualquer outro recurso fundamentado na evaporação da água situado no ambiente que se deseja resfriar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Um dos tipos de resfriamento evaporativo é o sistema baseado na microasperção, que emite gotas muito pequenas - do tamanho de 1 micro. De acordo com Maciel (2002) este é um sistema ativo (artificial), mas de custo e consumo energético muito menor que os aparelhos convencionais de ar condicionado.

O resfriamento evaporativo é mais apropriado para épocas e climas quentes e secos, pois reduz a temperatura do ar e aumenta a umidade relativa. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) recomendam que o sistema seja associado a uma ventilação eficiente para evitar o acúmulo de vapor de água.

Em edifícios residenciais do Plano Piloto o resfriamento com uso das plantas é mais aconselhável. Estas podem ser plantadas no entorno do edifício (árvores de grande porte tem efeito mais significativo), ou dispostas em vasos nos apartamentos.

### 2.5.2.3 Massa térmica

A massa térmica é a única estratégia biclimática que pode ser usada tanto para as situações de calor quanto para o frio. O conceito da massa térmica é ligado ao conceito da inércia térmica (abordada no item 2.3.1.1) dos materiais de construção<sup>46</sup>. Quanto maior a massa térmica dos materiais, maior a inércia térmica do edifício.

---

<sup>46</sup> É possível também tomar partido da inércia térmica do solo por meio dos ambientes enterrados ou semi-enterrados (MACIEL, 2002).

Segundo a tabela 2.4 a estratégia é aconselhada para o clima brasiliense durante 31,3% das horas do ano para frio e 8,29% das horas para o calor. Desta forma é em 39,59% das horas do ano a estratégia mais recomendada para o clima da cidade.

#### **2.5.2.4. Aquecimento solar passivo**

Existem diversas técnicas de projeto arquitetônico baseadas no aquecimento solar passivo: a adequada orientação e cor do fechamentos, o uso das aberturas zenitais controláveis, painéis refletores externos, a parede Trombe, os coletores de calor no telhado, a estufa, os coletores de calor de água, etc (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A carta bioclimática indica a estratégia para as temperaturas externas entre 10°C e 14°C (Fig. 2.2). Em Brasília estas temperaturas ocorrem de madrugada durante os meses mais frios, somando 4,37% das horas do ano (Tab. 2.3).

A seguir apresentam-se alguns estudos sobre a simulação computacional de desempenho térmico em edificações, que auxiliam no entendimento da metodologia proposta para este trabalho.

## Capítulo 3

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos alguns instrumentos extremamente úteis para a avaliação de ambientes construídos<sup>47</sup>, executados ou ainda em fase de projeto. Destacam-se aqui os *softwares* de simulação, e entre estes os de simulação de desempenho térmico, energético e luminoso, que se mostraram bastante precisos e econômicos. Os aplicativos permitem analisar os fenômenos muito complexos, o que algum tempo atrás apenas era possível por meio de cálculos complexos, construção de protótipos e medições *in loco*, demandando maiores recursos e tempo para a elaboração das pesquisas (AMORIM, 1997).

Devido à natureza da presente investigação, outros instrumentos para a avaliação das condições térmicas - tais como entrevistas, modificações *in loco* e modelos de escala reduzida - mostraram-se extremamente difíceis de implementar no estudo. A avaliação por meio de entrevistas exige uma amostra significativa e o emprego de métodos estatísticos, além disso, poderia ser utilizada somente para a avaliação da situação presente e não para a das situações propostas.

A verificação com base nas medições em modelos de escala reduzida implica a construção dos modelos, o que consiste em uma tarefa onerosa e demorada. Além disso, modelos em escala reduzida proporcionam resultados precisos somente na área da iluminação, não servindo, portanto, para as análises térmicas.

Também se mostrou impossível, por razões óbvias, a implementação das modificações propostas nos locais em estudo para uma avaliação *in loco*. Esse tipo de avaliação exige que os ambientes estudados sejam totalmente controlados pelo pesquisador. Para tanto, no presente caso, seria necessário ter acesso aos apartamentos não ocupados e de preferência não mobiliados. Dado o quadro, optou-se por medir as condições internas em apartamentos ocupados, ressaltando este fato e avaliando os resultados (item 5.2.2) com a devida ponderação e prudência.

### 3.1 BREVE HISTÓRICO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

As primeiras iniciativas no campo da simulação predial se deram no começo da década de 1970, quando surgiram vários grupos de pesquisa voltados para energias alternativas e inovações tecnológicas em edifícios (MENDES et al, 2001), o que impulsionou significativamente o desenvolvimento de programas de simulação.

Os aspectos relacionados ao consumo de energia em edifícios residenciais e comerciais levaram ao desenvolvimento de aplicativos capazes de analisar cenários complexos. Em Mendes et al (2001) há a indicação que o objetivo consistia em reduzir e otimizar o uso de energia em construções, levando em consideração diversos fatores como a geometria, a iluminação, os horários de uso e os sistemas de aquecimento e resfriamento.

---

<sup>47</sup> Principalmente para os que necessitam de algum tipo de modificação por meio de análises de viabilidade.



A necessidade de conhecer o comportamento detalhado de fenômenos físicos e os grandes avanços na área computacional resultaram no avanço nas pesquisas e criação de vários *softwares* de simulação predial, a exemplo: NBSLD, HVACSIM, DOE-2, BLAST, ESP-r, RADIANCE, etc. Os resultados obtidos por meio destes aplicativos fornecem dados como temperatura do ar, velocidade e pressão do ar, umidade e iluminação, permitindo análises precisas de conforto ambiental (MENDES et al, 2001).

### 3.1.1 Simulação computacional no Brasil

No Brasil o surgimento de programas de pós-graduação especialmente nas décadas finais do século XX promoveu a formação de vários grupos de simulação predial a partir dos anos 80. De acordo com Mendes et al (2001), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo foi o primeiro a rodar, em 1980, um programa para simulação predial denominado NBSLD, posteriormente desenvolvido e adaptado às condições brasileiras. No começo da década de '90 outros programas de simulação predial começaram a ser usados no país.

Foram também desenvolvidos alguns softwares a nível nacional, contendo banco de dados das principais cidades brasileiras e os materiais de construção mais comumente utilizados no Brasil, o que os torna mais práticos e eficientes. Como exemplos podem ser citados o ARQUITROP e o LUZ DO SOL, ambos da Universidade Federal de São Carlos, o CONFTERM, da Universidade São Paulo, e THEDES da Cientes, Porto Alegre (AMORIM, 1997).

O programa ARQUITROP, por exemplo, possibilita simulações de fluxos térmicos e de variações de temperatura diários nos ambientes internos, mostrando os resultados por meio dos gráficos. Possui um banco de dados com os climas das principais cidades brasileiras, além de cadastro com características térmicas de materiais e componentes usualmente empregados na construção civil. Fornecendo uma série de informações sobre as características do projeto e o local da sua implantação, o programa oferece para o dia do ano escolhido os seguintes resultados: (1) a temperatura do ar interior, (2) a temperatura superficial interior da cobertura e das fachadas, (3) a temperatura superficial média interior do ambiente, (4) a temperatura ambiental<sup>48</sup> e (5) os ganhos e perdas térmicas discriminados (pelos vidros e pelas vedações opacas, decorrentes da ocupação e do funcionamento de equipamentos). Todos os valores são apresentados hora a hora a partir de gráficos de saída.

O aplicativo LUZ DO SOL estima o calor e a luz provenientes do sol para todas as latitudes tanto no hemisfério norte quando no hemisfério sul, possibilitando análises preliminares de insolação no interior da edificação. Apresenta uma interface com o usuário bastante simples e de fácil aprendizagem.

Nenhum dos dois programas, no entanto, permite realizar análises integradas dos vários aspectos de conforto (térmico, luminoso e acústico). A última geração de programas computacionais está tentando preencher esta lacuna.

---

<sup>48</sup> Combinando a temperatura do ar e a superficial média.

A Universidade de Brasília possui licença de dois *softwares* construídos a partir desta nova tipologia que permite simulação integrada: o ARCHISUN e o ECOTECT.

O programa ARCHISUN, conhecido também como CLA2000 (*Climate, Location and Architecture*), foi desenvolvido na Europa, como parte de projeto "Renewable Energy Sources Implementation", da União Européia<sup>49</sup>. Sua base de dados contém somente dados referentes a alguns países europeus não sendo, portanto, aplicável à realidade brasileira.

O ECOTECT, por sua vez, possibilita simulações para qualquer lugar que possui arquivo climático em formato WEA<sup>50</sup>. Programado para o uso durante a fase da concepção do projeto, pode também ser aplicado para simulações de projetos prontos ou edifícios já existentes. Em razão destas características, o programa ECOTECT foi selecionado para uso nas análises do presente trabalho.

### 3.2 ECOTECT – PROGRAMA COMPUTACIONAL ESCOLHIDO

O Ecotect foi desenvolvido pelo Dr. Andrew Marsh, do grupo de pesquisa australiano *Square One*, baseado atualmente em Cardiff, na Inglaterra<sup>51</sup>. O programa foi lançado comercialmente em 1996 em Sydney, na Austrália. A última versão, Ecotect 5.20, foi lançada no mercado em 29 de setembro de 2003.

O aplicativo combina interface de desenho 3D e uma série de análises interativas com apresentação dos resultados. A modelagem é rápida e intuitiva, permitindo a geração das mais complexas geometrias arquitetônicas (BUILDING ENERGY SIMULATION, 2003), além de o modelo poder ser editado a qualquer momento.

A partir de um modelo geométrico e um arquivo climático, o programa oferece vasto leque de diferentes análises, necessitando, portanto, de uma ampla gama de dados que descrevem o edifício. Para não sobrecarregar o usuário, o ECOTECT oferece um sistema de fornecimento progressivo de dados. Inicialmente somente detalhes geométricos básicos precisam ser inseridos. Conforme o modelo é aperfeiçoado e os resultados mais detalhados exigidos, o usuário faz mais escolhas e entra com mais informações. (ROBERTS; MARSH, 2001)

Uma vez razoavelmente desenvolvido, o modelo pode ser exportado para uma série de programas computacionais mais específicos<sup>52</sup> usados pelos consultores e engenheiros, facilitando e agilizando trabalho destes (IBPSA NEWS, 2003).

Uma das mais importantes características do *software* é sua interface interativa para as análises. Adicionando uma janela nova ao edifício, por exemplo, podemos ver imediatamente seu efeito

---

<sup>49</sup> SERRA Rafael, ROSET Jaume (2001). **Energy conscious design**. WREC 2001, Disponível em: <<http://www.upc.es/aie/catala/publicacions/congressos/cla2000.html>>. Acesso em: 18/09/2004

<sup>50</sup> WEA – Weather data file

<sup>51</sup> Fonte: <<http://www.ecotect.com/ecotect.html> e <http://www.squ1.com>>. Páginas eletrônica desenvolvidas pelo Dr. Andrew Marsh e Caroline Raines.

<sup>52</sup> Os modelos elaborados pelo programa Ecotect podem ser exportados para programas: Energy Plus, ESP-r, HTB2, Radiance, POV-Ray e Winair4.

térmico, luminoso e acústico. O Ecotect é também o único da sua espécie que analisa o conforto, a emissão de gases causadores de efeito estufa, as análises energéticas e os custos.

Detalhadamente, o programa possibilita seguintes análises:

- (1) Geometria e radiação solares: radiação solar incidente nos espaços externos visualizada em diagramas 3D (média ou acumulada para qualquer período), diagramas de trajetória solar, máscaras de sombra para qualquer superfície de modelo, *design* de dispositivos de sombreamento, coleta de calor e energia fotovoltaica, etc.
- (2) Análises de iluminação natural e artificial: cálculo de níveis de luminância para a luz natural e artificial, com visualização em modelo 3D. Para as análises mais precisas o programa possibilita exportação do modelo para os *software* Radiance e POV-Ray.
- (3) Análises térmicas: gráficos de temperaturas internas e externas de hora em hora para qualquer dia do ano, visualização em modelos 3D de temperaturas internas e externas, gráficos de ganhos e perdas térmicas, gráficos de frequência de temperaturas internas e externas, etc. O modelo pode ser exportado para seguintes programas especializados em análise térmica: EnergyPlus, ESP-r e HTB2.
- (4) Análises acústicas: reflexões acústicas e tempos de reverberação.
- (5) Custos de construção e impactos ambientais: custos, energia despendida e impactos na camada de ozônio.

### 3.2.1 Método de Admitância

Neste trabalho o Ecotect será usado predominantemente para as análises de comportamento térmico que são baseadas no método de admitância da CIBSE (*Chartered Institute of Building Services Engineers*). Trata-se de um algoritmo térmico muito flexível que não possui restrições relacionadas à geometria dos espaços ou número de zonas térmicas<sup>53</sup> simuladas simultaneamente.

O método de admitância assume como básica a premissa de que a temperatura interna de qualquer construção sempre tenderá à temperatura média externa do local (MARSH, 1997). Qualquer flutuação da temperatura externa ou ganho solar causam a flutuação semelhante da temperatura interna, embora com um certo atraso e amortecimento devido à capacidade térmica e à resistência dos materiais. Quando o total de todas as perdas térmicas se iguala ao total de todos os ganhos, a temperatura interna se estabiliza.

Ainda de acordo com Marsh (1997), os cálculos de temperatura e dos ganhos térmicos são dois processos separados. Como primeiro passo as potenciais cargas térmicas são calculadas para cada hora de cada dia. A partir destas são determinados os fatores médios diários (relativos às condições médias e não reais). As variações entre fatores instantâneos e médios diários produzem a pressão térmica a qual cada zona é submetida em cada hora do dia. As alterações na pressão térmica resultam em oscilações da temperatura interna, que por sua vez determinam as temperaturas horárias de cada zona.

---

<sup>53</sup> Zonas térmicas são definidas no programa Ecotect como espaços delimitados em todos os lados pelas superfícies compondo paredes, tetos e piso.

Logo que as temperaturas internas para cada hora do dia são conhecidas, as cargas térmicas absolutas (ganhos e perdas) podem ser calculadas num segundo passo. Dadas temperaturas internas e externas para cada zona, podem ser determinadas com exatidão as cargas provenientes das superfícies opacas, da ventilação e da infiltração junto a cargas solares e internas. As trocas entre as zonas são determinadas por último com a repetição dos dois processos (MARSH, 1997).

Mesmo se tratando de um método simplificado, o de admitância engloba: (1) os efeitos de fluxo térmico entre os materiais da construção, ventilação e infiltração pelas aberturas, (2) os ganhos solares diretos provenientes das superfícies transparentes, (3) os ganhos solares indiretos advindos dos elementos opacos, (4) os ganhos internos oriundos dos equipamentos, da iluminação artificial e das pessoas e (5) os efeitos dos fluxos interzonais.

### **3.2.2 Exatidão e relevância dos resultados**

O método da admitância é largamente utilizado em diversos escritórios e laboratórios mundo afora e tem se mostrado uma ferramenta muito útil para o projeto. Matematicamente não é tão preciso como alguns outros métodos com cálculos mais complexos, mas para auxiliar as decisões de projeto consiste na melhor escolha (MARSH, 1997).

O Ecotect foi desenvolvido para testar as opções de desenho desde os primeiros croquis. Segundo o manual, proporciona respostas rápidas e a exatidão dos resultados cresce progressivamente com o desenvolvimento do modelo.

Existe distinção entre a exatidão absoluta e relativa. Nenhum programa de simulação térmica é absolutamente exato, a ponto de prever a temperatura exata para determinada hora de um determinado dia. A exatidão relativa, por outro lado, significa que, por exemplo, a adição de uma janela no modelo acarreta em aumento relativo de ganhos solares durante dia e em perdas durante a noite. A verdadeira exatidão dos resultados relativos é, portanto, relacionada ao efeito proporcional a qualquer mudança significativa para o desempenho do modelo.

As principais deficiências do método de admitância são:

- Não considera a radiação solar nas superfícies internas depois que esta penetra na zona. A radiação solar direta que entra pelas superfícies transparentes se torna em parte ganho do ambiente e em parte ganho das superfícies opacas internas, baseando-se nos valores internos de admitância;
- A ventilação natural é determinada a partir das aberturas. Os algoritmos são usados para calcular a ventilação cruzada quando as aberturas ficam dos lados opostos ou adjacentes, mas para as aberturas situadas numa só parede o volume de fluxo do ar não é calculado. As correntes internas causadas por convecção também não são consideradas.

### **3.2.3 Características do programa**

A versão 5.10 do programa foi testada para as condições brasileiras na Universidade de São Paulo. Os autores do teste chegaram às seguintes conclusões (SILVA et al., 2003):

1. O programa não possui todos os pré-requisitos esperados pela equipe, mas corresponde às expectativas, mostrando-se intuitivo, amigável e poderoso, possibilitando desde as mais simples análises de início de projeto até as mais profundas e detalhadas;
2. Pode ser perfeitamente utilizado por profissionais no Brasil. Tem grande potencial de utilização no ensino nas áreas de conforto ambiental e eficiência energética;
3. Pontos fortes do programa são: interface, modelagem, zoneamento, geometria solar, iluminação natural, análise térmica e resultados gráficos. Pontos fracos: ventilação, acústica e iluminação artificial.

## **2ª PARTE**

---

**Análise de conforto térmico dos edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto; Estudo de caso; Conclusões**

## Capítulo 2

### **SUPERQUADRAS DO PLANO PILOTO: tipologias e aspectos de conforto térmico**

O capítulo está subdividido em duas partes. A primeira contém o exame da orientação e insolação dos edifícios residenciais implantados nas superquadras do Plano Piloto. Na segunda parte são mostrados os resultados do levantamento e análise das fachadas dos respectivos edifícios, objetivando caracterizar as principais tipologias e identificar uma representativa para a análise de conforto ambiental.

#### **4.1. METODOLOGIA DO ESTUDO**

A metodologia de estudo consiste em seguintes passos:

1. Análise das principais orientações e da insolação dos edifícios das superquadras do Plano Piloto.
2. Estudo das tipologias mais freqüentes dos dois períodos da existência da cidade – antes de 1980 e depois dessa data até 2004.
3. Exame das características das fachadas e intervenções.
4. Escolha de tipologia representativa para uma análise detalhada.
5. Medições *in loco* em tipologia escolhida.
6. Simulações com o software Ecotect da tipologia escolhida.
7. Análise dos resultados e propostas.

#### **4.2 ORIENTAÇÃO E INSOLAÇÃO DOS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

O estudo da orientação é fundamental para a determinação dos horários e níveis da insolação. Como apontado por vários autores (CORBELLA; YANNAS, 2003, FROTA; SCHIFFER, 2001), estes níveis são um dos principais parâmetros no quesito do conforto térmico dos ambientes.

##### **4.2.1 Orientação**

Como mostrado no item 1.4.1, a grande maioria dos edifícios residenciais do Plano Piloto (acima de 95%) possui forma delgada, com implantação paralela ou perpendicular aos eixos rodoviários.

A figura 4.1 apresenta uma imagem de satélite do Plano Piloto com a indicação das duas áreas delimitadas por linha amarela demonstrando a localização das superquadras 100, 200, 300 e 400, nas Asas Norte e Sul. Observa-se que estas áreas começam a uma distância de aproximadamente 1 km a partir do centro do Eixo Monumental, resultado da existência dos vários setores<sup>54</sup> não residenciais que margeiam tal via.

---

<sup>54</sup> Os setores localizados entre as superquadras e o Eixo Monumental são: hoteleiros, comerciais, médico-hospitalares, culturais, bancários e de autarquias.



Figura 4.1: Imagem de satélite do Plano Piloto com a indicação das áreas das superquadras (amarelo) e as orientações dos edifícios (cinza) nas Asas Norte e Sul.

Analisando a forma dos Eixos Rodoviários (indicados em linhas na cor laranja), percebe-se que são curvos na primeira metade (até a marca vermelha) e retos na segunda. O Eixo Rodoviário Norte possui na altura das primeiras superquadras azimute de  $358^\circ$ . Este vai diminuindo conforme ocorre a curvatura, alcançando o valor de  $342^\circ$  no ponto entre as superquadras SQN 107 e 108<sup>55</sup>. A partir deste ponto, mantém-se estável devido à forma reta da via.

Procedendo a mesma análise para o Eixo Rodoviário Sul, nota-se que apresenta um azimute de  $216^\circ$  na altura das primeiras superquadras. A partir da superquadra SQS 108, o valor passa a ser de  $232^\circ$ .

A orientação dos edifícios acompanha a direção dos Eixos Rodoviários (em cinza), com a curiosidade de, no início da Asa Norte, apresentarem uma orientação quase exata nas direções norte-sul ou leste-oeste, com desvio de somente  $2^\circ$ . A orientação vai se modificando conforme a curvatura do eixo, até atingir, na altura da SQN 108, um desvio de  $18^\circ$ . Os edifícios implantados a partir da SQN 108

<sup>55</sup> Os azimutes exatos foram extraídos da base cadastral do Plano Piloto executada em AutoCad.



possuem fachadas principais<sup>56</sup> com azimutes de 72° e 252° (edifício A, conforme indicações nas figuras 4.1 e 4.2) ou 162° e 342° (edifício B para as figuras 4.1 e 4.2).

Na Asa Sul a grande maioria dos edifícios está implantada na direção nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste, com desvio máximo destas orientações de 9° no começo da Asa. Os edifícios implantados na parte reta do Eixo Rodoviário Sul possuem fachadas principais com azimutes de 52° e 232° (edifício C, nas figuras 4.1 e 4.3) ou 142° e 322° (edifício D, nas figuras 4.1 e 4.3).

Os edifícios implantados ao longo das partes retas dos Eixos Rodoviários apresentam 60% de todos os edifícios residenciais. Sendo os edifícios com orientações representativas vamos examiná-los mais detalhadamente do ponto de vista da insolação.

#### 4.2.2 Insolação

Nas figuras 4.2 e 4.3 os edifícios com orientações mais frequentes nas duas Asas foram sobrepostos à carta solar de forma a facilitar a compreensão da insolação das fachadas principais.

A carta solar (Fig. 4.2) e os gráficos da quantidade da insolação (Graf. 4.1 e 4.2) ilustram que no edifício A a fachada leste (azimute de 72°) recebe muita radiação solar (até 480 Wh/m<sup>2</sup> em setembro) na parte da manhã ao longo do ano todo. Por outro lado, a fachada oeste (azimute 252°) recebe muita radiação na parte da tarde durante o ano todo.

Os gráficos 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4<sup>57</sup> apresentam a quantidade da insolação nas respectivas fachadas em duas épocas representativas do ano: (1) equinócio de setembro (quente-seca) e (2) solstício de verão (quente-úmida).

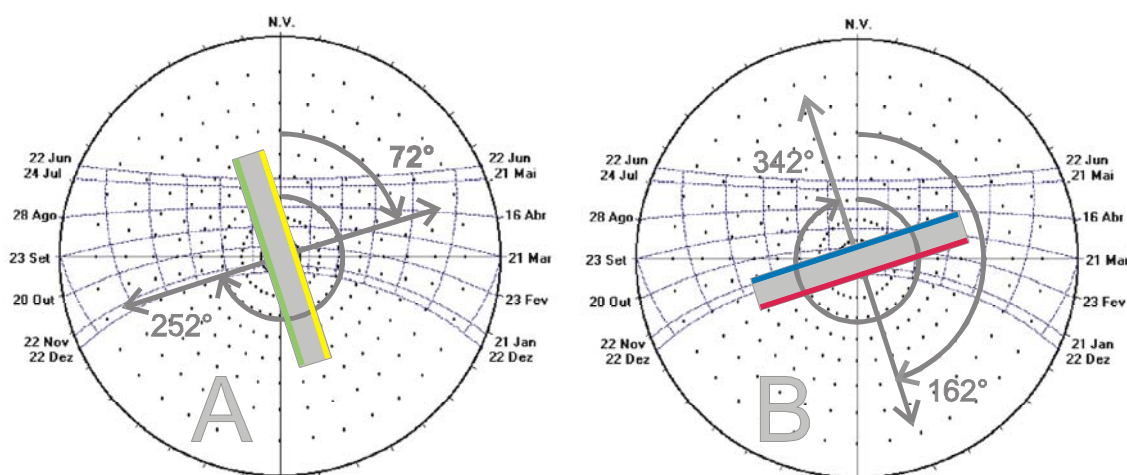


Figura 4.2: Orientações dos edifícios residenciais da Asa Norte sobrepostas à carta solar

A fachada sul (azimute 162°) do edifício B, por sua vez, não recebe raios solares diretos nos meses mais frios do ano - maio, junho e julho (Fig. 4.2). Nos demais meses do ano recebe insolação

<sup>56</sup> De *principais* são chamadas as duas maiores fachadas que comportam, na maioria das vezes, todas as aberturas do edifício.

<sup>57</sup> Os dados sobre a quantidade da radiação nas fachadas foram extraídos do programa Luz do Sol. São consideradas as latitudes de -15°55' e a nebulosidade 4 para mês de setembro e 8 para mês de dezembro, de acordo com os dados do INMET.

somente na parte da manhã (Graf. 4.1 e 4.2). A fachada norte (azimute 342°), de outra sorte, não é ensolarada durante os meses de dezembro e janeiro, entretanto recebe carga térmica significativa em setembro das 10h até o final do dia. (Graf. 4.1 e 4.2)

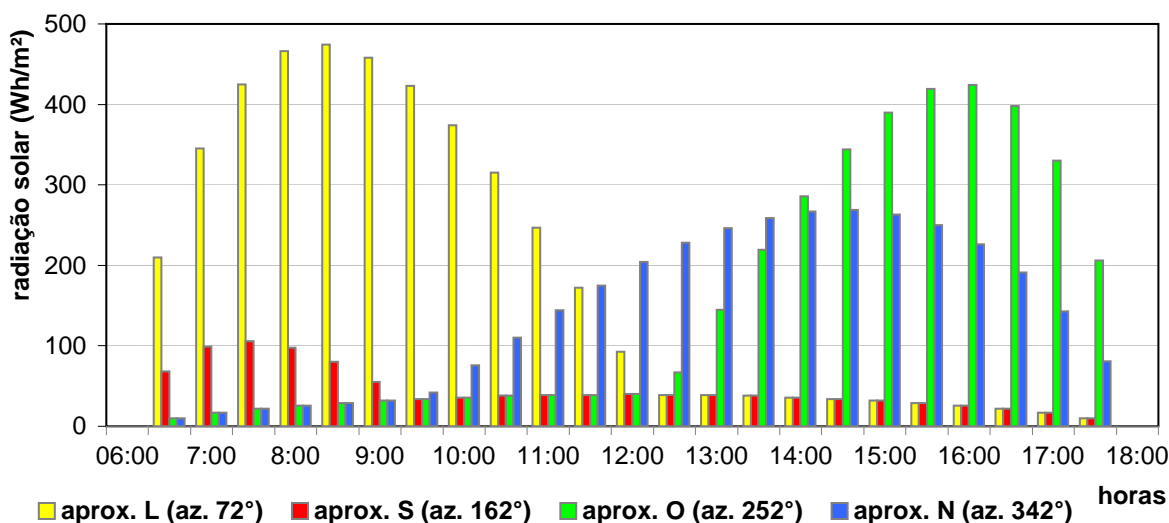


Gráfico 4.1: Radiação solar nas principais fachadas da Asa Norte para dia 24 de setembro.

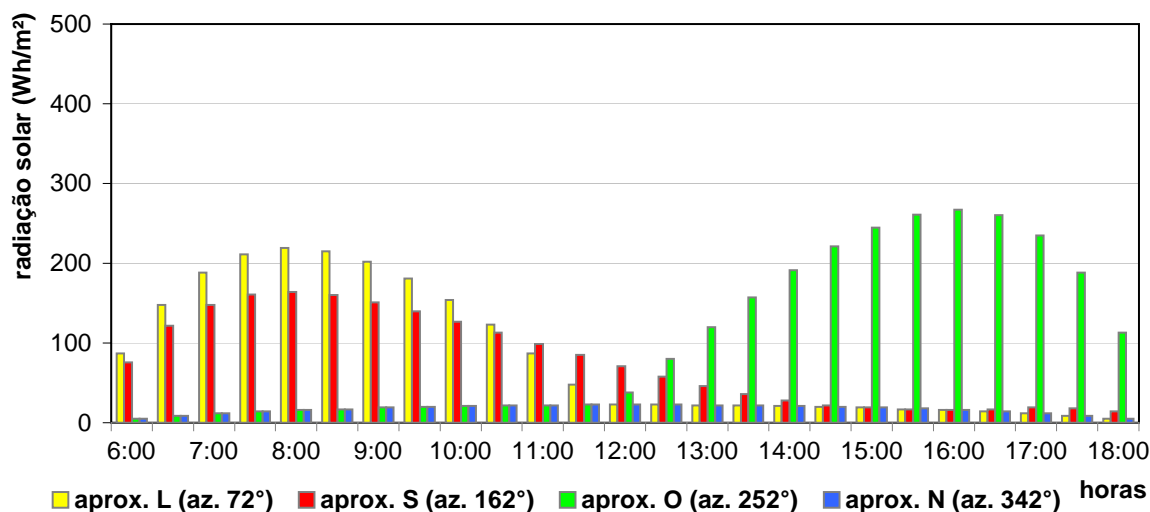


Gráfico 4.2: Radiação solar nas principais fachadas da Asa Norte para dia 22 de dezembro.

Comparando as cargas térmicas expostas nos gráficos 4.1 e 4.2, observa-se que as fachadas principais do edifício A recebem cargas consideravelmente maiores que as do edifício B durante as duas épocas quentes do ano. As figuras ilustram também que a insolação em setembro é mais intensa que em dezembro, conseqüência da maior nebulosidade do último mês do ano.

Na Asa Sul a diferença entre as quantidades das cargas térmicas entre as duas orientações é menor. Por meio da figura 4.3 é possível observar que a fachada nordeste do edifício C (azimute 52°) apresenta insolação acentuada na parte da manhã durante o ano todo. A fachada sudoeste do mesmo edifício (azimute 232°) recebe insolação da tarde mais intensa no verão e menos no inverno (Fig. 4.3).

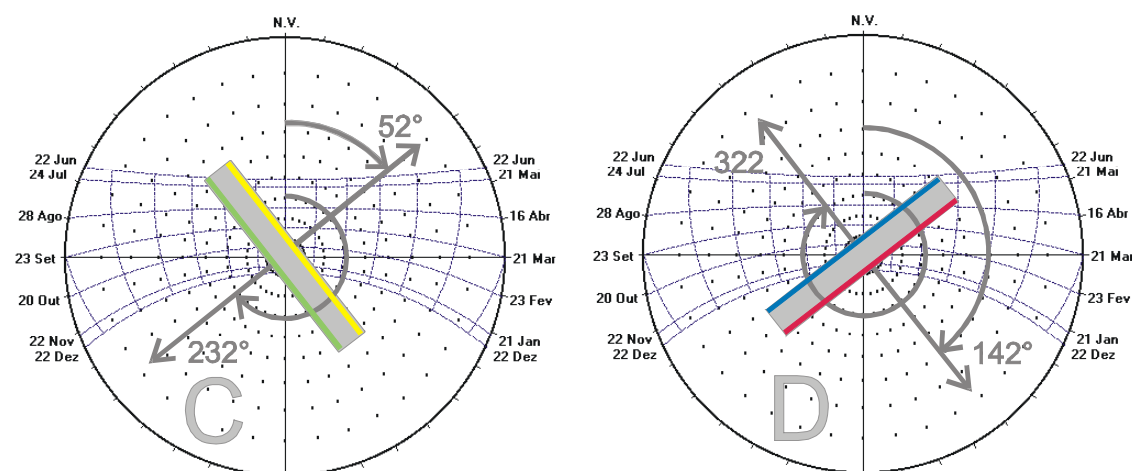


Figura 4.3: Orientações dos edifícios residenciais da Asa Sul sobrepostas a carta solar.

No edifício D a fachada sudeste (azimute  $142^\circ$ ) recebe radiação na parte da manhã, intensa no verão e fraca durante os meses frios. A fachada oposta (azimute  $322^\circ$ ) se beneficia com insolação maior nos meses frios e menor nos meses de verão. As quatro fachadas dos edifícios C e D (azimutes  $52^\circ$ ,  $232^\circ$ ,  $142^\circ$  e  $322^\circ$ ) recebem luz solar direta durante o ano todo (Fig.4.3).

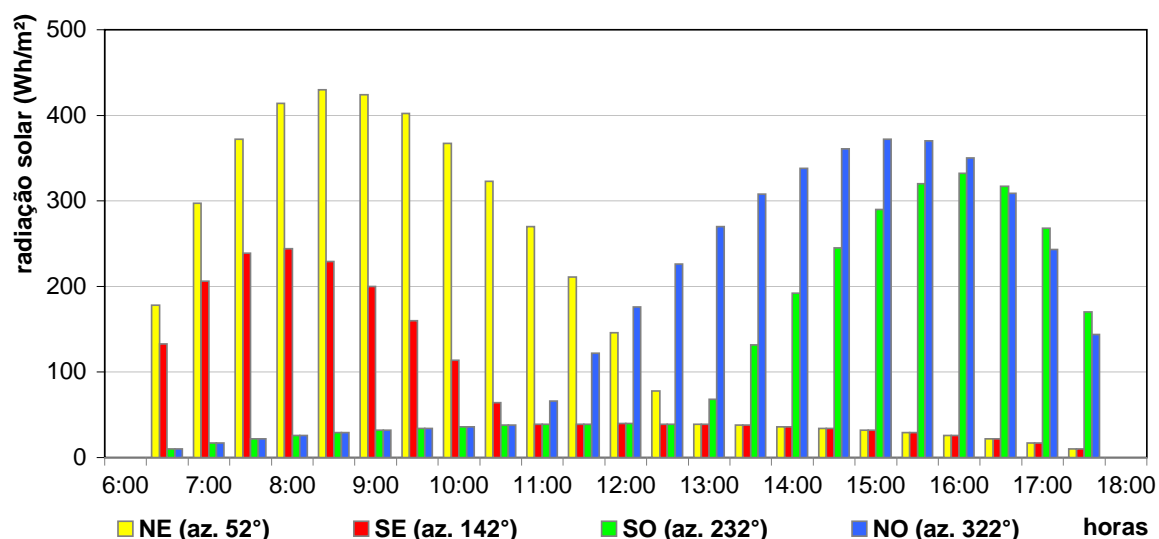


Gráfico 4.3: Radiação solar nas principais fachadas da Asa Sul para dia 24 de setembro.

À semelhança da Asa Norte, aqui também as fachadas recebem cargas térmicas maiores em setembro que em dezembro.

Comparando as cargas térmicas das quatro orientações percebe-se que, durante a época quente do ano, a orientação do edifício A recebe a maior carga térmica solar. O edifício B, por outro lado, tem os menores ganhos térmicos provenientes da radiação solar. A desvantagem da sua orientação é a fachada sul não receber insolação direta durante a época mais fria do ano (meses maio, junho e julho).

Na Asa Sul, o edifício D mostrou-se com comportamento ligeiramente melhor, do ponto de vista térmico, que o edifício denominado de C.

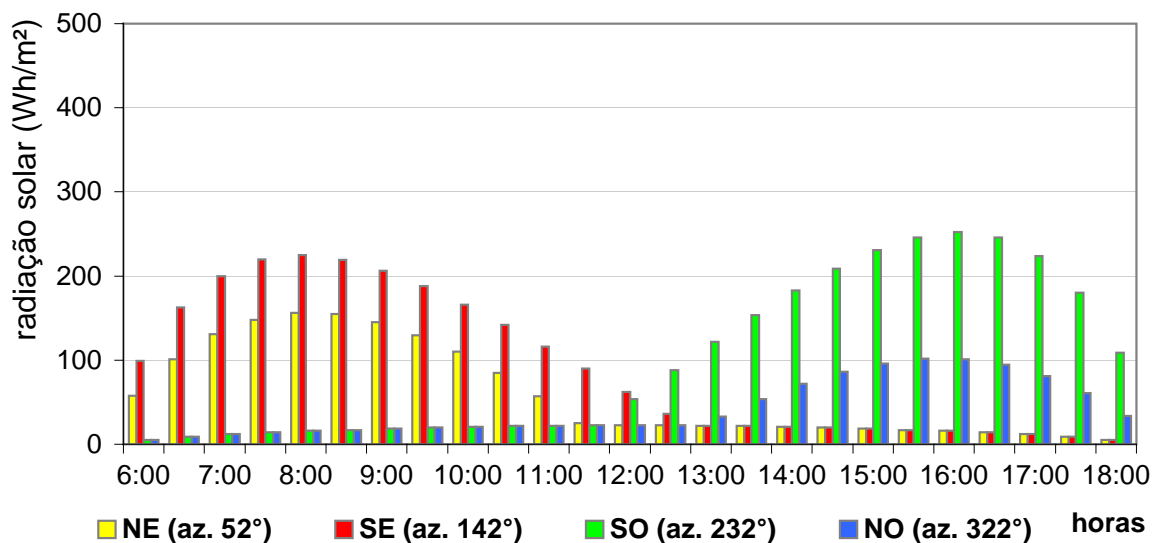


Gráfico 4.4: Radiação solar nas principais fachadas da Asa Sul para dia 22 de dezembro.

Assim, podemos afirmar que para os edifícios residenciais do Plano Piloto a orientação leste oeste presente na Asa Norte é do ponto de vista de conforto térmico a pior. Segundo a análise da insolação, todas as fachadas necessitam de algum tipo de proteção solar.

### 4.3 LEVANTAMENTO DAS FACHADAS DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) realizou em 2003 uma extensa pesquisa sobre as superquadras e os blocos residenciais no Plano Piloto, com o levantamento e a sistematização de uma enorme variedade de dados referentes à arquitetura e ao urbanismo. Sobre as fachadas, avaliou-se separadamente apenas a presença de toldos<sup>58</sup>.

Segundo a pesquisa procedida pelo IPHAN, 28% dos edifícios residenciais nas superquadras 100, 200, 300 e 400 apresentam toldos nas fachadas, sendo o índice de 29% nas quadras de seis pavimentos e 26% nas quadras 400.<sup>59</sup>

Para poder determinar a amplitude do problema de conforto térmico e grau da descaracterização das fachadas, decidiu-se por se fazer um levantamento<sup>60</sup> das fachadas de todos os blocos nas quadras 100, 200, 300 e 400. A investigação abrangeu todas as 117 superquadras construídas, totalizando 1.392 blocos residenciais – 884 de 6 pavimentos e 508 blocos de 3 pavimentos. Os resultados foram organizados e analisados pela Alice Flores num relatório de pesquisa (FLORES, 2004) e serão apresentados neste capítulo.

Como premissa adotou-se que o indício de problemas de conforto térmico nos edifícios seria a presença de proteções solares e sistemas de ar condicionado dispostos pelos moradores, isto é, elementos não originais.

<sup>58</sup> As grades, películas, jardineiras e elementos similares foram todos classificados como 'outros'.

<sup>59</sup> Na época da consulta ao material do IPHAN, os resultados ainda não haviam sido organizados e publicados.

<sup>60</sup> Trabalho realizado em conjunto com Alice Leite Flores, aluna da graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

Sabendo que as proteções solares mais comumente utilizadas pelos moradores são películas, toldos, persianas e cortinas, decidiu-se que seria feito o levantamento da presença de películas, toldos e caixas de ar condicionado, por serem indicativos facilmente perceptíveis na parte externa das fachadas. Embora a principal função de toldos e películas seja a diminuição da insolação nos ambientes podem ser apontados outros motivos menos comuns da instalação: proteção de chuva e da sujeira no caso dos toldos e aumento da privacidade no caso das películas.

Objetivando identificar as causas dos problemas e apontar as soluções possíveis, mostrou-se necessário ao mesmo tempo o levantamento de materiais e tipos das janelas que compõem as fachadas. Deste modo, foi elaborada uma tabela resumindo todos os itens e que serviu de base para os levantamentos *in loco* (Anexo F).

O exercício de inventário e coleta de dados foi extenso e prolongado<sup>61</sup>, envolvendo as etapas de ida ao local, preenchimento da tabela, fotos e interpretação de dados.

### 4.3.1 Tipologias

É possível dividir os edifícios de Brasília, conforme seu período de construção, em dois grandes grupos. O primeiro corresponde àquelas construções executadas até o final dos anos 70, enquanto no segundo entram os edifícios construídos a partir de 1980 até os dias atuais.

#### 4.3.1.1 Tipologias representativas do período 1958<sup>62</sup>- 1979

Desse período são típicos os edifícios com janelas corridas, quebra-sóis, empenas cegas e cobogós nas áreas de serviço. Houve uma grande repetição de projetos (FRANÇA, 2001), resultando por vezes em edifícios mal implantados, inclusive no que diz respeito à orientação solar. No entanto, por causa da repetitividade, é possível identificar as tipologias de fachada que mais se repetem no Plano Piloto, ilustrando robustamente as características formais do período.

A figura 4.4 apresenta a tipologia mais usual para blocos de seis andares. Com 48 edifícios implantados, o padrão representa 5,4% de todos os edifícios residenciais de 6 pavimentos no Plano Piloto. Esta tipologia comporta na fachada principal um pesado brise de concreto e a vedação por cobogós na fachada posterior.

Exemplos de outro padrão são os blocos F da SQN 308 e I da SQS 110, que apresentam traços formais comuns a várias edificações no Plano Piloto (Fig. 4.5). Há, implantados, 33 e 29 edifícios destas duas tipologias, representando 3,7% e 3,3% das tipologias residenciais de 6 pavimentos. Ambas apresentam fachada principal livre e sem brises, janelas corridas, empenas cegas e cobogós na área de serviço.

Nas quadras 400, há um tipo de edifício bastante freqüente com fortes traços da arquitetura modernista. Com 64 prédios existentes, a tipologia corresponde a 12,6% de todas as edificações residenciais ali situadas. (Fig. 4.6)

---

<sup>61</sup> O trabalho demorou 6 meses para ser concluído.

<sup>62</sup> Ano da construção de primeiros blocos residenciais no Plano Piloto (FRANÇA, 2001).





Figura 4.4: Fachada principal (SQS 107, Bl. C) e posterior (SQS 107, bl. H) da tipologia mais freqüente para 6 pavimentos.



Figura 4.5: Fachadas principais da segunda e terceira tipologia mais freqüente de 6 pavimentos (blocos F da SQN 308 e I da SQS 110).



Figura 4.6: Fachada principal do bloco A, SQN 406 e os fundos da mesma tipologia (SQN 405, bl. D)

#### 4.3.1.2 Tipologias representativas de período 1980 - 2004

A partir da década de 80, por consequência de transformações no campo da arquitetura e do aumento da atividade no viés imobiliário, os edifícios residenciais passaram a incorporar outras feições formais. Surgem imóveis com características variadas, resultado claro de influências pós-modernistas.

Os prédios do período concentram-se na Asa Norte, uma vez que a ocupação da área é mais recente. Seus traços característicos são a fachada recortada, a presença de varandas, a ocupação das empenas laterais, os apartamentos não vazados e a predominância de certos tipos de fechamentos opacos e transparentes. Contribuindo para aumentar a variedade visual de Brasília, não há aqui a repetição de projetos como ocorria no primeiro grupo, o que dificulta a classificação das fachadas por tipologia.

Como exemplo dos principais tipos de fachada foram selecionados três edifícios de seis pavimentos e um de três.

Um dos blocos pioneiros do grupo é o E da SQN 208, semelhante à cerca de 20 outros edifícios. Construído em 88, o bloco possui amplas varandas e janelas tradicionais (Fig. 4.7).



Figura 4.7: SQN 208, bloco E e SQN 311 bloco A.



Figura 4.8: SQN 213, bloco A.

Exemplos de construção mais recente são os blocos A da SQN 311 (Fig. 4.7) e A da SQN 213 (Fig. 4.8), existindo nas superquadras cerca de 40 imóveis assimilados ao primeiro e 15 ao segundo. A



principal diferenciação formal entre os dois é o fato de o bloco da SQN 213 pertencer a uma geração nova de prédios mais luxuosos, com materiais nobres na fachada e aplicação de vidros espelhados.

Para as quadras 400, os edifícios do período são identificáveis por sua forma recortada e algumas vezes pela presença das varandas. (Fig. 4.9)



Figura 4.9: Exemplos da arquitetura recente nas quadras 400 (SQN 407, bl. R e SQS 403, bl. F).

É interessante notar que, quando são feitas reformas nos edifícios antigos, geralmente busca-se a linguagem de edifícios mais recentes, principalmente no que tange aos materiais de revestimento. Esse fato também resulta em descaracterização das fachadas.

### 4.3.2 Fechamentos opacos e transparentes

A partir dos edifícios investigados, entre os revestimentos dos fechamentos opacos predominam reboco pintado, pastilha e cerâmica (Graf. 4.5). Nota-se maior uso de pastilhas e de mármore nas quadras de seis pavimentos, consequência de poder aquisitivo mais alto. Em contrapartida, os revestimentos mais baratos, como reboco e cerâmica, aparecem com maior frequência nas quadras 400. Placas<sup>63</sup> sobre alvenaria aparecem em menos de 10% das ocorrências.

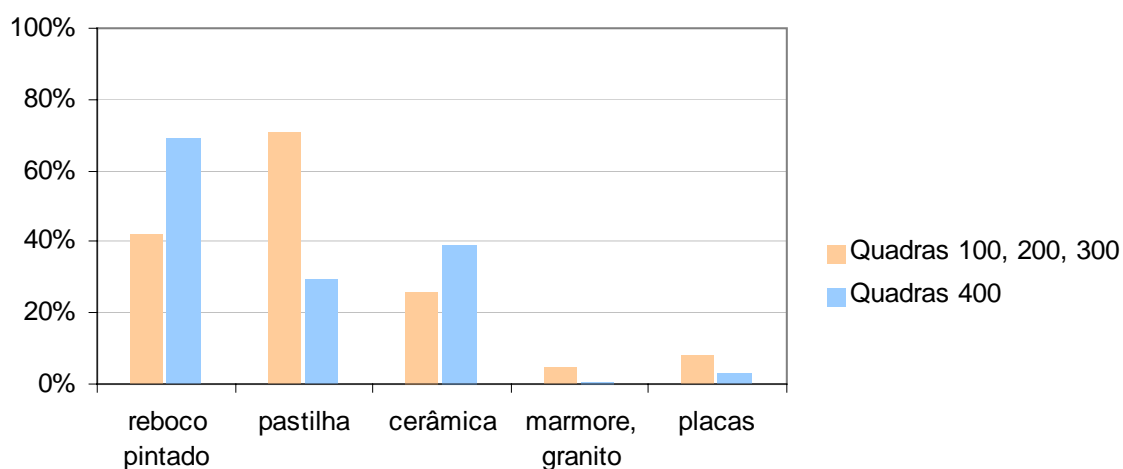


Gráfico 4.5: Frequência de fechamentos opacos sobre alvenaria.

<sup>63</sup> Foram consideradas como as placas painéis de diferentes materiais: *fiberglass*, acrílico, vidro, amianto e metálicos.



O gráfico 4.6 apresenta a frequência de fechamentos opacos não aplicados sobre alvenaria. Mais de 50% de edifícios no Plano Piloto fazem uso de cobogós nas fachadas. Os cobogós são normalmente usados nas áreas de serviço, como explicado no item 1.3.2. O concreto aparente é encontrado em 20% das ocorrências de 6 pavimentos e em 10% dos edifícios de 3 pavimentos.

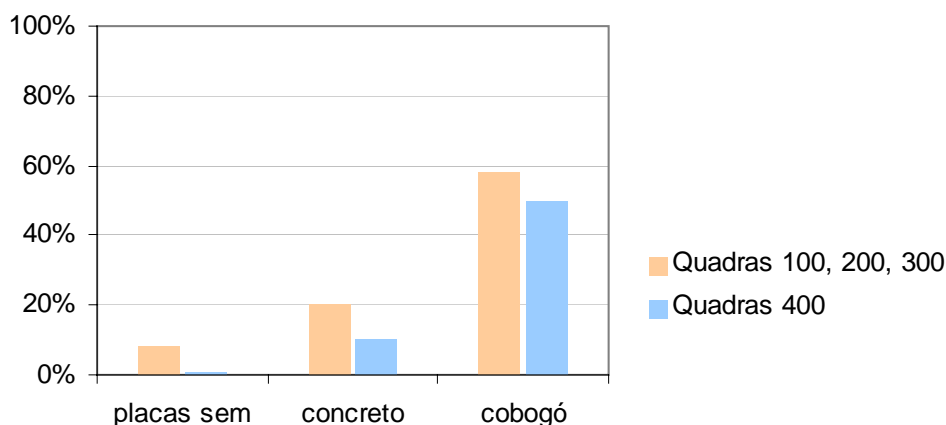


Gráfico 4.6: Frequência de fechamentos opacos sem alvenaria.

As placas não aplicadas sobre alvenaria, aparecendo em quase 10% dos exemplares de 6 pavimentos, proporcionam uma piora nas condições de conforto térmico dos apartamentos.

Em relação aos fechamentos transparentes, estes foram subdivididos em duas categorias (Graf. 4.7). Uma diz respeito ao tipo de janela, classificada em tradicional ou corrida<sup>64</sup>. A outra se associa ao tipo de abertura, sendo subdividida em quatro categorias: janela de correr, janela guilhotina, janela maximo-ar ou basculante tripla e janela basculante.

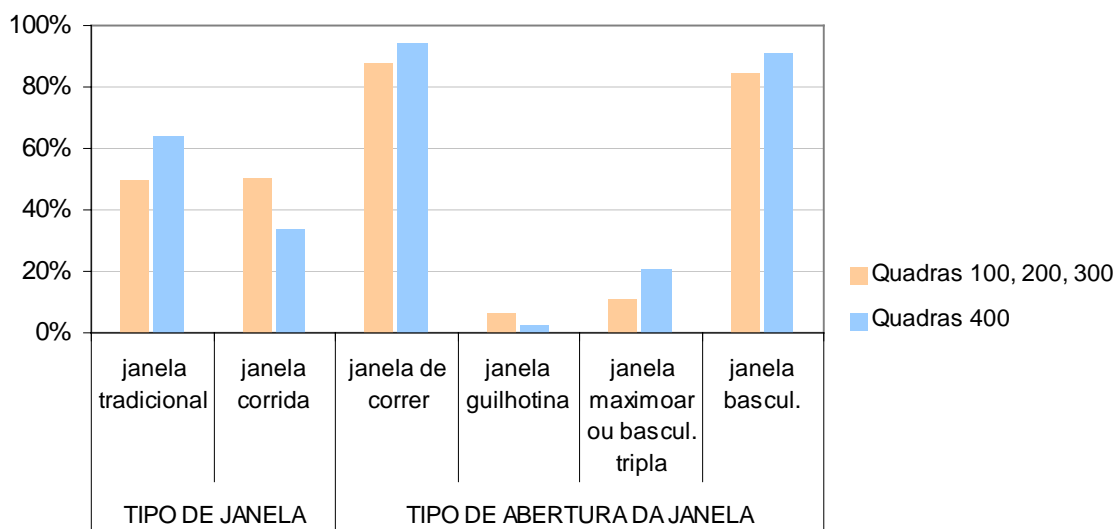


Gráfico 4.7: Frequência de tipos de fechamentos transparentes.

<sup>64</sup> O fato de a janela ser corrida ou tradicional relaciona-se principalmente à porcentagem de vidros na fachada. Sendo assim, foram consideradas “janelas corridas” apenas aquelas cuja predominância visual era horizontal ao longo de toda a fachada, sem interrupções largas de fechamentos opacos; paralelamente, a classificação “janela tradicional” diz respeito a janelas espaçadas entre si.

Nas quadras 100, 200 e 300 o uso da janela tradicional é equivalente ao uso da janela corrida. Nas 400, entretanto, há o predomínio da janela tradicional, com 63% de ocorrência (Graf. 4.7).

Nas demais categorias, as janelas de correr e basculantes aparecem em quase todos os edifícios, enquanto a guilhotina e o máximo-ar são raras.

### 4.3.3 Brises

Embora a cidade de Brasília apresente altos índices de insolação, a presença de brises nas fachadas de edifícios residenciais continua modesta.

O gráfico 4.8 expõe que nas quadras de 6 pavimentos brises vertical e misto aparecem em 9% de blocos e o horizontal em 4%, somando 22% dos blocos. Nas quadras 400 somente 5% dos edifícios apresentam algum tipo de brise. Totalizando, apenas 15% dos blocos ostentam algum tipo deste elemento.

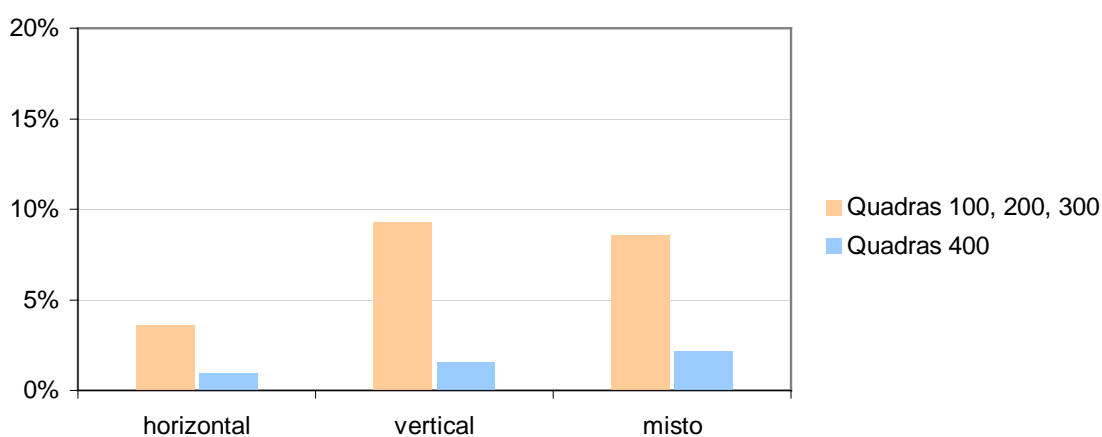


Gráfico 4.8: Frequência dos brises.

Correlacionando os tipos de brises com a época da construção<sup>65</sup> é possível perceber (Graf. 4.9) que os mistos predominam nos edifícios mais antigos, enquanto os verticais e horizontais são mais comuns nos edifícios construídos depois de 1980.

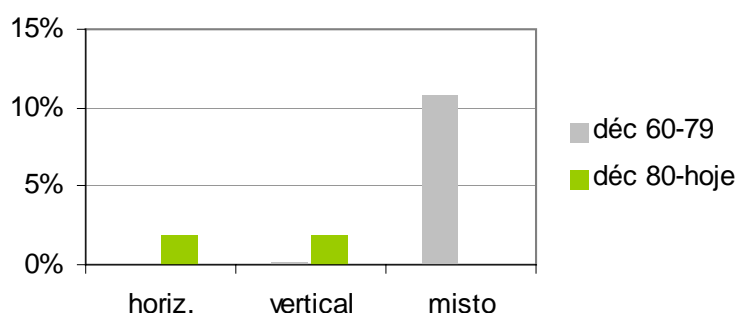


Gráfico 4.9: Correlação entre o tipo de brise e a época da construção do edifício.

<sup>65</sup> Para este tipo de análise utilizou-se uma amostra de 50% dos edifícios investigados, sendo escolhidos aqueles apresentando as tipologias mais frequentes.



Figura 4.10: Exemplos de brises com função de resguardar a área de serviço (SQS 203, bl. G e SQN 315, bl. I).

Na realidade, em vários casos, o brise exerce apenas função de resguardar a área de serviço, e não de proteção solar, pois as palhetas cobrem apenas o espaço referido enquanto as janelas de cômodos principais permanecem sem proteção (Fig. 4.10).

#### 4.3.4 Varandas

Entre os edifícios residenciais de 6 pavimentos 34% possuem varandas. Nas quadras 400 o percentual cai para 11%. No total há 26% dos edifícios com este elemento.

Segundo o levantamento, 90% dos blocos com varandas apresentam uma ou mais varandas fechadas com vidro (Fig. 4.11). Os poucos edifícios que não possuem varanda alguma fechada são os que abrigam apartamentos funcionais<sup>66</sup>.



Figura 4.11: Exemplos de edifícios com muitas varandas fechadas (SQN 209, bloco E e SQS 116, bloco A).

Como discutido em 1.3.1, o fechamento das varandas foi legalizado pelo Código de Obras de 1998. O documento também permitiu que as áreas previstas para as varandas fossem incorporadas aos ambientes já no projeto. A figura 4.16 expõe a fachada do bloco A na SQS 116 com a maioria dos espaços previstos para as varandas fechados antes de o edifício ser habitado.

<sup>66</sup> Apartamentos em posse do governo destinados à servidores de alto escalão da administração pública.

### 4.3.5 As intervenções: toldos, películas e caixas de ar condicionado

Por meio do gráfico 4.10 verifica-se que as películas são as intervenções mais freqüentes, usualmente sendo refletivas prateadas ou roxas. Aparecem em 70% dos blocos de 6 pavimentos e em 63% dos blocos de 3 pavimentos<sup>67</sup>. (Fig. 4.12)

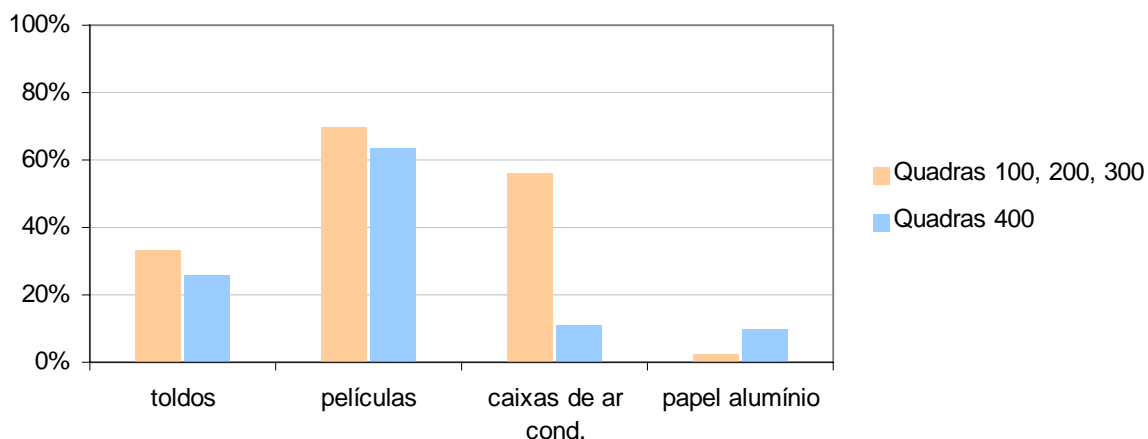


Gráfico 4.10: Freqüência das intervenções nas fachadas.

As caixas de ar condicionado foram identificadas em 56% dos edifícios de 6 pavimentos. Nas quadras 400 somente 11% dos blocos apresentam dois ou mais apartamentos com ar condicionado.



Figura 4.12: Exemplos de películas, toldos e caixas de ar condicionado nas fachadas.

Nas quadras 100, 200 e 300 33% dos blocos possuem dois ou mais apartamentos com toldos, enquanto nas 400 o percentual cai para 26%<sup>68</sup>. Papel alumínio é, com 9%, a única intervenção mais

<sup>67</sup> Registrou-se que um edifício possuía toldos, películas e aparelhos de ar-condicionado somente quando estes estavam presentes em pelo menos dois apartamentos do bloco, pois isto já representa um certo comprometimento da fachada, apesar de não representar porcentagem significativa de desconforto térmico (o mínimo seria 5%).

<sup>68</sup> Resultados parecidos com os obtidos pelo IPHAN – item 4.3

freqüente nas quadras 400, indicando que a descaracterização também é influenciada pelo poder aquisitivo dos moradores<sup>69</sup>.

Tabela 4.1: Ocorrência de brises, varandas e intervenções

<b>Quadras</b>	<b>BRISES [%]</b>	<b>VARANDAS [%]</b>	<b>PELÍCULAS [%]</b>	<b>TOLDOS [%]</b>	<b>CAIXAS DE AR COND. [%]</b>
100, 200, 300	22	34	70	33	56
400	05	11	63	26	11
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	<b>68</b>	<b>30</b>	<b>38</b>

Nota-se que as quadras 400 sofrem menos intervenções que as demais (Tab. 4.1). Uma das razões poderia ser a altura dos edifícios, pois havendo três pavimentos, as fachadas podem ser inteiramente sombreadas pela vegetação de grande porte, o que de fato acontece em muitas superquadras. Nos edifícios de 6 pavimentos os últimos andares sempre ficam à mercê dos raios solares. Outra razão parece ser menor número de janelas corridas nas quadras 400, uma vez que estas muitas vezes acarretam em aberturas exageradas.

A pesquisa mostrou que as tipologias com janelas corridas sem proteção solar que representam 30% dos blocos, são as mais suscetíveis a intervenções com elementos não originais, cujo objetivo é minimizar ganhos solares.

De acordo com o levantamento pode-se afirmar que o principal motivo da descaracterização das fachadas nas superquadras do Plano Piloto é o desconforto térmico, pois os principais elementos dissonantes são os toldos, as películas e as caixas de ar condicionado. Outros motivos menos freqüentes seriam as reformas inadequadas das fachadas ou nos apartamentos (principalmente quando são trocados os caixilhos das janelas por peças diferentes das originais). Nas quadras 400 há exemplos de troca das pequenas janelas na área de serviço por grandes e da retirada de cobogós da área de serviço. Todavia os registros são poucos.

Como razões principais para desconforto térmico nos apartamentos podem ser apontados: as grandes superfícies envidraçadas (quase metade dos apartamentos possuem janelas corridas), a reduzida presença de brises (somente 15% dos blocos ostentam este elemento, nem sempre dimensionado de acordo com a orientação e tamanho das aberturas), o fechamento das varandas, a orientação inadequada dos edifícios e outros.

Os números apresentados apontam o grau da descaracterização. Assumindo que a presença de elementos descaracterizantes em dois apartamentos de um bloco já significa fachada descaracterizada os números resultam no seguinte quadro: 68% dos blocos residenciais das superquadras do Plano Piloto possuem fachadas descaracterizadas pelas películas, 38% pela

<sup>69</sup> A idéia de contabilizar a presença de papel alumínio surgiu no decorrer do levantamento, pois a quantidade se mostrou acima da esperada. Registrou-se a presença deste dispositivo quando aparecia em uma ou mais janelas de um edifício.

presença das caixas de ar condicionado e 30% pela presença de toldos (Tab. 4.1). Há blocos que apresentam somente um ou dois desses elementos e outros com todos.

Contabilizando os edifícios cujas fachadas não sofreram de descaracterização, segundo os critérios descritos anteriormente, chegamos aos seguintes números: nas quadras de 6 pavimentos 15 % e nas de 3 pavimentos 24% dos edifícios. No total isso resulta em apenas 18% dos edifícios não descaracterizados.

No capítulo seguinte faz-se análise mais detalhada das condições de conforto térmico de uma das tipologias mais freqüentes do Plano Piloto. Esta análise abrange medições in loco e simulações computacionais da situação original e de algumas propostas.

## Capítulo 5

# ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta, primeiramente, as medições *in loco* realizadas em dois apartamentos da tipologia escolhida. Em seguida são desenvolvidas as análises de conforto térmico, com auxílio do software Ecotect, comparando-se a situação original e as situações modificadas. O capítulo se encerra com exposição dos resultados e a discussão sobre as propostas.

### 5.1 METODOLOGIA DO TRABALHO

A pesquisa sobre os edifícios residências das superquadras de Plano Piloto indica o grau de problemas de conforto térmico e a conseqüente descaracterização das fachadas. O estudo expõe que as fachadas com grandes panos de vidro (janelas corridas) e sem proteção solar sofrem descaracterização mais significativa, indicando maiores problemas térmicos internos. Desta maneira, optou-se por fazer análise detalhada acima da tipologia mais freqüente de 6 pavimentos que apresenta janelas corridas não protegidas.<sup>70</sup>

O primeiro passo após a escolha das edificações correspondeu às medições *in loco*, cujo objetivo foi confirmar a existência e a amplitude de problemas térmicos, partindo-se em seguida para as simulações computacionais.

### 5.2 ESCOLHA DA TIPOLOGIA

Os critérios para a escolha da tipologia para o estudo de caso foram: (1) a representatividade numérica da mesma e (2) a evidência de problemas de conforto ambiental. Foi escolhida a tipologia de edifícios projetados pelo arquiteto Hélio Ferreira Pinto (FRANÇA, 2001), implantados nas superquadras 107, 108, 307 e 216 norte<sup>71</sup>. Totalizando 33 exemplares, a tipologia consiste em uma das mais freqüentes (3,7% dos blocos de 6 pavimentos), como demonstrado em 4.3.1.1. No levantamento procedido *in loco*, constatou-se que todos os edifícios possuem películas, 75% apresenta toldos e 45% as caixas de ar condicionado.

As edificações, construídas nas décadas de 60 e 70 são caracterizados pela fachada livre, janelas corridas, volumes de escada externos ao bloco principal e uso de cobogós na área de serviço (Fig. 5.1).

Todos os apartamentos são de três dormitórios, sendo um suíte. A sala de estar e dois quartos estão voltados para a fachada principal. A suíte e a cozinha com área de serviço se posicionam na para a fachada posterior (Figura 5.3).

---

<sup>70</sup> A intenção inicial era analisar duas tipologias: uma de seis e outra de três pavimentos. Por isso as primeiras medições *in loco* foram procedidas nas duas tipologias. Ao longo da pesquisa, decidiu-se prosseguir somente com o estudo da tipologia de 6 andares, por razões diversos: o estudo de duas tipologias aumentaria em muito o volume de trabalho, sem significativo retorno; o apartamento da tipologia de 3 andares ao qual foi possível o acesso se localiza no último andar, ocasionando um desconforto maior do que nos outros andares (situação não representativa).

<sup>71</sup> SQN 108 e SQN 308, com 11 exemplares, SQN 307 com 10 exemplares e SQN 216 com 1 exemplar.





Figura 5.1: A fachada frontal (SQN 307, bl. A) e a fachada posterior (SQN 308, blocos A e B) da tipologia escolhida.

Há outras tipologias com fachadas parecidas. Um exemplo seria a das quadras SQS 308 e SQS 114, com plano vertical quase idêntico (Fig. 5.2), mas a planta do apartamento diferente. São 18 blocos, construídos no final da década de 1960 e começo da década de 1970.

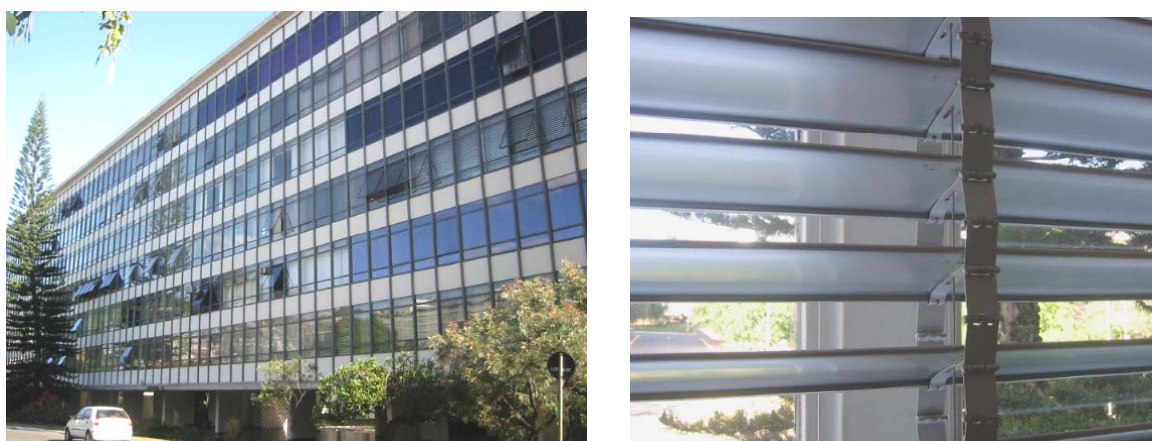


Figura 5.2: SQS 308, bl. E: fachada principal e detalhe da persiana.

A tipologia, ao contrário daquela analisada, possui proteções solares internas. Trata-se de um exemplar robusto de persiana, com lâmina de 9 cm de largura (Fig. 5.2). Em muitos apartamentos, porém, a persiana foi retirada. Apurou-se como a razão para o fato o não funcionamento ou a deformação das lâminas.

### 5.3 MEDIÇÕES *IN LOCO*

A metodologia traçada no começo do estudo consistiu na escolha de dois apartamentos com orientação perpendicular entre si. Tratando-se de imóveis vazados (Fig. 5.3), seria possível avaliar ambientes orientados para os dois lados do edifício. Deste modo o estudo de conforto térmico poderia abranger todas as quatro orientações das fachadas características para os edifícios residenciais da Asa Norte (ver item 4.1.1).





Figura 5.3: Planta do apartamento tipo da tipologia analisada.

Fonte: desenho adaptado da arquiteta Liza de Andrade.

### 5.3.1 Procedimento

Para a realização das medições *in loco* foram escolhidos dois apartamentos da superquadra 108 norte; um no bloco B e outro no bloco D (Fig. 5.4). O apartamento do bloco B possui janelas orientadas para leste e oeste (azimutes  $72^\circ$  e  $252^\circ$ ) e será daqui adiante referido como apartamento A. O apartamento do bloco D possui cômodos voltados para norte e sul (azimutes  $162^\circ$  e  $342^\circ$ ) e será denominado de apartamento B.

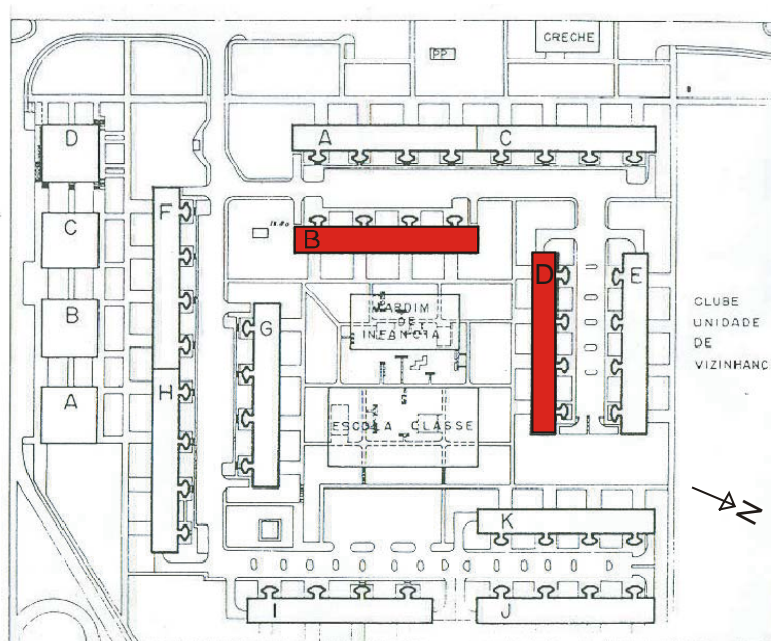


Figura 5.4: Localização dos blocos B e D na SQN 108.

Os critérios da escolha dos apartamentos foram acessibilidade e janelas não obstruídas pela vegetação, pois a sombra das árvores altera significativamente condições térmicas nos ambientes<sup>72</sup>. Para as medições foram usados os aparelhos Gemini Data Loggers, dispostos sempre no mesmo lugar e protegidos da radiação solar direta (Fig. 5.5), para medições de temperatura do ar e umidade relativa.

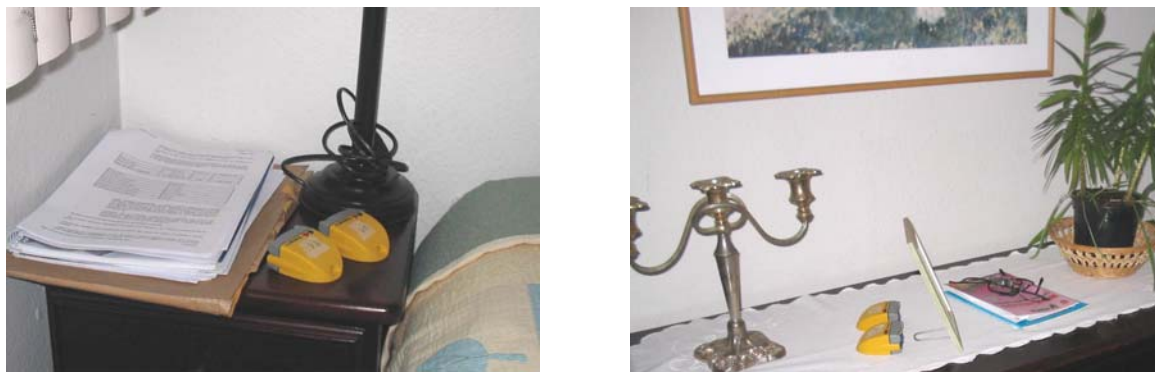


Figura 5.5: Exemplos da disposição dos aparelhos Gemini Data Loggers.

O objetivo das medições *in loco* era confirmar a existência de problemas de conforto térmico. Com o intuito, foram realizadas as medições da temperatura e da umidade relativa nas salas de estar e nas suítes nos meses de setembro e dezembro de 2003, e março de 2004.

Mediu-se a temperatura e a umidade relativa do ar de 15 em 15 minutos durante os dias 26, 27, 28 e 29 de setembro, 24, 25, 26 e 27 de dezembro e 17, 18, 19 e 20 de março. Os resultados são representados em gráficos junto aqueles das temperaturas externas obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)<sup>73</sup>. (Gráf. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6)

### 5.3.2 Resultados

Antes de apresentar os resultados é necessário inferir que as medições realizaram-se em apartamentos habitados<sup>74</sup>. Significa que os ambientes não foram controlados e, portanto, os resultados não podem ser considerados como provas científicas. De toda forma, os resultados traduzem uma idéia das condições reais.

Primeiramente chama a atenção nos gráficos 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 o fato de as médias das temperaturas internas estarem bem acima das médias das temperaturas externas.

Os Gráficos 5.1, 5.2 e 5.3 se referem às temperaturas no apartamento A, que possui sala virada para leste (azimute 72°) e suíte para oeste (azimute 252°). Durante os quatro dias de setembro os limites

<sup>72</sup> Embora muitos dos apartamentos nos andares inferiores se beneficiem da sombra proporcionada pelas árvores, a finalidade deste trabalho é investigar a situação mais comum e problemática, equivalentes, portanto, aos apartamentos sem este benefício. Concomitantemente, evitou-se analisar apartamentos no último andar, mesmo estes apresentando os piores índices de conforto térmico, por não se tratar da situação típica.

<sup>73</sup> As medições no INMET são realizadas todo dia, de hora em hora, entre as 7h e 23h, faltando, portanto os dados entre meia noite e 6h de manhã.

<sup>74</sup> No apartamento A mora um casal aposentado e no B uma família com duas crianças.

de conforto ( $27^{\circ}\text{C}$ ) são excedidos em boa parte do tempo, tanto na sala quanto na suíte, embora a sala tenha se mostrado levemente mais quente.

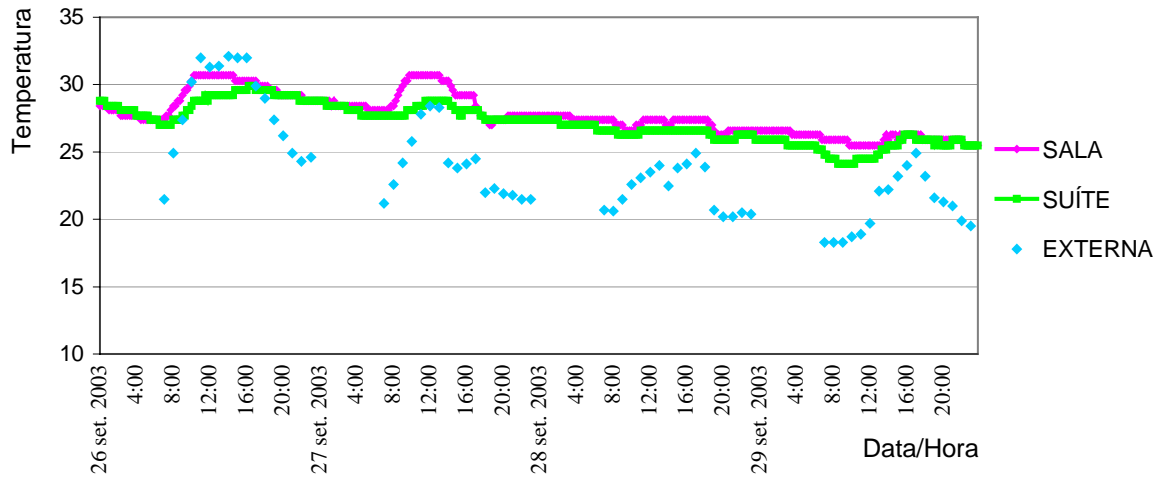


Gráfico 5.1: Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em setembro de 2003.

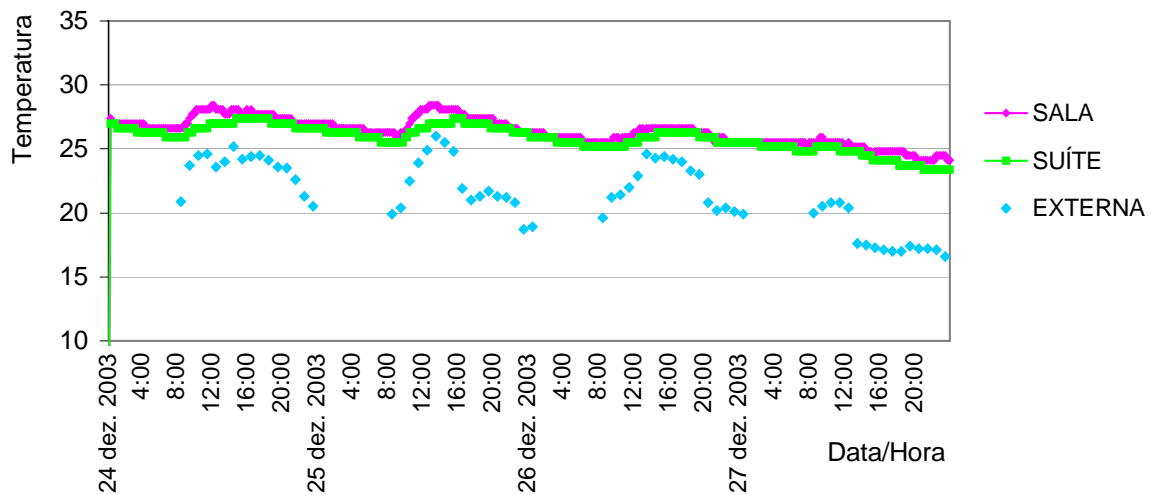


Gráfico 5.2: Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em dezembro de 2003.

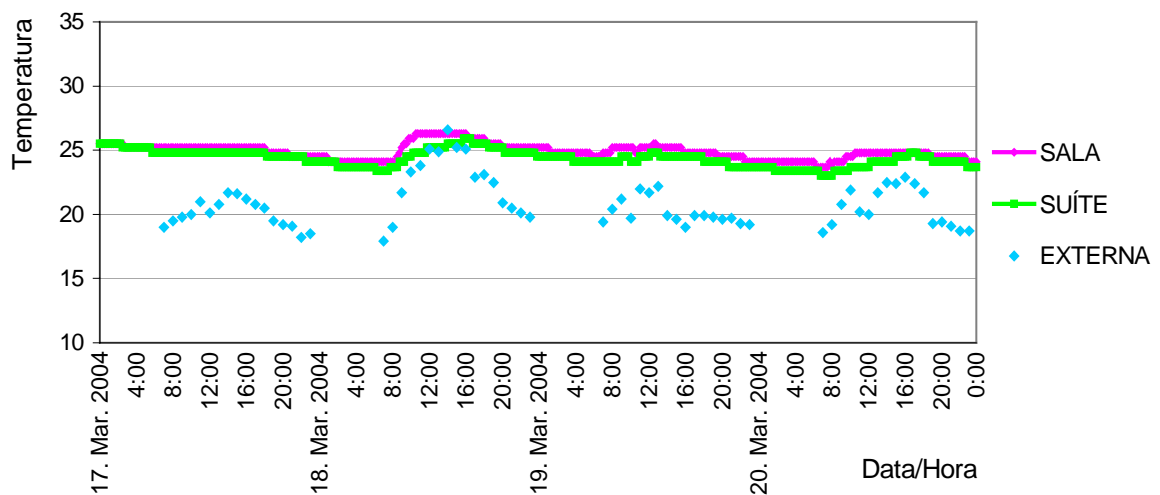


Gráfico 5.3: Temperaturas externas e internas no apartamento A (leste-oeste), em março de 2004.

Em dezembro (Graf. 5.2) as temperaturas internas foram mais amenas, entretanto ainda ultrapassam os limites de conforto em determinados horários do dia. Em março o conforto térmico é excelente, com temperaturas sempre dentro dos limites considerados confortáveis (Graf. 5.3).

Os gráficos 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam a evolução das temperaturas no apartamento B que tem sala virada para sul (azimute 162°) e suíte para norte (azimute 342°). Nos quatro dias de setembro as temperaturas internas estavam acima de 27°C durante a maior parte de tempo, sendo um pouco menores que no apartamento A durante o mesmo período.

Em dezembro, por sua vez, a sala recebe insolação direta durante o dia todo e a suíte não recebe nenhuma. As conseqüências são significativas oscilações da temperatura na sala e as temperaturas mais constantes na suíte (Graf. 5.5).

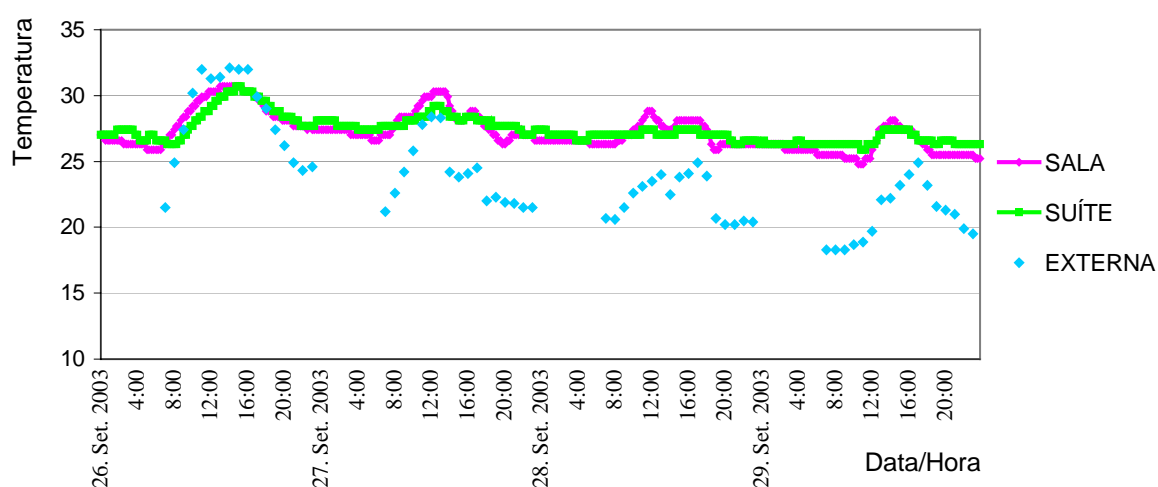


Gráfico 5.4: Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em setembro de 2003.

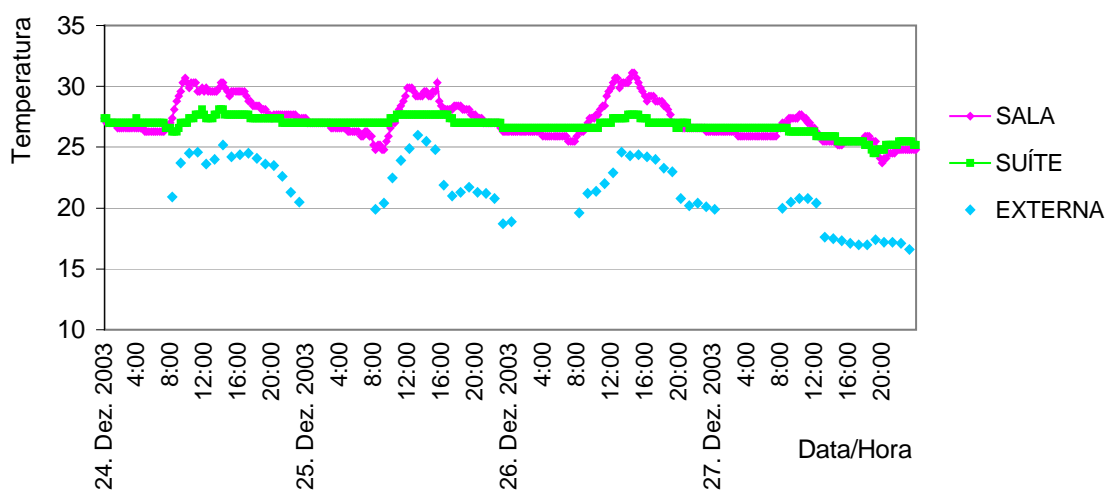


Gráfico 5.5: Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em dezembro de 2003.

O gráfico 5.6 expõe a evolução das temperaturas durante quatro dias no mês de março, assemelhando-se ao gráfico de dezembro. As temperaturas são um pouco menores, mas mesmo assim, na sala, são ultrapassados os limites de conforto nos quatro dias.

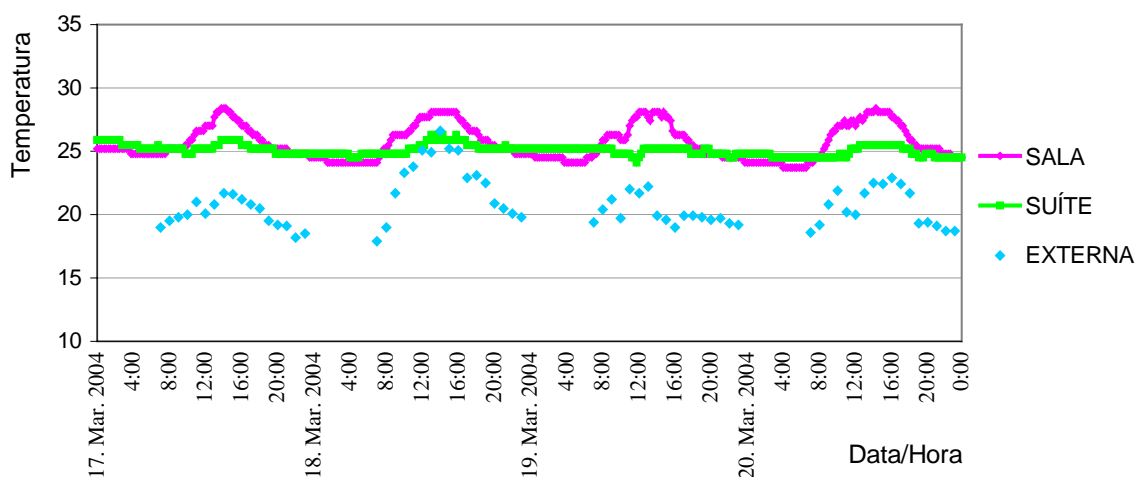


Gráfico 5.6: Temperaturas externas e internas no apartamento B (norte-sul), em março de 2004.

Comparando as temperaturas internas nos dois apartamentos, nota-se que no apartamento com fachadas leste-oeste estas se mantêm mais constantes do que no apartamento norte-sul.

Considerando a insolação das fachadas (item 4.2.2) isso aparentemente não faria sentido. A razão se deve aos hábitos dos moradores, pois os do apartamento A (leste-oeste) costumam sempre abaixar as persianas quando há insolação direta nos cômodos. O apartamento B (norte-sul), por outro lado, possui cortinas na suíte, que costumam ser fechadas somente à noite.

As medições mostram que o apartamento com as fachadas viradas para leste e oeste apresentam temperaturas acima dos limites de conforto em dias mais quentes mesmo com uso constante das persianas internas. O apartamento B (norte-sul), cujas fachadas recebem menor carga térmica, também apresentou problemas de conforto durante os três meses (setembro, dezembro e março).

As medições indicam que os problemas de conforto evidenciados por meio das observações realmente existem. Partiu-se então para as simulações computacionais, objetivando encontrar algumas soluções que pudessem ser adotadas como padrão para edifícios com tipologias similares.

## 5.4 SIMULAÇÕES COM SOFTWARE ECOTECT

O software Ecotect, versão 5.2, descrito no capítulo 3, foi utilizado para: (1) a construção dos modelos, (2) as simulações térmicas e (3) as simulações de iluminância.

### 5.4.1 Construção de modelo

O primeiro passo corresponde à modelagem do apartamento em três dimensões. Sequencialmente são atribuídos os materiais e os atributos das zonas.

#### 5.4.1.1 Modelagem

O tutorial do programa recomenda para as análises térmicas um modelo simples, sem os elementos que pouco ou nada contribuem para o conforto térmico, já que estes aumentam significativamente o tempo de cálculo. O essencial para o desenho são:

- a geometria dos ambientes,
- o tamanho e a posição das janelas,
- os materiais e a espessura destes,

- o contato com o solo;
- a presença da vegetação de grande porte.

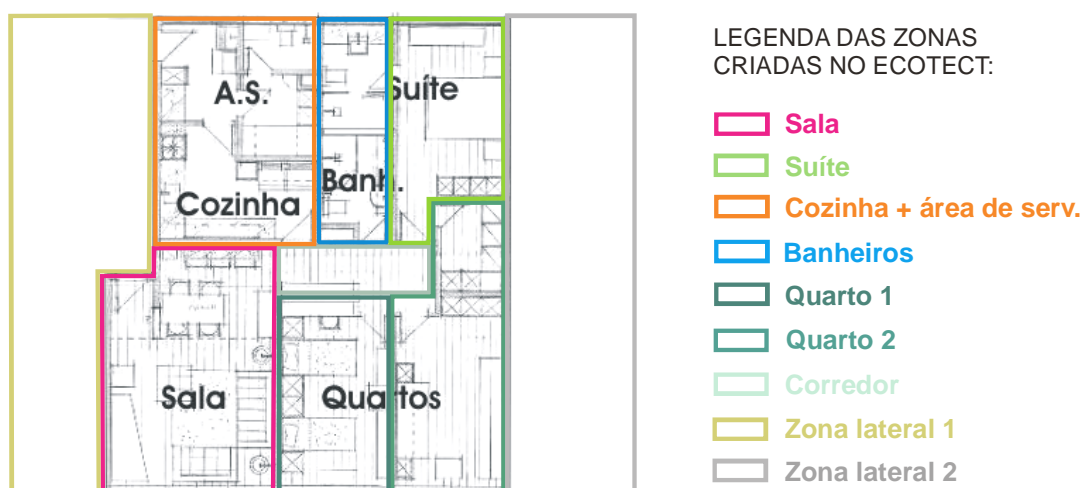
Há outros fatores importantes que não são definidos por meio do desenho, mas como os atributos das zonas. É o caso da presença humana, dos aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, dos sistemas de condicionamento do ar, da ventilação e da infiltração do ar.

O desenho do modelo é muito rápido, pois são desenhados os elementos inteiros e não as linhas, como ocorre no AutoCad. Portanto, para definir um ambiente com geometria simples é necessário definir somente os pontos de encontro das paredes verticais com o piso. A altura do é ajustada posteriormente, se necessário.

As paredes não possuem espessura, ou seja, só têm duas dimensões. A terceira é atribuída no momento da especificação dos materiais, mas não aparece no desenho. Entretanto, como esclarecimento, no cálculo para análises térmicas a espessura especificada é levada em conta.<sup>75</sup>

As aberturas (portas, janelas, vazios e painéis) também são inseridas de uma vez só depois de especificados segundo a largura, o peitoril e o ponto da inserção. De mesmo modo que para as superfícies opacas os materiais das aberturas são atribuídos posteriormente. No modelo do apartamento foram aplicadas somente as janelas, para todas as zonas. As portas não foram inseridas por não terem influência significativa no desempenho térmico dos ambientes.

Para simplificar os modelos, o tutorial recomenda a junção de ambientes com características térmicas semelhantes numa zona só. Na construção elaborada para o presente trabalho foram criadas zonas separadas para a sala, os quartos, a suíte e o corredor. A cozinha formou junto com a área de serviço uma zona só. De mesmo modo os dois banheiros foram agrupados e o closet da suíte acoplado a um dos quartos. (Fig. 5.6)



5.6: Planta do apartamento (preto e branco) e as zonas (em cores) criadas no Ecotect.

<sup>75</sup> Para as análises de luz e sombra ou análises luminosas mais precisas o desenho com a espessura real das paredes pode ser um fator importante. Neste caso, recomenda-se desenhá-las com a espessura verdadeira.

O objetivo é simular um apartamento típico. Num bloco de 6 pavimentos a maioria é cercada por apartamentos vizinhos de todos os lados. Para apresentar esta situação criou-se uma zona acima, uma abaixo e uma de cada lado (Fig. 5.7). Deste modo o modelo representa qualquer apartamento situado em 2º, 3º, 4º ou 5º andar que não seja localizado na extremidade do bloco.

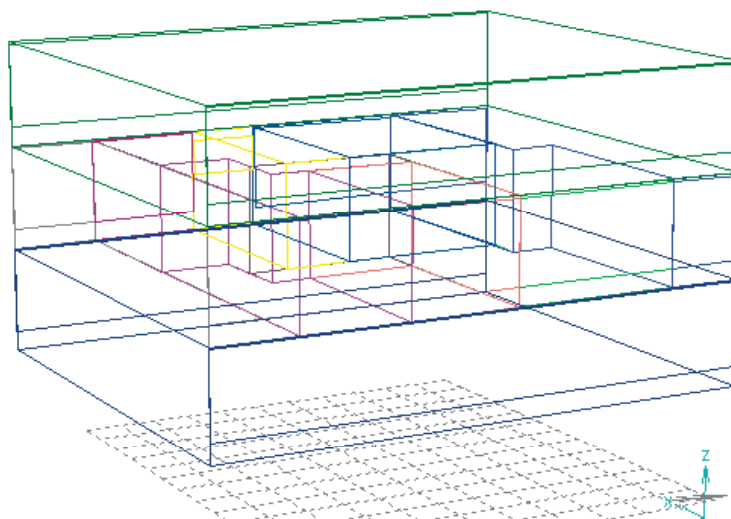


Figura 5.7: Modelo em 3D do apartamento com as zonas que apresentam apartamentos vizinhos

O autor do programa sugere numa das respostas ao *Support Forum*<sup>76</sup> que as condições térmicas em edifícios com pavimentos tipo iguais podem ser simuladas inserindo nos ambientes em análise a divisória no lugar de piso e de teto. O fato se dá, pois no Ecotect a divisória é definida como um elemento através do qual não acontecem trocas térmicas<sup>77</sup>. Como num edifício com pavimentos tipo iguais, as temperaturas nos pavimentos são muito parecidas e as trocas térmicas entre os pavimentos não acontecem ou são muito pequenas em comparação com as trocas com o ambiente externo.

A simplificação, segundo o autor, é válida para as simulações não muito precisas, pois substituindo o teto e piso por uma divisória deixa-se de fora os efeitos da massa térmica que estes dois elementos proporcionam. Aplicando a divisória a temperatura média se mantém igual, entretanto mudam as amplitudes térmicas.

Simulando a aplicação de divisória<sup>78</sup> no teto e piso da sala do apartamento com fachadas leste-oeste, no dia 24 de setembro, a temperatura mínima diminuiu 0.6°C e a máxima aumentou 1.4°C, alterando assim a amplitude térmica em 2°C, o que foi considerado uma alteração significativa. Por esta razão decidiu-se manter o material verdadeiro para o piso e o teto.

<sup>76</sup> Disponível no anexo G.

<sup>77</sup> A divisória é considerada um elemento interno a um ambiente, assim a temperatura dos dois lados seria hipoteticamente sempre igual. O cálculo de trocas térmicas para este elemento não é executado.

<sup>78</sup> Foi aplicada a divisória existente, no banco de materiais do programa, composta por colchão de ar de 80mm entre duas chapas de 5mm de madeira compensada.



### 5.4.1.2 Materiais

Há um extenso banco de materiais no programa. A aplicação é simples e rápida e as propriedades dos materiais são facilmente editáveis. Além disso, o aplicativo permite a inserção de novas categorias, simples e compostas.

No modelo foram aplicados os materiais utilizados nos edifícios objeto de estudo e descritos a seguir:

**Paredes internas** – alvenaria de tijolo de 11cm com argamassa de 1cm de cada lado.

**Paredes externas** – concreto de 11cm com argamassa de 1cm de cada lado<sup>79</sup>.

**Pisos e tetos** (exceto o teto do último andar onde se aplicou laje com isolamento térmico) – laje de concreto de 10cm com taco de madeira de 1cm.

**Janelas** – caixilho de alumínio com vidro comum de 6mm.

As portas não foram inseridas por terem pouquíssima influência no comportamento térmico dos ambientes. Entre a sala e o corredor inseriu-se uma abertura de 80 cm de largura e 210 cm de altura como no projeto original.

### 5.4.1.3 Atributos das zonas

A cada zona pode ser atribuída uma cor com a qual esta será exibida no desenho de modelo e apresentada nos gráficos produzidos nas simulações com o software. A zona pode ser também ocultada, desligada, especificada como não térmica e trancada.<sup>80</sup>

A figura 5.8 apresenta o quadro usado para especificar os atributos das zonas. A maioria se refere ao condicionamento do ar e às fontes de energia internas.

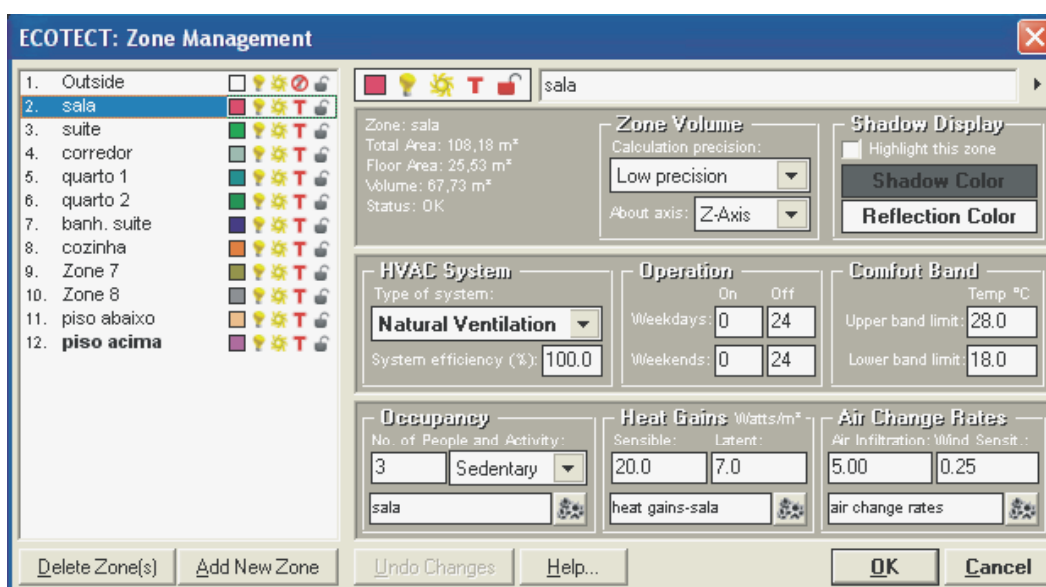


Figura 5.8: Tela do programa usada para especificar os atributos das zonas

<sup>79</sup> A parede externa possui uma área contínua envidraçada, que ocupa 75% da parede. A parte opaca se resume a viga de concreto abaixo da janela.

<sup>80</sup> Uma zona ocultada não aparece no desenho, mas é considerada parte do modelo em todos os outros aspectos. Uma zona desligada não é considerada parte do modelo, sendo ignorada nos cálculos. Além da zona externa, que é sempre não térmica, qualquer outra zona pode ser especificada como tal. Para as zonas não térmicas os cálculos térmicos não são executados.



O aplicativo possibilita especificar uma zona como ventilada naturalmente, não ventilada, aquecida e/ou resfriada artificialmente. É necessário especificar a hora do início e do término da ventilação e do funcionamento dos sistemas artificiais.<sup>81</sup>

O programa solicita também a especificação de temperaturas limites de conforto. Estas temperaturas controlam o funcionamento de sistemas artificiais e também da ventilação natural. No caso do modelo utilizado, especificou-se o intervalo de temperaturas limite de 18 - 27°C<sup>82</sup>. Com a ventilação natural determinada, por exemplo, entre horários de 7h e 19h, o programa considera janelas abertas durante este intervalo de tempo desde que as temperaturas externas encontram-se dentro destes limites de conforto ou sejam mais próximas a estes. No caso dos sistemas artificiais, o Ecotect considera que funcionam no período sempre quando as temperaturas internas estiverem fora dos limites de conforto.

A presença das pessoas nos ambientes é definida por meio do quantitativo, atividade e horário de ocupação. O usuário do software pode escolher entre quatro níveis de atividade: sentado fazendo alguma atividade como ler ou escrever (70 watts), andando (80 watts), fazendo exercícios (100 watts), e fazendo exercícios com vigor (150 watts).<sup>83</sup>

O sistema de determinação dos horários é bastante complexo e elaborado. Estes são definidos em um quadro (Fig. 5.9) aberto a partir do quadro de atributos. Pode ser especificado o horário de presença diferente para cada dia do ano - se necessário. Além disso, é possível especificar a frequência de hora em hora.

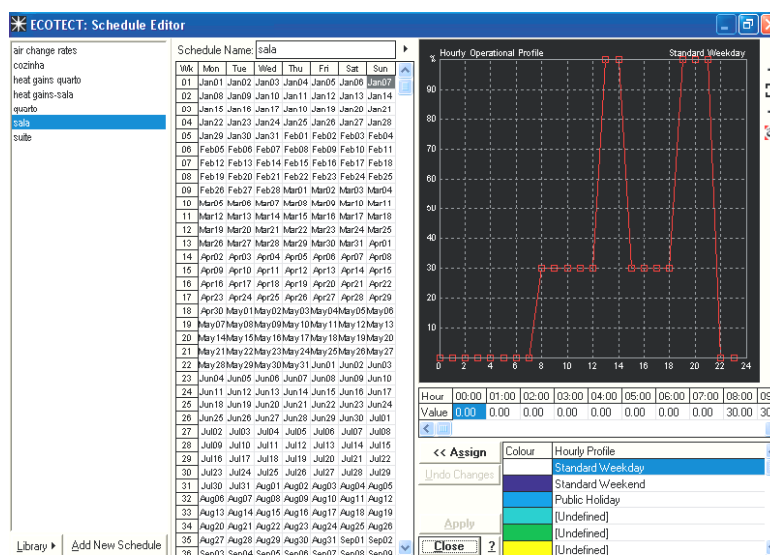


Figura 5.9: Quadro usado para especificar os horários e a frequência da presença das pessoas e do funcionamento dos aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

<sup>81</sup> O programa permite especificar um horário diferente para os dias de semana e outro para os finais de semana.

<sup>82</sup> Estes limites são baseados no trabalho de Givoni (apud Maciel, 2002). O limite superior de 27°C se refere aos ambientes com baixas velocidades do ar.

<sup>83</sup> O quadro ilustra que o programa foi pensado para as simulações de ambientes de trabalho e de atividades, pois não permite especificar pessoas em repouso ou dormindo.

Os ganhos térmicos oriundos dos equipamentos eletrodomésticos, eletroeletrônicos e da iluminação artificial são definidos com o número de watts/m<sup>2</sup> emitidos a cada hora<sup>84</sup>. Para especificar o horário e a frequência do uso é adotado o mesmo quadro que para a presença das pessoas.

Por último, é preciso determinar a infiltração<sup>85</sup> do ar dentro da zona, o que é procedido a partir de dois parâmetros: o número de volumes de ar trocados por hora e a sensibilidade ao vento. A sensibilidade ao vento aumenta a infiltração conforme a velocidade do vento no momento.

O funcionamento de um domicílio é muito menos previsível que de um escritório, estabelecimento comercial ou institucional. É difícil estipular os horários da ventilação, da presença das pessoas e de funcionamento dos aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos. No presente estudo tentou-se considerar a rotina de um dia típico de uma família de quatro pessoas com uma empregada doméstica que não dorme no emprego. Assim, aplicaram-se às zonas os atributos descritos na tabela 5.1.

ZONAS	Ventilação	Presença Nº das pessoas	Atividade	Horário da presença	Ganhos watts/m <sup>2</sup> por hora	Horário dos ganhos	Infiltração vol/hora	Sensib. ao vento
Sala	natural – 24h	4	sentados	12h – 14h	10	18h – 22h	1	0.25
		2	sentados	18h – 22h				
Suíte	natural – 24h	2	sentados	22h – 8h	10	18h – 22h	1	0.25
Quarto 1	natural – 24h	1	sentado	22h – 8h	10	18h – 22h	1	0.25
Quarto 2	natural – 24h	1	sentado	22h – 8h	10	18h – 22h	1	0.25
Banheiro	natural – 24h	-	-	-	10	18h – 22h	1	0.25
Corredor	-	-	-	-	10	18h – 22h	1	0.25
Cozinha com AS	natural – 24h	1	andando	8h – 18h	20	11h – 18h	1	0.25
Laterais	natural – 24h	3	sentados	18h – 8h	10	18h – 22h	1	0.25
Acima e abaixo	natural – 24h	3	sentados	18h – 8h	10	18h – 22h	1	0.25

Tabela 5.1: Atributos das zonas.

<sup>84</sup> Existe quadro para determinação dos ganhos térmicos latentes, entretanto os comandos ainda não estão disponíveis para a versão 5.20 utilizada na pesquisa. Segundo o tutorial o valor é utilizado quando o modelo é exportado para outros *softwares* de análises térmicas.

<sup>85</sup> A infiltração é o fluxo não controlável do ar através das frestas no envelope do edifício provocado por diferenças da pressão entre interior e exterior.

### 5.4.2 Dados climáticos

Segundo o tutorial do programa este necessita para análises corretas os seguintes dados climáticos horários: (1) temperatura do ar, (2) umidade relativa, (3) radiação solar direta ou global, (4) radiação solar horizontal difusa e (5) velocidade do vento. Também são desejáveis, mas não necessários, dados sobre a direção do vento, nebulosidade e índices pluviométricos.

O Ecotect reconhece os arquivos climáticos em formato WEA, mas permite converter alguns outros formatos e também criar arquivos próprios. Os dados climáticos no formato WEA são acessíveis nas páginas eletrônicas<sup>86</sup> da Energy Agency dos Estados Unidos. O sítio contém arquivos com condições climáticas horárias das cidades do mundo inteiro. Do Brasil, além da cidade de Brasília, são disponíveis arquivos para Belém, Recife e São Paulo.

### 5.4.3 Modelos originais e modelos com as modificações

A partir do modelo do apartamento foram geradas duas cópias. Ao modelo da primeira atribuiu-se orientação com azimute de 72° para a fachada principal, apresentando assim o apartamento A (leste-oeste). O modelo da segunda girou-se na posição em que a fachada principal apresenta azimute de 162° - analogamente ao apartamento B (norte-sul).

Os dois modelos, idênticos, mas com orientações diferentes, serviram para as simulações da situação original e como base para o desenvolvimento de modelos com as modificações.

Decidiu-se testar quatro modificações:

1. Vidro com película refletiva incolor<sup>87</sup> - modificação denominada de **película**;
2. Parede externa com maior massa térmica - modificação denominada de **massa**;
3. Alteração do tamanho das janelas - modificação denominada de **WWR 50%**;
4. A combinação de todas as anteriores - modificação denominada de **combinação**.

As mudanças foram inseridas somente na sala e na suíte, em outras zonas nada se mudou.

Inicialmente desejava-se testar também a solução com brise e/ou prateleira de luz externa, mas as simulações geraram resultados improváveis<sup>88</sup>. Tentou-se resolver o problema de várias maneiras, inclusive enviando uma mensagem<sup>89</sup> ao *Support Forum* do programa Ecotect. Um dos usuários prontificou-se em olhar o modelo para descobrir eventual erro, mas a tentativa não rendeu resultados. Assim sendo, desistiu-se das simulações com estes dois dispositivos.

Embora a ventilação seja a estratégia mais recomendada no caso de desconforto por calor (tabela 2.3), decidiu-se não trabalhar com esta variável, pois o software apresenta deficiências quanto a esta.

---

<sup>86</sup> Fonte: <[http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata\\_int.cfm#BRA](http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata_int.cfm#BRA)>

<sup>87</sup> Inicialmente a intenção seria testar também os vidros refletivos, mas como demonstrado em 2.4.2, estes são menos eficientes que as películas.

<sup>88</sup> Nas simulações, os ganhos térmicos através das superfícies transparentes eram maiores com o uso destes dispositivos do que na situação original.

<sup>89</sup> Carta datada de 26/10/2004 (Thermal Support Forum). Todas as mensagens ao Support Forum estão disponíveis no seguinte sítio: < <http://www.squ1.com/phorum/index.php?f=6>>.

Para testar o desempenho térmico do modelo com as películas criou-se um material que possui características de vidro comum (de 6mm) com película refletiva incolor. A tabela 5.2 apresenta as diferenças entre algumas propriedades<sup>90</sup> de vidro comum e de vidro comum com película refletiva incolor.

Tabela 5.2: Algumas propriedades de vidro comum sem e com película refletiva incolor.

Propriedades	vidro comum (6mm)	vidro comum c/ película refletiva
Valor U [W/m <sup>2</sup> K]	6	6
Admitância [W/m <sup>2</sup> K]	6	6
Coef. de sombreamento [0-1]	0,95	0,55
Transparência [0-1]	0,88	0,61

Tabela 5.3: Algumas propriedades da parede externa original e com a adição da massa térmica.

Propriedades	parede externa original	parede externa c/ massa térmica
Espessura [cm]	13	24
Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	201	429
Valor U [W/m <sup>2</sup> K]	1,8	1,56
Admitância [W/m <sup>2</sup> K]	3,36	5,32

Para simular o aumento da massa térmica da parede externa<sup>91</sup>, colocou-se uma camada de tijolo maciço na parte interna da parede, aumentando a espessura desta de 13cm para 24cm (Tab. 5.3).

A proporção entre o tamanho da janela e o tamanho da parede externa é conhecida em inglês como Window Wall Ratio (WWR). A tipologia em análise possui WWR de 75%. Isso significa que a janela ocupa 75% da parede externa<sup>92</sup>. Por ser um elemento com grande influência no desempenho térmico dos ambientes, decidiu-se testar uma janela menor. Para testes foi escolhida a janela com WWR de 50%<sup>93</sup>, tamanho considerado limite para bom desempenho térmicos, como visto em 2.3.3.

#### 5.4.4 Análises térmicas e de conforto

Como descrito no item 3.2, o Ecotect oferece um vasto leque de análises térmicas apresentadas por meio dos gráficos, desenhos, digramas, tabelas e grelhas de pontos ('grids') em 2 ou 3 dimensões.

Para o presente trabalho foram considerados os mais adequados:

8. Temperaturas de hora em hora demonstradas por meio de gráfico e de tabela;
9. Ganhos e perdas térmicos de hora em hora demonstrados por meio de gráfico e de tabela;
10. Temperatura Média Radiante (TMR) e índices de conforto: Voto Médio Estimado (VME) e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPI), apresentados por valor médio e graficamente em 2D por meio da grelha de pontos.

<sup>90</sup> As propriedades de vidro com película refletiva foram extraídas do tutorial do programa Ecotect.

<sup>91</sup> Peso passou de 201 kg/m<sup>2</sup> para 429 kg/m<sup>2</sup>, um aumento de 113%.

<sup>92</sup> A janela original possui altura de 2,10m e ocupa toda a largura da parede externa. O parapeito é de 50cm e o pé direito dos ambientes alcança aproximadamente 2,60m.

<sup>93</sup> Com parapeito de 90cm e a altura de 1,40m.

#### 5.4.4.1 Temperaturas horárias

O gráfico exibe as temperaturas de hora em hora para a data especificada (Graf. 5.7). As linhas sólidas apresentam as temperaturas internas das zonas não ocultadas. As tracejadas e pontilhadas representam dados climáticos do dia, como descrito na legenda do gráfico. Os valores das temperaturas internas e externas também são disponíveis em formato da tabela.

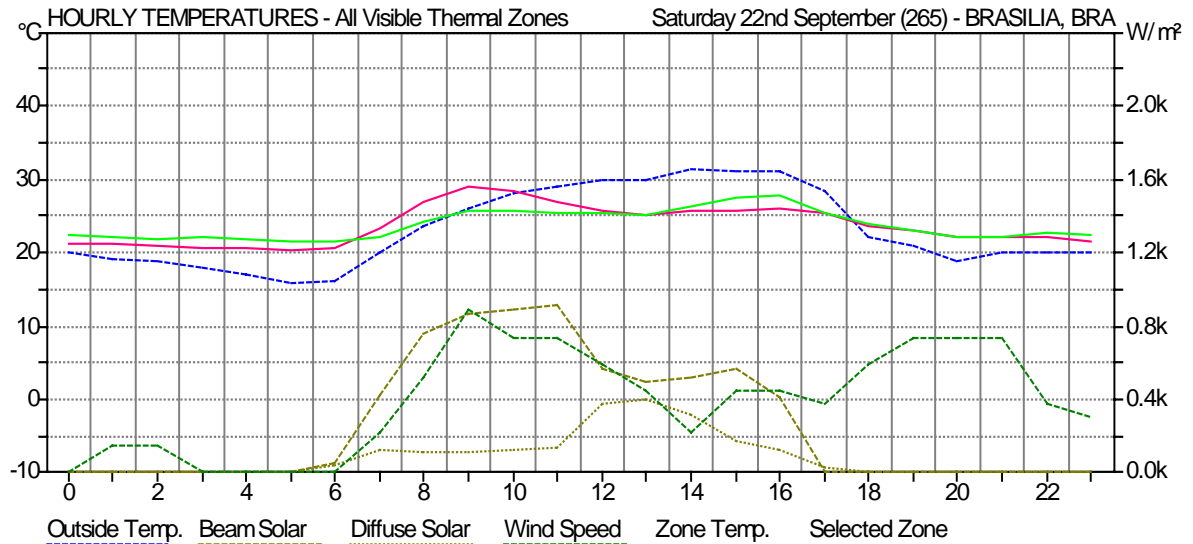


Gráfico 5.7: Gráfico de temperaturas horárias.

#### 5.4.4.2 Ganhos e perdas térmicos

Este gráfico (Graf. 5.8) ilustra os efeitos dos ganhos térmicos discriminados pela origem. É muito útil para compreender o comportamento térmico de um determinado ambiente. Os valores também são observáveis em formato da tabela.

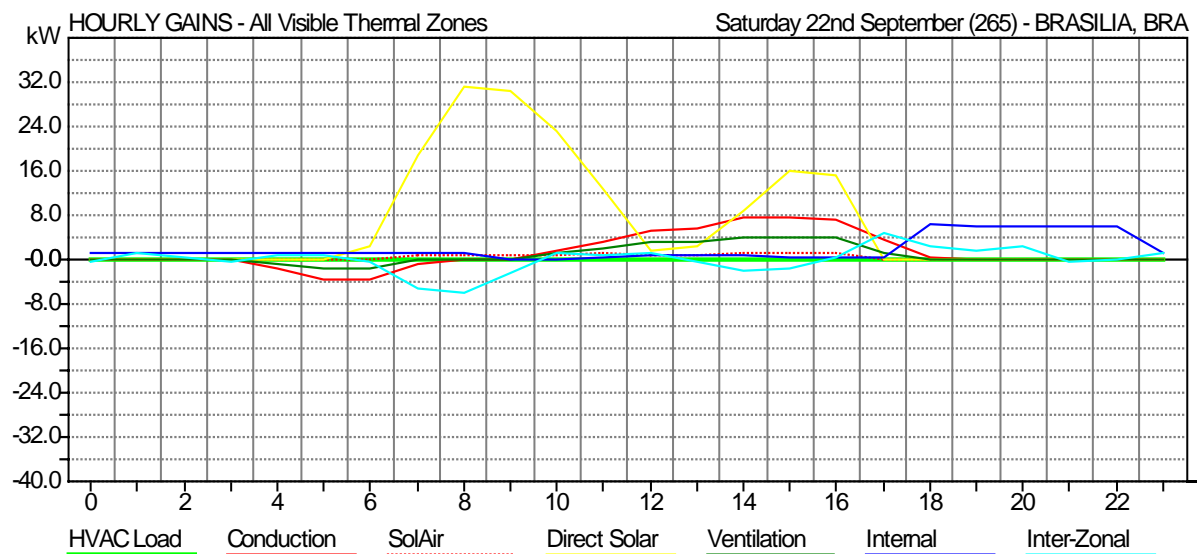


Gráfico 5.8: Gráfico de ganhos e perdas térmicos discriminados pela origem.

#### 5.4.4.3 Temperatura média radiante (TMR), voto médio estimado (VME) e percentual de pessoas insatisfeitas (PPI)

Para o cálculo do VME e PPI o programa necessita dos dados sobre a vestimenta das pessoas, a velocidade do ar dentro da zona e a umidade do ar.

Para a vestimenta, desejava se especificar o índice de 0,5 clo<sup>94</sup>, o que corresponderia a vestimentas leves, apropriados para o calor. Mas por alguma razão o programa permitiu especificação somente de números inteiros, embora exista espaço para três casas decimais. O fato também foi questionado através do Support Fórum<sup>95</sup>, mas a resposta que obtivemos de um dos usuários foi que na versão dele poderia ser especificado qualquer número de clo com até três casas decimais. O mesmo usuário sugeriu também que se fizesse reinstalação do programa, o que foi feito, mas nada mudou. Não resolvendo a questão, decidiu-se trabalhar com a especificação de vestimenta de 1 clo.

Também foi estabelecida a velocidade de ar dentro das zonas de 0,5 m/s e a umidade de 70% (correspondendo à média do clima brasiliense).

Igualmente foi necessário estabelecer o tamanho e a posição dos pontos para os quais os índices serão calculados (a grelha). Na sala adotou-se a grelha com 308 pontos a 80 cm do piso. Na suíte, a grelha apresentou 280 pontos na mesma altura.

Apertada a tecla 'Calcular', os valores foram calculados para todos os pontos da grelha. A média destes valores também pode ser exibida. Os valores médios para cada hora foram organizados em tabelas no programa Excel e a partir destas originaram-se os gráficos.

O programa apresentou uma deficiência quanto a este item. Os valores de TMR, VME e PPI são calculados somente durante o dia, isto é, enquanto o sol está acima do horizonte. O fato foi questionado por meio do Support Fórum.<sup>96</sup> Em resposta, Dr. Andrew Marsh afirmou que a deficiência seria sanada em uma próxima versão do programa.

#### 5.4.4.4 Metodologia das simulações

Foram feitas as simulações para o equinócio da primavera e o solstício de verão, que representam os períodos quente-seco e quente-úmido.<sup>97</sup>

Simularam-se para todos os modelos as temperaturas internas, os ganhos e as perdas térmicos, TMR, VME e PPI nos dias 24 de setembro e 22 de dezembro. Para cada modelo e para cada data elaborou-se uma tabela que resume todas as variáveis analisadas (Anexos: A, B, C e D).

É importante ressaltar que as temperaturas internas calculadas pelo programa não são as temperaturas de bulbo seco<sup>98</sup>. Os valores são função de três parâmetros: a temperatura de bulbo

---

<sup>94</sup> Clo é a unidade usada para medir a resistência térmica das vestimentas. Segundo Corbella e Yannas (2003, p. 271), 1 clo equivale a 0,155 m<sup>2</sup> °C /W.

<sup>95</sup> Carta do dia 02/01/2005 (General Support Forum).

<sup>96</sup> Cartas do dia 16/09 e 23/09/2004 (Thermal Support Forum).

<sup>97</sup> De acordo com Frota (2004), o equinócio de primavera acontece no dia 24 de setembro e o solstício de verão no dia 22 de dezembro.

seco, a temperatura média radiante e a velocidade do ar. Segundo o tutorial, estas temperaturas são conhecidas como ‘temperaturas secas resultantes’ (*Dry resultant temperatures*) e são usadas como indicadores de conforto nos ambientes com baixas velocidades do ar.

Cada tabela resultante expõe todas as variáveis simuladas para uma determinada situação na sala e na suíte, num determinado dia. A primeira coluna explicita a hora do dia. As cinco colunas seguintes se referem aos ganhos e às perdas térmicas. A coluna denominada de ‘**cond.-conv.**’ aborda os ganhos e as perdas térmicos do envelope de edifício que ocorrem por condução e convecção. Aos ganhos solares diretos provenientes das superfícies transparentes é dedicada a coluna seguinte denominada de ‘**solares**’. A coluna ‘**ventilação**’ aborda os ganhos adquiridos com a ventilação e a infiltração do ar. Os ganhos provenientes das pessoas e equipamentos são resumidos na coluna com nome ‘**internos**’. A coluna ‘**zonais**’ dispõe as trocas térmicas com as zonas adjacentes.

Depois dos ganhos e perdas térmicos seguem as colunas referentes às temperaturas: internas, externas e a TMR. Os índices de conforto VME e PPI são apresentados em últimas duas colunas.

A partir das tabelas foram gerados os gráficos comparativos de TMR, VME e PPI. Para conferir todas as tabelas e gráficos, ver os anexos A, B,C e D.

No final verificou-se também o desempenho térmico das modificações nos dias frios. Pois as últimas deveriam melhorar conforto interno somente quando as temperaturas ultrapassam os limites de conforto, mas também quando estão abaixo destes. Para tanto executaram-se também as simulações para a pior situação de frio, isto é, para o apartamento B (norte-sul) no dia 22 de junho.

#### 5.4.5 Análises luminosas

No presente trabalho as análises luminosas serão usadas para verificar se as mudanças propostas para a melhoria de conforto térmico não penalizaram demasiadamente o conforto luminoso. Para tanto, far-se-á a comparação de desempenho luminoso da situação original com a modificação denominada de combinação, por ser a que mais diminui a entrada da luz natural. A proposta é verificar a iluminação natural interna nas condições menos favoráveis, ou seja, no dia em que o céu está totalmente encoberto.

### 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante ressaltar que os resultados das simulações no programa Ecotect não devem ser considerados exatos em números absolutos, mas quando comparados entre si (análise paramétrica). O tutorial do aplicativo deixa claro que é muito difícil prever a temperatura exata num determinado ambiente numa determinada hora do dia. O que o software propõe é apresentar as mudanças de um parâmetro para outro (simulações paramétricas) e não acertar os valores absolutos.

---

<sup>98</sup> Estas podem ser obtidas somente se o modelo for exportado para o programa Energy Plus.

### 5.5.1 Potencialidades e limitações do software Ecotect (parte térmica)

Retomando as considerações levantadas anteriormente, como os pontos fortes do programa poderiam ser apontados:

- A construção de modelo é relativamente simples e facilmente editável;
- A grande variedade de análises térmicas com representações facilmente compreensíveis;
- A integração entre vários tipos de simulações de conforto (térmico, luminoso e acústico), além das de impacto ambiental e custos;
- Um tutorial didático e detalhado acessível nas páginas eletrônicas do software, além de um *Support Forum* bastante eficiente.

Algumas limitações que já foram apontadas no texto.

- Não é possível (até a versão 5.20) simular a TMR, o VME e o PPI durante as horas noturnas. Na próxima versão esta deficiência será provavelmente sanada, segundo o autor do Programa Dr. Andrew Marsh.
- O programa foi pensado para as simulações de ambientes de trabalho e de atividades, pois no item onde se especifica as atividades das pessoas não existe opção para indivíduos em repouso ou dormindo. A opção faz falta no caso das residências.
- Para a vestimenta das pessoas e a velocidade do ar no ambiente existe um valor predeterminado. Por alguma razão o programa permitiu especificação somente de números inteiros, o que dificultou a caracterização correta nos dois casos.
- Os resultados obtidos no software com as alternativas que comportam brise ou prateleira de luz são improváveis.
- Para a umidade interna já existe um valor pré-determinado que pode ser alterado para cada ambiente; o programa não puxa os dados sobre esta variável do arquivo climático nem no caso de ambientes ventilados naturalmente.

### 5.5.2 Equinócio de primavera (24 de setembro)

Nos dados climáticos usados pelo programa Ecotect para a cidade de Brasília, percebe-se que o dia 24 de setembro é um dos mais quentes do ano (Graf. 5.9). A temperatura externa alcança 33°C às 15h (linha cor azul). A insolação é mais intensa na parte da manhã, chegando a 900 W/m<sup>2</sup> às 11h (linha marrom tracejada). A partir deste horário a insolação cai num patamar de 600 W/m<sup>2</sup>. À medida que a insolação direta diminui a indireta aumenta, com pico de 390 W/m<sup>2</sup> ao meio dia (linha marrom pontilhada). O vento também é mais intenso na parte da manhã (linha verde tracejada).



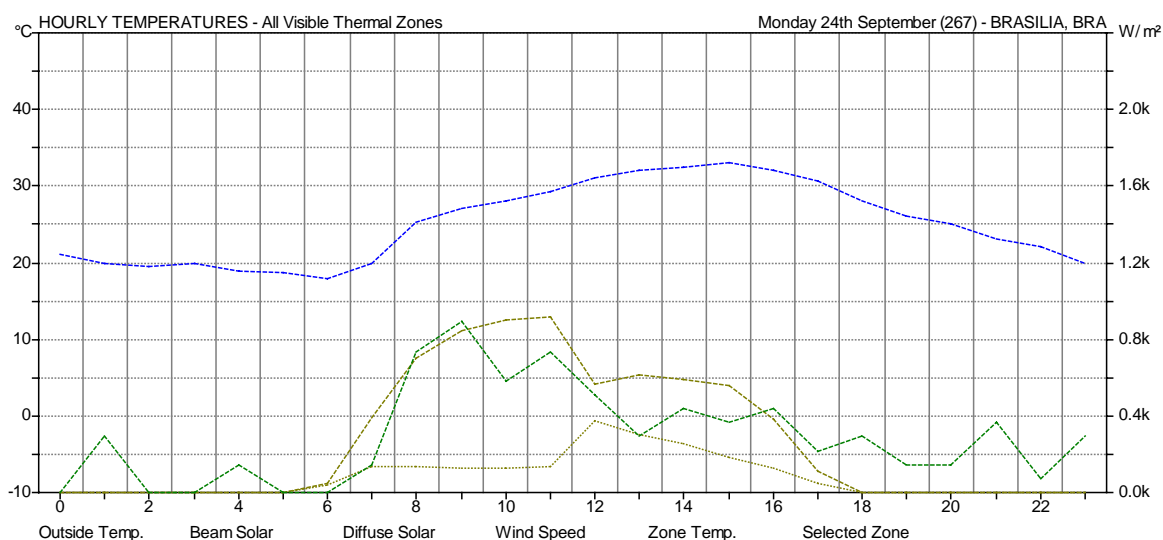


Gráfico 5.9: Variáveis climáticas para o dia 24 de setembro - arquivo climático usado pelo Ecotect.

### 5.5.2.1 Apartamento A (leste-oeste)

#### Sala leste

No dia 24 de setembro a sala recebe insolação intensa até às 11h<sup>99</sup>, o que se reflete em grandes ganhos solares diretos através dos fechamentos transparentes, denominados de 'solares' na tabela A.1. Estes somam no dia 9.454 Watts. Os ganhos adquiridos por condução e convecção sofrem atraso de algumas horas. São muito menores que os ganhos diretos, somando 2.404 Watts no dia (Anexo A - Tab. A.1).

Os ganhos provenientes da ventilação e da infiltração do ar e os ganhos internos podem ser expressivos, mas não serão abordados detalhadamente, uma vez que não mudam com a aplicação das estratégias descritas anteriormente. As trocas entre os ambientes (zonas) mudam dependendo dos ganhos por meio dos fechamentos externos.

A tabela A.2 explicita que a aplicação da película refletiva diminui os ganhos solares diretos em aproximadamente 50%. O efeito da massa térmica é desprezível, podendo ser citado como causa o pequeno tamanho da superfície da parede externa onde esta foi aplicada (Tab. A.3). A diminuição da janela para 2/3 do tamanho original (WWR 50%), diminui os ganhos solares diretos na mesma proporção (Tab. A.4) e os ganhos provenientes da condução e convecção em 9%.

A situação que combina todas as soluções teve, como esperado, o melhor desempenho térmico. Os ganhos solares diretos diminuíram em 68% e os ganhos por condução e convecção em 27% (Tab. A.5). Gráfico 5.10 compara os ganhos solares diretos e indiretos (condução e convecção) para a situação original e para as modificações propostas.

<sup>99</sup> Fachada marcada com cor amarelo no item 4.1.2 que aborda a insolação das fachadas (figura 4.2 e gráfico 4.1).

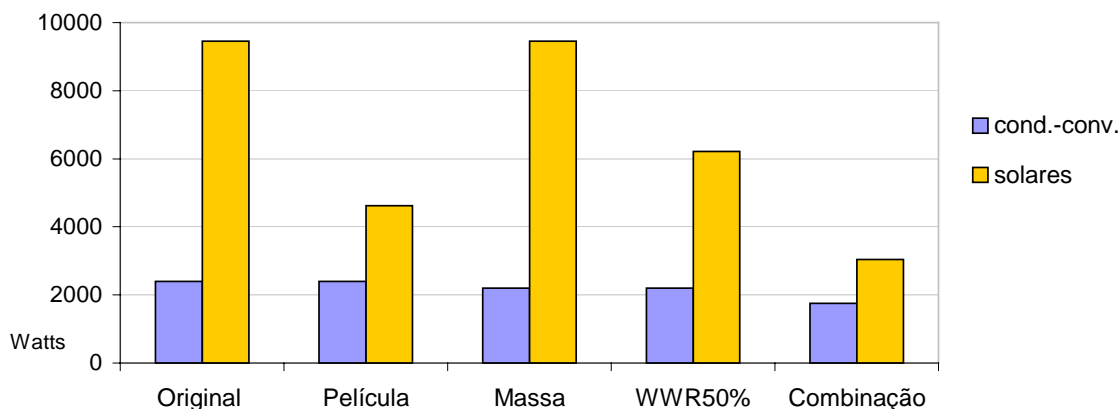


Gráfico 5.10: Gráfico comparativo dos ganhos solares diretos e ganhos por condução e convecção na sala orientada para leste – dia 24/09.

Nos gráficos A.1, A.2 e A.3 podemos observar como as trocas térmicas influenciaram a TMR e os índices de conforto.

A TMR apresenta dois picos durante o dia. O primeiro, mais expressivo, às 9h e outro às 16h. Na situação original a TMR cresce na parte da manhã rapidamente até atingir 30°C às 9h. Depois vai caindo até às 13h chegando a 26,7°C. Segue uma leve elevação de temperatura atingindo 27,6°C às 16h (Graf. A.1).

Observando os índices de VME e PPI, nos gráficos A.2 e A.3, nota-se que estes têm curvas semelhantes ao da TMR. O índice de VME confirma que neste dia a sala apresenta desconforto significativo por calor na parte da manhã. O PPI ultrapassa os 20% (considerados limite de conforto) na maior parte do dia, alcançando 70% às 9h da manhã.

Como visto acima as janelas com película refletiva diminuem consideravelmente os ganhos solares diretos. Isso se reflete também nos valores máximos da TMR e dos índices de conforto. O valor máximo da TMR é 1,5°C menor que o valor obtido para a situação original. O PPI teve uma queda expressiva, pois o valor máximo é 28% menor que na situação original (Graf. A.1 e A.3).

A aplicação de massa térmica não teve efeito significativo nos índices de conforto.

A parede externa com WWR de 50% também apresenta melhora de conforto, mas menos significativa do que na situação com a película. A TMR máxima é 0,70°C menor que na situação original e o PPI máximo cai 13% (Graf. A.1 e A.3).

Na situação onde se combinam as soluções anteriores, o valor máximo da TRM é reduzido em quase 2°C e o da PPI em 34% (Graf. A.1 e A.3).

Todas as soluções com efeitos positivos nas horas mais quentes, porém, têm um pequeno efeito colateral. Durante à tarde, quando acontece o segundo pico de desconforto, as condições de conforto se tornam levemente piores que na situação original (Graf. A.1, A.2 e A.3).

### Suíte oeste

A suíte recebe carga térmica solar muito menor que a sala – 2.699 Watts dos ganhos solares diretos e 1.314 Watts dos ganhos solares indiretos (Tab. A.1). Podem ser identificadas três causas: (1) a

parede externa da suíte é menor que a da sala, (2) nos dados climáticos usados para a simulação a nebulosidade neste dia é maior à tarde do que pela manhã e, (3) no dia 24 de setembro, em geral, as fachadas com azimute de 252° recebem insolação menor que as de 72° - item 4.2.2<sup>100</sup>.

A TMR e os índices de conforto (Graf. A.4, A.5 e A.6) permanecem estáveis na parte da manhã e sofrem pico à tarde, quando os raios solares penetram no ambiente. Na situação original a TMR chega a 29,5°C às 15h. Com a película refletiva o valor máximo diminui em 0,7°C e, aplicando a combinação das soluções, em 1°C.

Segundo índices de VME e PPI, o ambiente fica desconfortável entre as 13h e 17h. O valor máximo de PPI alcança 60% na situação original, 45% com a película refletiva e 42% combinando as soluções. A massa térmica e a solução WWR50% tiveram desempenho pouco significativo.

Comparando os efeitos das modificações nos dois ambientes notam-se muitas semelhanças. A situação que combina várias soluções e a película refletiva tiveram desempenho mais expressivo em ambos os casos.

### **5.5.2.2 Apartamento B (norte-sul)**

#### Sala sul

A sala com azimute de 162° recebe no dia 24 de setembro a insolação direta somente até às 9h da manhã (Fig. 4.4). Isso se reflete na pequena proporção de ganhos solares diretos que somam no dia apenas 673 watts, o que representa 7% da insolação recebida na sala virada para o leste.

Os principais ganhos térmicos provém da condução e convecção (2.227 Watts), das fontes internas (2.816 Watts) e da ventilação (1.316 Watts) - tabela B.1. Por este motivo não existem diferenças consideráveis entre a situação original e as situações propostas - as últimas (exceto da massa térmica) têm como finalidade principal evitar ganhos solares diretos advindos das superfícies transparentes (Tab. B.1, B.2, B.3, B.4 e B.5).

Os gráficos da TMR, VME e PPI (B.1, B.2, B.3) apontam que o ambiente se mantém dentro das margens de conforto até o meio dia. O pico de desconforto é atingido às 14h quando a TMR excede 28°C, o VME supera o valor de 1,2 e o PPI alcança 38% para todas as situações.

Este exemplo expõe que sem a presença da insolação direta as modificações propostas não têm efeito expressivo.

#### Suíte norte

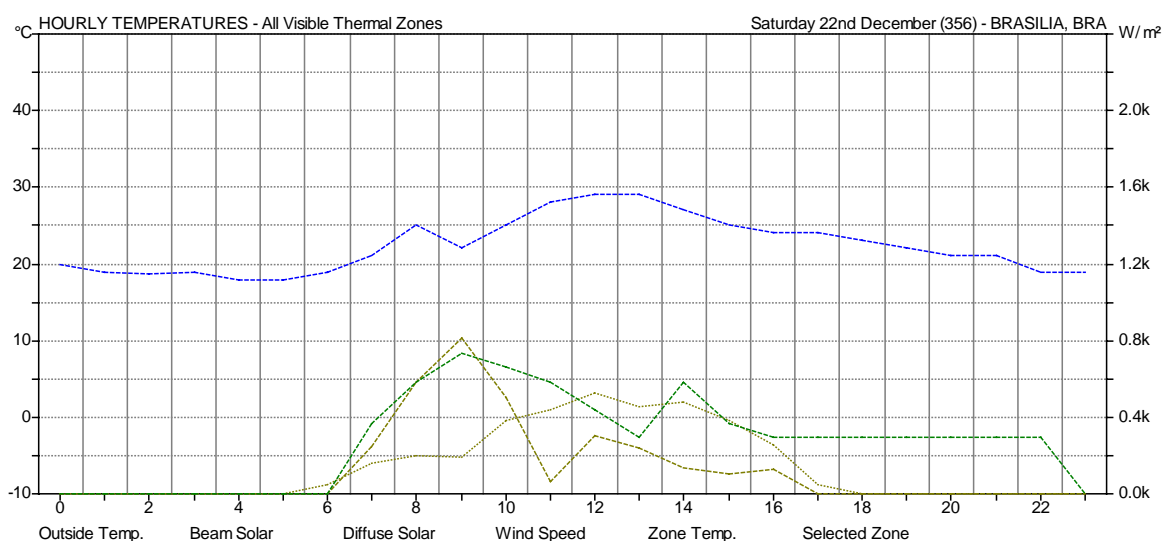
A suíte virada para o norte é ensolarada neste dia das 10h às 18h, mas a insolação é menos intensa do que nas fachadas voltadas para leste e oeste (Fig. 4.4).

Comparando os ganhos e as perdas térmicos através do envelope do edifício nota-se, como nos exemplos anteriores, que a situação que combina várias soluções é a mais eficiente, seguida pela película e depois pela mudança de fator WWR. A massa térmica novamente não demonstrou efeito significativo (Tab. B.1, B.2, B.3, B.4 e B.5).

Nos gráficos B.5 e B.6 observa-se que na situação original os limites de conforto são extrapolados entre meio dia e 17h. Existe uma polarização entre as soluções massa e WWR 50% que tiveram desempenho muito semelhante à situação original e as soluções película e combinação que apresentaram melhora durante o intervalo mais crítico, isto é, entre 12h e 16h (Graf. B.4, B.5 e B.6). Assim, as últimas duas tiveram o valor máximo da TMR reduzido em 0,5°C e o índice máximo de PPI em aproximadamente 10%.

### 5.5.3 Solstício de verão (22 de dezembro)

O Gráfico 5.11 expõe as condições climáticas do dia 22 de dezembro. As temperaturas externas variam de 18°C de madrugada até 29°C no começo da tarde (linha azul). No começo da manhã predomina a insolação direta (linha marrom tracejada). Depois das 10h a nebulosidade aumenta e a insolação difusa se torna predominante (linha marrom pontilhada). Não há vento (linha verde) de madrugada, o que apenas começa a ocorrer às 6h de manhã. Os ventos mais fortes do dia sopram por volta das 9h. (Graf. 5.11)



Graf. 5.11: Variáveis climáticas do dia 22 de dezembro - arquivo climático usado pelo Ecotect.

#### 5.5.3.1 Apartamento A (leste-oeste)

O comportamento térmico dos ambientes no dia 22 de dezembro é bastante diferenciado daquele do dia 24 de setembro. As principais causas são as menores temperaturas externas e o aumento da insolação indireta em detrimento da direta.

##### Sala leste

A sala virada para leste recebe no dia 22 de dezembro aproximadamente metade da insolação recebida no dia 24 de setembro (Fig. 4.5). Em consequência, os ganhos térmicos advindos do envelope do edifício (condução e convecção, solares e ventilação) são menores (Tab. C.1).

<sup>100</sup> Na figura 4.2 e no gráfico 4.1 a fachada da suíte é marcada com a cor verde.

Nos gráficos C.2 e C.3 nota-se que o ambiente permanece termicamente confortável entre as 6h e 18h, mas a inclinação das linhas indica provável desconforto por frio durante de madrugada. As soluções combinação, película e WWR50% demonstraram um pouco mais de conforto que a situação original.

#### Suíte oeste

No dia 24 de setembro a suíte deveria receber uma carga de insolação maior do que a sala do mesmo apartamento (Fig. 4.5). Contudo, nos dados climáticos usados pelo programa Ecotect, a nebulosidade à tarde é muito maior que pela manhã. Isso acarreta baixos ganhos térmicos solares diretos na suíte, 932 Watts contra os 5.009 Watts da sala (Tab. C.1).

Os índices de conforto se mantêm dentro dos limites de conforto durante todo o período analisado, apresentando poucas diferenças entre as diferentes soluções (Graf. C.4, C.5 , C.6).

### **5.5.3.2 Apartamento B (norte-sul)**

#### Sala sul

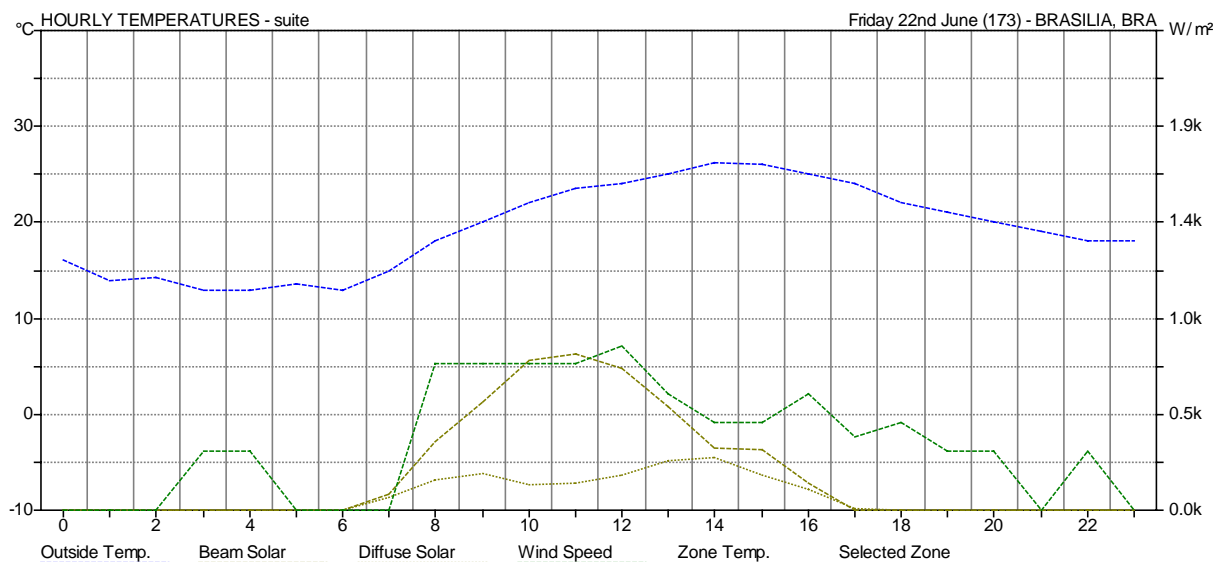
No dia 22 de dezembro a insolação na fachada sul é semelhante à insolação da fachada leste (Fig. 4.5). Deste modo, as duas salas apresentam comportamento térmico semelhante comparando a TMR e os índices de conforto (Graf. D.1, D.2, D.3).

#### Suíte norte

A suíte (com azimute de 342°) no dia 22 de dezembro não recebe insolação direta em nenhum horário (Fig. 4.5). A suíte com orientação oeste, analisada no item 5.4.2.1 e que deveria receber uma carga solar significativa, não a recebe devido à nebulosidade, tendo portanto neste dia comportamento térmico quase idêntico à suíte norte. (Graf. D.4, D.5, D.6)

### **5.5.4 Solstício de inverno (22 de junho)**

O gráfico 5.12 mostra os dados climáticos usados pelo software Ecotect para a cidade de Brasília no dia 22 de junho. As temperaturas externas variam entre 13°C de madrugada e 26,2°C às 14h (linha cor azul). A insolação direta é forte, atingindo seu pico às 11h (linha marrom tracejada). A insolação indireta é menor que a direta durante o dia todo (linha marrom pontilhada). Os ventos são mais fortes na parte da manhã (linha verde).



Graf. 5.12: Variáveis climáticas do dia 22 de junho - arquivo climático usado pelo Ecotect.

#### 5.5.4.1 Apartamento B (norte-sul)

##### Sala sul

A carta solar da figura 4.3 indica que no dia 22 de junho a sala voltada para sul não recebe insolação direta em horário algum. Isso se reflete nos ganhos e perdas térmicos do ambiente e nas temperaturas internas. A Tabela E.1 contém a informação que no caso da situação original o ambiente sofre perdas térmicas significativas por condução e convecção (- 2104 W). Há pequenos ganhos advindos da radiação solar indireta. Também há perdas expressivas (- 1127 W) decorrentes da ventilação (Tab. E.1).

Em decorrência, as temperaturas internas são baixas. Mantêm-se abaixo dos limites de conforto durante a madrugada, com mínima de 17,2°C, e durante dia alcançam o máximo de 23°C. Os valores das TMR se mantêm muito próximos dos valores das temperaturas internas. (Tab. E.1)

Os índices de VME e PPI (Graf. E.2, E.3) alcançam números muito altos mesmo quando a temperatura interna e a TMR se encontram dentro dos limites considerados confortáveis (18°C – 27°C). O VME fica abaixo de -1 entre 18h e 11h, ultrapassando o valor de -2 em certos horários. Paralelamente os valores de PPI também ficam dentro dos limites considerados aceitáveis somente entre meio dia e 16h. Estes valores são exagerados e não devem ser considerados certos em números absolutos.

Comparando as diferentes estratégias, observamos que estas têm pouco ou nenhum efeito quando o ambiente não recebe insolação direta. Somente os modelos WWR 50% e combinação apresentam uma leve atenuação das temperaturas de madrugada (Tab. E.1 - E.5; Graf. E.1 - E.3).

##### Suíte norte

Ao contrário da sala, a suíte recebe insolação direta durante o dia todo. Os ganhos solares pelas superfícies transparentes somam na situação original 5.568 Watts (Tab. E.1). As perdas por

condução e convecção são de 1.085 Watts. As perdas decorrentes da ventilação alcançam na suíte metade das perdas constatadas na sala (-583 W).

As temperaturas na suíte se assemelham às da sala durante a noite, mas são maiores durante o dia, atingindo o valor máximo ao meio dia com 24,2°C (Tab. E.1).

Os índices de conforto (Graf. E.1- E.3) apontam que as soluções denominadas de combinação e WWR50% são mais eficientes para amenizar o desconforto por frio à noite. Durante o dia, as soluções combinação e película diminuem a entrada de calor, o que pode ser indesejável nesta época do ano.

Assim, nos meses frios a solução WWR50% mostrou-se a mais eficiente, pois permite ganhos térmicos quase na medida da situação original e à noite retêm o calor com bastante eficiência.

Tabela 5.4: Resumo de dados simulados para apartamento leste-oeste

data / situação	Tipologia A: sala leste				Tipologia A: suíte oeste			
	Temp.	TMR	VME	PPI	Temp.	TMR	VME	PPI
<b>24/set</b>	max min	max min	max min	max min	max min	max min	max min	max min
original	30,3 22,2	30 22,5	1,87 -0,62	70,5 5,1	29,6 23,4	29,5 23,3	1,67 -0,36	60,3 6,9
película	28,6 22,5	28,5 22,7	1,34 -0,58	42,4 6	28,8 23,5	28,8 23,5	1,41 -0,31	45,8 6,4
massa	30,1 22,2	29,9 22,6	1,82 -0,61	68,1 5	29,5 23,4	29,4 23,4	1,64 -0,35	58,6 6,8
WWR 50%	29,5 22,7	29,3 23	1,62 -0,47	57,6 5	29,3 23,9	29,3 23,9	1,59 -0,19	55,8 5,3
combinação	28,3 23	28,2 23,1	1,22 -0,44	36 5,8	28,6 24,1	28,6 24,1	1,34 -0,14	42,4 5,2
<b>22/dez</b>								
original	27,2 21,7	27,1 21,7	0,86 -0,88	21,2 5,3	25,9 22,6	25,9 22,7	0,46 -0,57	11,8 5
película	26 21,9	25,9 21,9	0,45 -0,82	19,1 5,1	25,8 22,7	25,7 22,8	0,41 -0,55	11,4 5
massa	27,1 21,7	27 21,8	0,83 -0,87	20,9 5,1	25,9 22,7	25,9 22,8	0,46 -0,56	11,7 5
WWR 50%	26,8 22,1	26,7 22,2	0,73 -0,74	16,5 5	26 23	25,9 23,1	0,48 -0,45	9,3 5
combinação	26 22,3	26 22,4	0,47 -0,69	14,9 5	25,8 23,1	25,8 23,2	0,42 -0,42	8,7 5

Tabela 5.5: Resumo de dados simulados para apartamento norte-sul

data / situação	Tipologia B: sala sul				Tipologia B: suíte norte			
	Temp.	TMR	VME	PPI	Temp.	TMR	VME	PPI
<b>24/set</b>	max min	max min	max min	max min	max min	max min	max min	max min
original	28,4 22,9	28,4 23,1	1,27 -0,45	39 5,2	29,1 23,6	29 23,6	1,49 -0,29	50,5 5,7
película	28,4 23	28,4 23,1	1,28 -0,46	39,1 5	28,6 23,7	28,5 23,7	1,33 -0,25	41,8 6,1
massa	28,4 23	28,4 23,2	1,27 -0,44	38,5 5,2	29 23,6	28,9 23,6	1,46 -0,28	48,7 5,7
WWR 50%	28,5 23,2	28,4 23,4	1,29 -0,37	40 5,2	29 24,1	28,9 24	1,46 -0,13	48,9 5,3
combinação	28,4 23,4	28,3 23,5	1,26 -0,34	38,1 5,1	28,4 24,3	28,4 24,3	1,29 -0,09	39,6 5,1
<b>22/dez</b>								
original	25,8 21,8	25,7 21,9	0,39 -0,83	19,4 5,1	25,6 22,8	25,6 22,9	0,36 -0,53	10,8 5
película	25,9 22	25,8 22,1	0,43 -0,78	17,9 5,1	25,6 22,8	25,6 22,9	0,35 -0,53	10,8 5
massa	25,8 21,8	25,7 21,9	0,4 -0,82	19,3 5,2	25,6 22,8	25,6 22,9	0,35 -0,52	10,6 5
WWR 50%	26 22,2	25,6 22,3	0,46 -0,7	15,4 5	25,8 23,1	25,7 23,2	0,4 -0,42	8,7 5
combinação	26 22,4	25,9 22,5	0,46 -0,66	14,2 5	25,7 23,2	25,7 23,3	0,38 -0,4	8,3 5
<b>22/jun</b>								
original	23 17,2	23 17,5	-0,5 -2,23	85,8 10,3	24,2 17,5	24 17,7	-0,13 -2,14	82,7 5,3
película	23 17,2	23 17,5	-0,5 -2,23	85,8 10,3	23,3 17,7	23,2 18	-0,4 -2,06	79,3 8,3
massa	23 17,2	22,9 17,6	-0,51 -2,22	85,5 10,5	24,1 17,5	23,9 17,7	-0,17 -2,14	82,7 5,6
WWR 50%	23 17,5	22,9 17,7	-0,51 -2,16	83,6 10,5	23,8 18	23,6 18,2	-0,26 -1,98	75,9 6,4
combinação	22,8 17,6	22,8 17,8	-0,56 -2,14	82,7 11,5	23 18,2	22,9 18,5	-0,51 -1,93	73,4 10,4

### 5.5.5 Análises luminosas

As análises luminosas têm por objetivo verificar em que grau as modificações propostas podem prejudicar a iluminação interna. Assim, far-se-á a comparação da iluminação natural entre a situação original e a modificação proposta que mais prejudica a entrada da luz na sala e na suíte do apartamento B, num dia totalmente nublado<sup>101</sup>.

A tabela 5.6 resume a influência das mudanças na iluminação natural da sala. O Fator de Luz Diurna (FLD) na situação original varia de 2,4 a 22,4% e na situação com a combinação das soluções de 1,6 a 21,6%. O valor médio deste fator diminui de 7,79% para 4,87%. Com a iluminação externa de 10.000 lux isso implica uma iluminação média interna de 779 no modelo original e 487 lux no modelo com as modificações.

Tabela 5.6: A iluminação natural da sala no apartamento B, com céu encoberto de 10.000 lux, para a situação original e a situação proposta com combinação

<b>SALA*</b>	<b>Situação original</b>	<b>Proposta: combinação</b>
variação do Fator de Luz Diurna (FLD)	2,4 - 22,4%	1,6 - 21,6%
valor médio do FLD	7,79%	4,87%
iluminação média no plano de trabalho (h=80cm) com céu nublado de 10.000 lux	779 lux	487 lux

\*Simulação feita com precisão média, janela um pouco suja e céu totalmente encoberto.

Tabela 5.7: A iluminação natural na suíte do apartamento B, com céu encoberto de 10.000 lux, para a situação original e a situação proposta com combinação

<b>SUÍTE*</b>	<b>Situação original</b>	<b>Proposta: combinação</b>
variação do Fator de Luz Diurna (FLD)	1,9 - 21,9%	1,2 - 21,2%
valor médio do FLD	7,84%	4,66%
iluminação média no plano de trabalho (h=80cm) com céu nublado de 10.000 lux	784 lux	466 lux

\*Simulação feita com precisão média, janela um pouco suja e céu totalmente encoberto.

Para a suíte os resultados foram semelhantes (tabela 5.7). Na situação original o FLD varia de 1,9 a 21,9% e na proposta de 1,2 a 21,2%. O valor médio do FLD corresponde a 7,84% na situação original e 4,66% na situação proposta. Estes valores significam que com céu nublado de 10.000 lux a iluminação média interna seria de 784 lux na situação original e de 466 lux com as modificações.

Com a aplicação das janelas menores (2/3 do tamanho original) e película refletiva incolor, a iluminação na sala diminui 37,5% e na suíte 40,5%. É uma queda significativa, mas aceitável, pois o nível da iluminação natural nos ambientes originais é bastante alto e pode gerar nos dias ensolarados além de desconforto térmico também desconforto luminoso. As janelas originais possuem tamanho maior que recomendado para clima brasileiro, conhecido pelos altos níveis da iluminação natural.

<sup>101</sup> Com céu totalmente encoberto, a iluminação natural externa em Brasília gira em torno de 10.000 lux.



Os valores de 487 e 466 lux, obtidos na sala e na suíte, são classificados pela NBR 5413/1992 como níveis médios de iluminação interna (item 2.2.2) e atendem satisfatoriamente as exigências para as tarefas domésticas, de leitura, escrita, circulação etc.

## CONCLUSÕES

Brasília possui condições climáticas muito favoráveis do ponto de vista de conforto térmico. O exame do clima da região apontou três períodos anuais: quente-úmido (outubro a abril), seco (maio a julho) e quente-seco (agosto e setembro).

As avaliações bioclimáticas realizadas anteriormente evidenciam que o desconforto térmico existente na cidade é principalmente por frio, ocorrendo sobretudo durante a madrugada e o início da manhã. O período da tarde, entre as 13h e 18h, é o principal responsável pelo desconforto por calor. A mesma avaliação indicou como estratégias bioclimáticas mais apropriadas: a massa térmica, a ventilação seletiva e o resfriamento evaporativo.

As condições climáticas externas, porém, nem sempre condizem com as condições de conforto internas. A análise bioclimática definiu como a principal causa de desconforto o frio, mas o presente trabalho constatou que os moradores dos edifícios residenciais sofrem mais com o calor. Isso se deve ao fato de as edificações apresentarem condições de conforto distintas daquelas encontradas externamente, dependendo das variáveis arquitetônicas, da orientação, do entorno, do padrão de uso, dos equipamentos, da ocupação, etc.

Maciel (2002) também demonstrou que o clima da cidade sofreu modificações ao longo dos anos, com uma evidente elevação da temperatura do ar, acarretando em aumento de desconforto por calor em aproximadamente 5%. Como a principal causa das alterações foram apontados o crescimento populacional e o conseqüente aumento das áreas pavimentadas e construídas.

A análise procedida por Achão (2003) detectou significativo aumento do consumo de energia nas últimas décadas em razão do condicionamento dos ambientes residenciais em Brasília. O fato se deve ao menor preço dos aparelhos de ar condicionado, ao aumento de poder aquisitivo, à baixa qualidade das construções e ao aumento de temperaturas externas na cidade. A tendência é aumentar mais ainda o uso deste aparelho no setor residencial.

O levantamento dos blocos residenciais nas superquadras do Plano Piloto apontou o alto grau da descaracterização das fachadas, decorrente de problemas de conforto térmico nos respectivos edifícios.

Com o estudo de caso em dois edifícios da mesma tipologia, mas de orientações distintas, foi possível, através das medições *in loco* e simulações computacionais, confirmar a existência de problemas de conforto térmico e avaliar o grau da adequação de algumas das estratégias.

### **Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto**

De modo geral, os edifícios residenciais de Brasília podem ser divididos em dois grupos: os construídos antes de 1980 e os construídos após esta data. No primeiro grupo predominam blocos com características da arquitetura modernista: volumetria pura, janela corrida, empenas cegas, brises, apartamentos vazados, etc. No segundo os blocos apresentam aspectos variadas, filiados às tendências pós-modernistas: janela tradicional, volumes recortados, empenas ocupadas, varandas, detalhes curvos, etc.

A análise de orientação dos blocos explicitou que na Asa Norte a maioria está implantada nas direções aproximadas norte-sul e leste-oeste. Na Asa Sul predominam as orientações intermediárias: noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste.

Do ponto de vista da insolação, fachadas voltadas para a orientação leste-oeste recebem maior carga térmica e são de difícil proteção. A insolação é a menor no caso das fachadas norte-sul, todavia é importante considerar que a fachada sul não recebe insolação direta durante os meses mais frios do ano, sendo, portanto, mais indicada para ambientes como cozinhas, áreas de serviço, circulações verticais, depósitos, etc.

O levantamento das fachadas que abrangeu todos os 1.392 blocos residenciais das quadras 100, 200, 300 e 400 teve como objetivo principal a determinação do grau da descaracterização, fato decorrente do uso de elementos de proteção solar não originais. Foram verificadas as presenças de toldos, películas e caixas de ar condicionado. O objetivo secundário compreendia obter um quadro descritivo sobre a 'qualidade' arquitetônica dos envelopes, levantando os materiais, os tipos de janelas e suas aberturas, além da presença de brises e varandas.

Os resultados permitiram concluir que, segundo os critérios estipulados, 82% das fachadas podem ser classificadas como descaracterizadas – 85% nas quadras de 6 pavimentos (100, 200 e 300) e 76% nas quadras de 3 pavimentos (400).

Analisando-se cada elemento em separado chega-se à seguinte situação: 68% dos blocos residenciais das superquadras do Plano Piloto possuem fachadas descaracterizadas pelas películas, 38% pela presença das caixas de ar condicionado e 30% pela presença de toldos. Existem blocos que apresentam um ou dois desses elementos, enquanto outros possuem todos.

A pesquisa demonstrou que as tipologias com janelas corridas sem proteção solar que representam 30% dos blocos, são as mais suscetíveis a intervenções com elementos não originais, cujo objetivo é minimizar ganhos solares.

As descaracterizações não decorrentes de problemas de conforto térmico surgem em função das reformas nos apartamentos (quando são trocados caixilhos por elementos diferentes dos originais) e das fachadas não condizentes com a arquitetura dos edifícios. Mas estes casos são raros. Deste modo, pode-se afirmar que o principal motivo da descaracterização das fachadas nas superquadras do Plano Piloto é o desconforto térmico por calor.

Todas as intervenções analisadas são mais freqüentes nas quadras de 6 pavimentos (100, 200 e 300). Como as razões podem ser apontadas: (1) a altura dos blocos, pois havendo 6 pavimentos, as fachadas dificilmente podem ser inteiramente sombreadas pela vegetação. (2) a presença maior das janelas corridas nas quadras de 6 pavimentos, significando grandes superfícies envidraçadas que ocasionam grandes ganhos térmicos provenientes da radiação solar direta.

A diferença entre a presença de toldos e películas nas quadras de 6 e de 3 pavimentos é pequena. Não se pode dizer o mesmo para as caixas de ar condicionado, que aparecem em 56% dos edifícios de 6 pavimentos e apenas em 11% dos blocos de 3 pavimentos, sugerindo que a descaracterização também é influenciada pelo poder aquisitivo dos moradores.

A respeito dos fechamentos opacos que compõem as fachadas, o levantamento apontou a predominância de pastilhas, reboco pintado, cobogós e cerâmicas. O uso de pastilhas e mármore, materiais mais caros, é mais freqüente nas quadras de 6 pavimentos, também por evidente conseqüência de poder aquisitivo mais alto.

A análise dos fechamentos transparentes evidenciou que o uso da janela tradicional é equivalente ao uso da janela corrida nas quadras de 6 pavimentos. Nas 400, entretanto, com 63% de ocorrência, predomina a janela tradicional. Classificando as janelas de acordo com o tipo da abertura nota-se que as de correr e basculantes aparecem em quase todos os edifícios, enquanto a guilhotina e o máximo-ar são raras.

O levantamento, surpreendentemente, apontou a modesta presença de brises. Apenas 22% dos blocos de 6 pavimentos e 5% dos blocos de 3 pavimentos, totalizando 15% do total de edifícios, exibem o elemento nas fachadas, nem sempre projetado de acordo com a orientação.

Correlacionando os tipos de brises e a época da construção, verificou-se que brises mistos predominam nos edifícios mais antigos, enquanto os verticais e horizontais são mais comuns nos exemplares construídos depois de 1980.

A respeito das varandas, é possível afirmar que predominam em blocos mais recentes, aparecendo em 34% dos blocos de 6 pavimentos e em 11% dos de 3 pavimentos, totalizando 26%. A grande parte se encontra fechada com vidro em virtude do desejo de aumento da área dos ambientes internos, contribuindo para a piora das condições térmicas nos apartamentos, devido ao efeito estufa gerado.

### **Proteção e Preservação**

A área do Plano Piloto é considerada patrimônio nacional e da humanidade, havendo a definição da proteção do conjunto urbanístico e arquitetônico. No setor residencial existe a salvaguarda para os conceitos de Superquadra e da Unidade de Vizinhança, onde o número de pavimentos dos blocos e a taxa máxima da ocupação são limitados. Não há, porém, nenhuma determinação específica relacionada às fachadas dos edifícios residenciais.

Um estudo apoiado nos critérios da organização internacional DOCOMOMO, cujo objetivo é estudar e preservar arquitetura modernista, provavelmente apontaria alguns dos edifícios residenciais mais antigos como merecedores da proteção e preservação. Em seguida, uma análise mais detalhada sobre que partes deveriam ser preservadas possivelmente indicaria as fachadas e a área dos pilotis. O terceiro passo seria a identificação dos principais elementos a serem mantidos, permitindo, em contrapartida, a modificação de outros, caso isso se mostrasse benéfico.

Ao que parece, a melhor solução para preservar uma construção é mantê-la em uso e, naturalmente, o melhor uso é aquele para a qual foi projetada. Assim, a preservação de edifícios residenciais do Plano Piloto depende também de suas condições de uso. Deste ponto de vista as intervenções que contribuíssem para melhoras de conforto interno seriam benéficas também para a preservação do imóvel. Por outro lado estas não deveriam descaracterizar as fachadas. Cria-se então um fato 'polêmico', que deve ser analisado separadamente para cada tipologia, buscando soluções que atendem tanto a questão térmica quanto a preservacionista.

De acordo com os critérios do DOCOMOMO, a tipologia analisada como estudo de caso no presente trabalho não merecia ser rigidamente preservada. No entanto, alguns critérios deveriam ser estabelecidos para diminuir a poluição visual das fachadas. Assim, por exemplo, poderia se permitir a aplicação de um determinado tipo de película, o que ameniza problemas térmicos, mas não de toldos.

### **Estudo de caso**

Para o estudo de caso foi escolhida uma das tipologias mais freqüentes do Plano Piloto, representada por 33 blocos situados na Asa Norte (3,7% dos blocos de 6 pavimentos). O levantamento indicou que todos os blocos da tipologia apresentam nas fachadas películas, 75% toldos e 45% caixas de ar condicionado.

A fachada é composta por janela corrida ocupando 75% da parede externa e implicando maior fragilidade térmica dos ambientes internos. A parte opaca da parede externa se resume à viga de concreto rebocado.

As medições *in loco* de temperatura e umidade, executadas em dois apartamentos com orientações distintas, confirmaram a existência de problemas de conforto térmico. Partiu-se então para as simulações computacionais com o software Ecotect, que permitiram a avaliação de desempenho térmico das modificações propostas e da situação original.

As modificações avaliadas pelo software foram: (1) película refletiva aplicada em toda a extensão da janela, (2) aumento da massa térmica (em 213%) da parte opaca da parede externa, (3) alteração do Window Wall Ratio da fachada principal de 75% para 50% (janela reduzida a 2/3 do tamanho original) e (4) combinação de todas estas alternativas juntas. Para efeito de comparação, a situação original também foi simulada.

Entre as soluções individuais pesquisadas, a película refletiva mostrou-se a mais eficiente para atenuar as altas temperaturas internas. O desempenho da película aproxima-se bastante do desempenho da solução que utiliza a combinação das soluções (película + maior massa térmica + janela menor). A desvantagem do dispositivo seria na época fria do ano, quando detém a entrada de calor solar durante o dia, mas não ajuda a retê-lo no ambiente durante a noite.

A película é principalmente adequada para minimizar os problemas térmicos em edificações existentes, pois é a solução mais fácil de ser implantada e com menor custo. Do ponto de vista estético, é importante que seja aplicada no bloco inteiro ou pelo menos numa fachada completa.

As películas refletivas possuem aspecto espelhado e assim podem não ser apropriadas para os blocos mais antigos com fachadas modernistas. Neste caso, a persiana entre dois vidros poderia ser uma solução adequada tanto para o controle de conforto térmico como luminoso. A solução não é recomendável por razões econômicas para aplicação apenas em um apartamento, mas para o edifício inteiro poderia ser viável.

Como estratégias complementares para os edifícios existentes, que não demandam modificações na fachada, poderiam ser apontados o plantio de árvores de grande porte (para barrar isolamento direta) e o uso de elementos internos de proteção solar com persianas e cortinas.

Embora a massa térmica fosse a estratégia mais recomendada para clima brasiliense teve nas simulações resultados pouco expressivos. Isso se deve à pequena superfície opaca da fachada (apenas 25%) do edifício que serviu para o estudo de caso. O exemplo ilustra que grandes superfícies envidraçadas invalidam o efeito de fechamentos opacos com massa térmica significativa.

As simulações com diminuição do Window Wall Ratio (WWR) de 75 para 50% (redução da janela para 2/3 do tamanho original) demonstraram que os ganhos solares diretos diminuem na mesma proporção, contudo os índices de conforto não melhoram consideravelmente, pois os fechamentos opacos neste caso possuem pouca massa térmica. Todavia, para as construções novas recomenda-se o cuidado na hora de dimensionar as aberturas e dependendo da orientação e tamanho destas, é imprescindível prever um tipo de proteção solar. Grandes panos de vidro mostraram-se desaconselháveis tanto para os dias quentes como para os dias frios.

Segundo a pesquisa de Bannister et al (1998), o WWR de 50% é o limite superior adequado para todos os tipos relevantes das construções em todas as zonas climáticas. Pode-se dizer o mesmo para os edifícios residenciais em Brasília. As paredes externas com mais de 50% de vidro causam desconforto térmico e não são necessárias do ponto de vista luminoso. Ao contrário, os níveis externos de iluminância em Brasília são elevados, demandando uso criterioso da luz natural em ambientes internos. A simulação do modelo com WWR 50% e com película refletiva nas piores condições luminosas externas, isso é, céu totalmente nublado, demonstraram que os níveis internos de iluminância permanecem suficientes.

A modificação que propõe a combinação das três soluções (película + maior massa térmica + janela menor) teve, como esperado, o melhor desempenho para época quente e também um bom desempenho na época fria.

Quanto maior a carga térmica da radiação solar direta, maior o efeito das modificações, que sem a presença da insolação direta têm efeito quase nulo, por vezes até indesejado.

### **Sobre o software utilizado**

Em relação ao programa adotado para a execução do estudo, algumas informações são pertinentes. O software Ecotect 5.20 é um aplicativo integrado que executa simulações térmicas, luminosas, de geometria solar, acústicas, de impacto ambiental e de custos de construção, nem todas utilizadas no presente trabalho. Um dos pontos fortes do programa é a modelagem, que se mostrou rápida e intuitiva, permitindo editar o modelo a qualquer momento.

A parte da simulação térmica é muito complexa, oferecendo inúmeras análises apresentadas por meio de tabelas, gráficos e desenhos em 3D. Todavia, o aplicativo permite a exportação do modelo para outros programas especializados em análise térmica, o que não se mostrou necessário.

O ponto fraco da parte térmica é a ventilação natural, calculada apenas quando as aberturas ficam dos lados opostos ou adjacentes, mas para as aberturas situadas numa só parede o volume de fluxo do ar não é calculado. As correntes internas causadas por convecção também não são consideradas.

As análises luminosas do software são pouco completas. Foi testada a simulação com luz natural, onde é possível simular apenas a luz difusa. No presente trabalho isso se mostrou suficiente, no entanto para simulações mais complexas o aplicativo permite exportar o modelo para softwares especializados.

### **Limitações encontradas e sugestões para trabalhos futuros**

Em relação às simulações computacionais, o programa Ecotect não ofereceu resultados consistentes para modelos com brises ou prateleiras de luz externas. Tratam-se de duas estratégias muito recomendadas para blocos residenciais em Brasília. Portanto, a simulação dos modelos com estes elementos seria uma importante complementação do trabalho.

O impacto e a importância da massa térmica, a estratégia bioclimática mais recomendada, poderiam ser aprofundados em relação aos edifícios residenciais. A simulação desta modificação não foi bem sucedida, pois a área da aplicação da massa térmica era muito pequena – 25% da parede externa. Uma alternativa seria aumentar significativamente esta área para 60%, por exemplo. Outra seria simular também o aumento da massa térmica dos fechamentos internos.

Para o estudo de Window Wall Ratio seria interessante estipular limites recomendáveis para espaços residenciais de diferentes orientações, baseando-se em conceitos de conforto térmico, luminoso e de consumo energético.

São idéias para etapas seguintes de investigação científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHÃO, Carla da Costa Lopes (2003). **Análise de estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/cclachao.pdf>>. Acesso em: 23/09/2004.

AMORIM, Cláudia Naves David (1998). **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: Estudo de caso na região de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – FAU, UnB, Brasília

----- (2002). **Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável**. Parte I do texto “Iluminação Natural e Eficiência Energética”. *P@ranoá* periódico eletrônico de arquitetura e urbanismo, Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília. Disponível em:< [http://www.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/paranoa.htm](http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm)>. Acesso em: 21/09/2003

ARAÚJO, Eliete Pinho de (1999). **Análise pós-ocupação de um edifício comercial em Brasília, aspectos de conforto térmico**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília

AROUCA, M.C. (1982). **Análise da demanda de energia no setor residencial no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ASHRAE (1993). **Handbook of fundamentals**. New York, EUA

BAKER et al. (1998). **Daylighting in architecture**. A European Reference Book. James & James Editors, 1ª edição 1993, Bruxelas

BANNISTER, Paul; GUAN, Lisa; ISAACS, Nigel; PAGE, Ian (1998). **Testing commercial building energy standards**. IPENZ Transactions, Vol. 25, No. 1/EMCh. Disponível em:< <http://www.ipenz.org.nz/ipenz/publications/transactions/Transactions98/emch/4bannister.PDF>> Acesso em: 15/02/2005

BATISTA Geraldo Nogueira; FRANÇA Dionísio A. de; LEITÃO Francisco; FISCHER Sylvia (2003). **Os blocos residenciais das superquadras de Brasília**. Artigo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília.

BEZERRA, Maria do Carmo; FERNANDES, Marlene Allan (coords.) (2000). **Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da agenda 21 Brasileira**. Brasília, MMA/IBMARNR, Consórcio Parceria 21, Edições IBAMA

**BRASÍLIA patrimônio cultural** (2001). Folheto informativo, IPHAN, Ministério da Cultura e Governo Federal, Brasília-DF;

BRUAND, Yves (1991). **Arquitetura contemporânea no Brasil**. Ed. Perspectiva; São Paulo



**BUILDING ENERGY SIMULATION** (2003), Volume 24, number 6, nov/dec 2003; Disponível em:<[http://gundog.lbl.gov/dirun/24n\\_d\\_1.pdf](http://gundog.lbl.gov/dirun/24n_d_1.pdf)>. Acesso em: 18/09/2004

BUTERA Federico M. (1995). **Architettura e Ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici**. Etaslibri, Italia

CANTACUZINO, Sherban (1990). **Principles of protection for the architecture of Modern Movement**. In: DOCOMOMO 1<sup>st</sup> International Conference, Eindhoven University of Technology, Netherlands, p. 32-42.

CARPINTERO, Antônio Carlos Cabral. (1998). **Brasília: prática e teoria urbanística no Brasil, 1956 – 1998**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo

CORATO, Lucas L.; NAKANISHI, Tatiana M.; CARAM, Rosana M. (2001). **Inovações tecnológicas em fachadas transparentes a partir da década de 70**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 11 a 14 de novembro de 2001, São Pedro, SP. ENCAC (Promoção ANTAC)

CORBELA, O. D.; CASTANHEIRA, R. G. (2001). **Sobre a necessidade de proteção solar incidente nas fachadas sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 11 a 14 de novembro de 2001, São Pedro, SP. ENCAC (Promoção ANTAC)

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003). **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro, Ed. Revan

COSTA, Lúcio. (1957) **Relatório do Plano Piloto de Brasília**, Módulo, Rio de Janeiro, edição especial, nº.89/90, Jan/Fev/Mar/Abril 1986. p. 38 - 47.

FERREIRA, Philomena Chagas (1965). **Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, FAU – UnB, Brasília

FLORES, Alice Leite (2004). **Conforto ambiental e eficiência energética em edifícios residenciais: preservação da arquitetura nas superquadras do Plano Piloto – Brasília**. Relatório de pesquisa, Convênio FUB/Eletróbrás, Programa PROCEL Edifica, FAU – UnB, Brasília

FONSECA, Fernando Oliveira (org.)(2001). **Olhares sobre lago Paranoá**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), Brasília.

FRANÇA, Dionísio Alves de (2001). **Blocos residenciais de seis pavimentos em Brasília até 1969**. Ensaio Teórico – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília.

FROTA, Anésia Barros (2004). **Geometria da insolação**. Geros, São Paulo

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos (2001). **Manual de conforto térmico**. 1ª ed. 1987, Studio Nobel, São Paulo.

GALLO, Haroldo; SZABO, Ladislão Pedro (2001). **The natural light in modern architecture: legacy for the tenable development of the built environment**. In: Passive and Low Energy Architecture, nº 18, 2001, Florianópolis, PLEA., p. 173-177

GHISI, Eneidir; LAMBERTS, Roberto; RORIZ, Maurício; PEREIRA, Fernando; SOUZA, Mauricy de (2003) **Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações**. Coletânea Habitare - vol. 3., capítulo 2. Porto Alegre, p.17-41. Disponível em:< <http://habitare.infohab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/113.pdf>> Acesso em: 26/02/2005

GHISI, Eneidir; TINKER, John (2001). **Optimizing energy consumption as a function of window area and room size**. Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, p. 1307-1314.

GILIO, Renata Castilho; PERÉN, Jorge Isaac; CARAM, Rosana M. (2001). **Reflexão da radiação solar em vidros e películas refletivas**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 11 a 14 de novembro de 2001, São Pedro, SP. ENCAC (Promoção ANTAC).

GIVONI, Baruch (1976). **Man, Climate and Architecture**. Israel Institute of Technology, Applied Science Publishers Ltd., 1<sup>st</sup> edition 1969, London

----- (1994). **Passive and low energy cooling of buildings**. Van Nostrand Reinhold, New York

GOROVITZ, Mateus (1991). **Brasília – Sobre a Unidade de Vizinhaça**. In: Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil, nº 4, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, 1995, p. 293 – 302.

GOULART, S., LAMBERTS, R. e FIRMINO, S. (1998). **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras**, 2ª ed., Florianópolis

**IBPSA NEWS** (2003). Jornal eletrônico do IBPSA (International Building Performance Simulation Association); Volume 13, Number 1, spring 2003., Disponível em:< <http://www.ibpsa.org/IBPSANews-13-1r.pdf>> Acesso em: 27/09/2003

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2000). **Daylight in buildings**. A report of IEA SHC Task 21 / ECBCS Annex 29, EUA.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730 (1984). **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**.

KOENIGSBERGER, O H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A. e SZOKOLAY, S.V. (1980). **Manual of Tropical Housing**. 4ª edição, Nova York.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. (1997). **Eficiência energética na arquitetura**. UFSC/Procel/ Eletrobrás, PW Editores

MACIEL, Alexandra Albuquerque (2002). **Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.

MARSH, Andrew John (1997). **Performance analysis and conceptual design**. Dissertação de doutorado, The University of Western Australia School of Architecture and Fine Arts, Australia; Disponível em: <[www.squ1.com/research/papers/thesis/part\\_A.htm](http://www.squ1.com/research/papers/thesis/part_A.htm)>. Acesso em: 25/06/2004

MASCARO, Lúcia R. de (1981). **Luz, clima e arquitetura**. São Paulo, Ed. Tecno.

MENDES, Nathan; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José A. Bellini da (2001). **Building simulation in Brazil**. Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, p. 3-14.

MINDLIN, Henrique E. (1999). **Arquitetura moderna no Brasil**. Ed. Aeroplano, Rio de Janeiro.

OLGYAY, Victor (1998). **Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas**. 1ª ed. 1963, Princeton University Press; Ed. Gustavo Gili, S. A., Barcelona, Espanha

OLGYAY, Victor; OLGAY Aladar (1957) **Solar control and shading devices**. New Jersey, Princeton University

PAPST, Ana Lygia (1999). **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/dissertacao\\_papst.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/dissertacao_papst.pdf)>. Acesso em: 15/01/2005

**PATRIMÔNIO CULTURAL - conhecer, valorizar e preservar** (2003). Cartilha informativa de PRODEMA (Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente e Patrimônio Cultural), Brasília

RIVERA, Roberto (1986). **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª edição revisada e ampliada. 1ª edição 1985, Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores

ROMERO, Marta Adriana Bustos (2000). **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2ª edição, 1ª edição 1988, ProEditores, São Paulo.

----- (2001). **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Ed. UnB

ROBERTS, Andrew; MARSH, Andrew John (2001). **ECOTECT: environmental prediction in architectural education**. Proceedings of 19th ECAADE (Education for Computer Aided Architectural Design in Europe), August 2001, Helsinki, Finland, p. 342-347.

SILVA, Alexandre G. da; SILVA Luiz A. P. da; LAZZARINI, Rafael (2003). **O potencial de utilização do software Ecotect para o projeto arquitetônico no Brasil**. Monografia final - Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (CECACE), Universidade de São Paulo, São Paulo

STAMPER E. (1977). **Weather data**. ASHRAE Journal, fevereiro de 1977.

TAMANINI, Lourenço Fernando (1994). **Brasília, memória da Construção**. Brasília, Royal Court.

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla S. (2004). **Iluminação e Arquitetura**. 1ª ed. 2001, Geros, São Paulo.

**Sites na Internet:**

[http://www.unb.br/fau/pos\\_graduacao/paranoa/paranoa.htm](http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm), consultado em 22/09/2003

<http://www.ecotect.com/ecotect.html>, consultado em 07/10/2003

<http://www.squ1.com>, consultado em 07/10/2003

<http://www.upc.es/aie/catala/publicacions/congressos/cla2000.html>, consultado em 27/11/03

<http://www.docomomo.com/>, consultado em 18/02/2004

<http://www.cnpq.br/noticias/111103.htm>, consultado em 24/10/2004

[http://www.olacefs.gov.br/html/sobr\\_bsb\\_port.htm](http://www.olacefs.gov.br/html/sobr_bsb_port.htm), consultado em 24/10/2004

[http://www.infobrasilia.com.br/bsb\\_h1p.htm#História](http://www.infobrasilia.com.br/bsb_h1p.htm#História), consultado em 24/10/2004

<http://www.archi.fr/DOCOMOMO/index.htm>, consultado em 25/02/2005

<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/bases/texto133.asp>, consultado em 28/02/2005



## Apto. leste-oeste SITUAÇÃO ORIGINAL, 24 de setembro

## SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-271	22.9	21.0			
1	0	0	0	0	-97	22.8	20.0			
2	0	0	0	0	-259	22.6	19.6			
3	0	0	0	0	-242	22.7	20.0			
4	0	0	0	0	-169	22.4	19.0			
5	0	0	0	0	-340	22.2	18.7			
6	4	183	0	0	-307	22.5	18.0	22,5	-0,62	13,17
7	30	1462	0	0	-793	24.8	20.0	24,59	.05	5,08
8	48	2380	0	0	-882	28.3	25.2	28,07	1,21	35,58
9	49	2416	0	0	-344	30.3	27.0	30,05	1,87	70,49
10	105	1894	41	0	11	29.9	28.0	29,66	1,74	63,75
11	170	1047	91	0	122	28.4	29.2	28,2	1,25	37,6
12	269	20	161	280	162	27.1	31.0	26,93	0,83	19,4
13	331	17	193	280	-20	26.9	32.0	26,71	0,75	16,98
14	363	14	218	280	166	27.5	32.5	27,29	0,95	23,96
15	396	11	235	0	485	27.7	33.0	27,49	1,01	26,71
16	330	8	199	0	647	27.8	32.0	27,63	1,06	28,69
17	244	3	140	0	603	27.3	30.7	27,16	0,9	22,27
18	66	0	39	395	224	26.7	28.0	26,54	0,7	15,23
19	0	0	0	395	142	26.1	26.0			
20	0	0	0	395	80	25.6	25.0			
21	0	0	0	395	91	25.1	23.0			
22	0	0	0	395	-37	24.5	22.0			
23	0	0	0	0	85	23.2	20.0			
total:	2404	9454	1316	2816	-941					

## SUÍTE oeste (azim.252°)+

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-276	24.0	21.0			
1	0	0	0	140	-205	23.6	20.0			
2	0	0	0	140	-269	23.7	19.6			
3	0	0	0	140	-250	23.9	20.0			
4	0	0	0	140	-232	23.4	19.0			
5	0	0	0	140	-295	23.4	18.7			
6	0	3	0	140	-258	23.4	18.0	23,35	-0,36	7,69
7	0	10	0	140	-243	23.6	20.0	23,52	-0,3	6,91
8	1	12	0	140	-64	25.7	25.2	25,6	0,38	7,94
9	1	13	0	0	283	27.1	27.0	26,99	0,84	19,76
10	38	13	21	0	358	27.2	28.0	27,04	0,85	20,33
11	83	14	47	0	245	27.0	29.2	26,9	0,81	18,69
12	151	26	83	0	114	27.0	31.0	26,84	0,79	18,01
13	193	160	100	0	-37	27.1	32.0	26,98	0,83	19,55
14	219	548	113	0	-97	28.4	32.5	28,28	1,26	38,28
15	241	851	122	0	-84	29.6	33.0	29,5	1,67	60,26
16	204	776	103	0	35	29.6	32.0	29,46	1,66	59,45
17	144	273	72	0	172	27.9	30.7	27,84	1,12	31,22
18	38	0	20	132	105	26.7	28.0	26,55	0,69	15,04
19	0	0	0	132	51	26.2	26.0			
20	0	0	0	132	4	25.7	25.0			
21	0	0	0	132	-15	25.1	23.0			
22	0	0	0	272	-131	25.0	22.0			
23	0	0	0	140	-120	23.9	20.0			
total:	1314	2699	681	2202	-1210					

Tabela A.1: Dados simulados, apto. leste-oeste – situação original, dia 24/09

### Apto. leste-oeste COM PELÍCULA REFLETIVA INCOLOR, 24 de setembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-338	23.2	21.0			
1	0	0	0	0	-164	23.1	20.0			
2	0	0	0	0	-325	22.9	19.6			
3	0	0	0	0	-308	23.0	20.0			
4	0	0	0	0	-235	22.7	19.0			
5	0	0	0	0	-407	22.5	18.7			
6	4	90	0	0	-342	22.7	18.0	22,69	-0,58	12,06
7	30	715	0	0	-612	23.9	20.0	23,81	-0,22	5,99
8	48	1165	0	0	-544	26.7	25.2	26,56	0,68	14,86
9	49	1182	0	0	-1	28.6	27.0	28,5	1,33	41,87
10	105	927	41	0	266	28.6	28.0	28,53	1,34	42,39
11	170	512	91	0	233	27.9	29.2	27,75	1,08	29,6
12	269	10	161	280	99	27.4	31.0	27,31	0,93	23,39
13	331	8	193	280	-84	27.2	32.0	27,09	0,86	20,68
14	363	7	218	280	101	27.8	32.5	27,68	1,05	28,46
15	396	5	235	0	420	28.0	33.0	27,88	1,12	31,54
16	330	4	199	0	582	28.1	32.0	28,02	1,17	33,78
17	244	1	140	0	537	27.7	30.7	27,56	1,02	26,77
18	66	0	39	395	158	27.0	28.0	26,93	0,81	18,81
19	0	0	0	395	75	26.4	26.0			
20	0	0	0	395	13	26.0	25.0			
21	0	0	0	395	24	25.4	23.0			
22	0	0	0	395	-104	24.9	22.0			
23	0	0	0	0	18	23.6	20.0			
<b>total:</b>	<b>2404</b>	<b>4626</b>	<b>1316</b>	<b>2816</b>	<b>-938</b>					

#### SUITE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-296	24.1	21.0			
1	0	0	0	140	-225	23.7	20.0			
2	0	0	0	140	-289	23.8	19.6			
3	0	0	0	140	-270	24.0	20.0			
4	0	0	0	140	-253	23.5	19.0			
5	0	0	0	140	-315	23.6	18.7			
6	0	1	0	140	-278	23.6	18.0	23,55	-0,31	7,01
7	0	5	0	140	-261	23.7	20.0	23,72	-0,26	6,37
8	1	6	0	140	-82	25.8	25.2	25,8	0,42	8,72
9	1	6	0	0	265	27.2	27.0	27,19	0,88	21,45
10	38	6	21	0	340	27.3	28.0	27,24	0,9	22,04
11	83	7	47	0	227	27.1	29.2	27,1	0,85	20,3
12	151	13	83	0	98	27.1	31.0	27,02	0,83	19,4
13	193	78	100	0	-28	27.0	32.0	27	0,82	19,16
14	219	268	113	0	-18	27.9	32.5	27,85	1,1	30,5
15	241	417	122	0	50	28.8	33.0	28,72	1,39	45,03
16	204	380	103	0	155	28.8	32.0	28,77	1,41	45,81
17	144	134	72	0	201	27.8	30.7	27,73	1,06	28,73
18	38	0	20	132	85	26.8	28.0	26,77	0,74	16,59
19	0	0	0	132	31	26.3	26.0			
20	0	0	0	132	-16	25.9	25.0			
21	0	0	0	132	-35	25.2	23.0			
22	0	0	0	272	-152	25.2	22.0			
23	0	0	0	140	-140	24.0	20.0			
<b>total:</b>	<b>1314</b>	<b>1321</b>	<b>681</b>	<b>2202</b>	<b>-1208</b>					

Tabela A.2: Dados simulados, apto. leste-oeste – com película refletiva incolor, dia 24/09

### Apto. leste-oeste COM MAIOR MASSA TÉRMICA, 24 de setembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-275	22.9	21.0			
1	0	0	0	0	-102	22.8	20.0			
2	0	0	0	0	-263	22.6	19.6			
3	0	0	0	0	-246	22.7	20.0			
4	0	0	0	0	-174	22.4	19.0			
5	0	0	0	0	-346	22.2	18.7			
6	0	183	0	0	-312	22.5	18.0	22,56	-0,61	12,92
7	0	1462	0	0	-785	24.7	20.0	24,59	0,05	5,05
8	0	2380	0	0	-855	28.2	25.2	28	1,17	33,8
9	0	2416	0	0	-314	30.1	27.0	29,94	1,82	68,15
10	62	1894	41	0	39	29.7	28.0	29,56	1,69	61,41
11	137	1047	91	0	144	28.3	29.2	28,12	1,21	35,85
12	251	20	161	280	179	27.0	31.0	26,88	0,8	18,46
13	323	17	193	280	-6	26.8	32.0	26,67	0,73	16,27
14	361	14	218	280	177	27.4	32.5	27,27	0,93	23,22
15	393	11	235	0	495	27.6	33.0	27,47	1	25,92
16	328	8	198	0	657	27.7	32.0	27,61	1,04	27,86
17	241	3	140	0	613	27.3	30.7	27,14	0,89	21,57
18	70	0	39	395	232	26.7	28.0	26,53	0,68	14,87
19	7	0	0	395	146	26.0	26.0			
20	8	0	0	395	82	25.6	25.0			
21	8	0	0	395	89	25.1	23.0			
22	7	0	0	395	-40	24.5	22.0			
23	5	0	0	0	78	23.3	20.0			
total:	2201	9454	1316	2816	-787					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-277	24.0	21.0			
1	0	0	0	140	-207	23.6	20.0			
2	0	0	0	140	-270	23.7	19.6			
3	0	0	0	140	-251	23.9	20.0			
4	0	0	0	140	-234	23.4	19.0			
5	0	0	0	140	-296	23.5	18.7			
6	0	4	0	140	-260	23.5	18.0	23,39	-0,35	7,57
7	0	16	0	140	-245	23.6	20.0	23,56	-0,3	6,82
8	0	18	0	140	-62	25.7	25.2	25,6	0,37	7,85
9	0	19	0	0	286	27.1	27.0	26,98	0,82	19,31
10	36	19	21	0	363	27.1	28.0	27,02	0,84	19,79
11	78	21	47	0	251	27.0	29.2	26,87	0,79	18,15
12	143	39	83	0	119	26.9	31.0	26,82	0,77	17,56
13	178	171	100	0	-29	27.0	32.0	26,95	0,81	18,96
14	196	557	113	0	-85	28.3	32.5	28,23	1,24	37,11
15	214	859	122	0	-69	29.5	33.0	29,43	1,64	58,64
16	179	781	103	0	49	29.5	32.0	29,39	1,63	57,85
17	134	275	72	0	179	27.9	30.7	27,8	1,1	30,35
18	39	0	20	132	109	26.6	28.0	26,55	0,68	14,75
19	6	0	0	132	52	26.1	26.0			
20	10	0	0	132	3	25.7	25.0			
21	12	0	0	132	-18	25.1	23.0			
22	10	0	0	272	-134	25.0	22.0			
23	5	0	0	140	-124	23.9	20.0			
total:	1241	2779	681	2202	-1150					

Tabela A.3: Dados simulados, apto. leste-oeste – com maior massa térmica, dia 24/09



## Apto. leste-oeste COM WWR 50%, 24 de setembro

## SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-366	23.4	21.0			
1	0	0	0	0	-204	23.4	20.0			
2	0	0	0	0	-359	23.1	19.6			
3	0	0	0	0	-341	23.3	20.0			
4	0	0	0	0	-279	23.0	19.0			
5	0	0	0	0	-445	22.7	18.7			
6	9	121	0	0	-394	23.0	18.0	22,99	-0,47	9,68
7	67	969	0	0	-753	24.6	20.0	24,49	0,01	5,01
8	108	1580	0	0	-723	27.6	25.2	27,42	0,98	25,25
9	111	1604	0	0	-168	29.5	27.0	29,35	1,62	57,6
10	142	1256	41	0	132	29.4	28.0	29,25	1,59	55,71
11	171	691	91	0	164	28.3	29.2	28,15	1,22	36,37
12	222	0	161	280	111	27.5	31.0	27,32	0,95	23,98
13	263	0	193	280	-69	27.2	32.0	27,08	0,87	20,89
14	288	0	218	280	118	27.8	32.5	27,67	1,06	28,79
15	314	0	235	0	441	28.0	33.0	27,88	1,13	31,93
16	261	0	198	0	599	28.2	32.0	28,05	1,19	34,67
17	193	0	140	0	548	27.7	30.7	27,61	1,04	27,87
18	52	0	39	395	154	27.2	28.0	27,03	0,85	20,23
19	0	0	0	395	66	26.5	26.0			
20	0	0	0	395	-1	26.1	25.0			
21	0	0	0	395	-2	25.6	23.0			
22	0	0	0	395	-133	25.1	22.0			
23	0	0	0	0	-22	23.8	20.0			
total:	2199	6222	1316	2816	-1925					

## SUITE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-330	24.4	21.0			
1	0	0	0	140	-273	24.1	20.0			
2	0	0	0	140	-326	24.2	19.6			
3	0	0	0	140	-306	24.3	20.0			
4	0	0	0	140	-301	23.9	19.0			
5	0	0	0	140	-355	23.9	18.7			
6	0	2	0	140	-319	23.9	18.0	23,94	-0,19	5,78
7	2	7	0	140	-306	24.1	20.0	24,12	-0,13	5,37
8	2	8	0	140	-102	26.1	25.2	26,06	0,5	10,26
9	2	8	0	0	260	27.4	27.0	27,39	0,94	23,81
10	31	9	21	0	326	27.5	28.0	27,52	0,98	25,47
11	65	9	47	0	216	27.3	29.2	27,34	0,93	23,15
12	119	18	83	0	90	27.2	31.0	27,23	0,89	21,7
13	157	107	100	0	-44	27.3	32.0	27,25	0,9	21,95
14	187	365	113	0	-63	28.3	32.5	28,28	1,24	37,13
15	213	568	122	0	-18	29.3	33.0	29,31	1,58	55,34
16	179	517	103	0	92	29.3	32.0	29,34	1,59	55,85
17	119	182	73	0	174	28.1	30.7	28,07	1,17	33,7
18	29	0	20	132	70	27.0	28.0	27,02	0,82	19,17
19	0	0	0	132	14	26.5	26.0			
20	0	0	0	132	-38	26.1	25.0			
21	0	0	0	132	-67	25.6	23.0			
22	0	0	0	272	-187	25.5	22.0			
23	0	0	0	140	-188	24.4	20.0			
total:	1104	1799	682	2202	-1979					

Tabela A.4: Dados simulados, apto. leste-oeste – com WWR 50%, dia 24/09

### Apto. leste-oeste COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES, 24 de setembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-416	23.6	21.0			
1	0	0	0	0	-257	23.6	20.0			
2	0	0	0	0	-410	23.3	19.6			
3	0	0	0	0	-391	23.5	20.0			
4	0	0	0	0	-331	23.3	19.0			
5	0	0	0	0	-496	23.0	18.7			
6	0	59	0	0	-426	23.1	18.0	23,15	-0,44	9
7	0	474	0	0	-610	23.9	20.0	23,89	-0,2	5,83
8	0	773	0	0	-439	26.2	25.2	26,15	0,54	11,17
9	0	785	0	0	127	28.1	27.0	27,99	1,15	32,97
10	44	615	41	0	361	28.3	28.0	28,18	1,22	36,02
11	98	338	91	0	285	27.7	29.2	27,6	1,02	27,06
12	181	0	161	280	105	27.4	31.0	27,37	0,95	23,98
13	248	0	193	280	-80	27.2	32.0	27,17	0,88	21,31
14	286	0	218	280	99	27.9	32.5	27,78	1,08	29,74
15	310	0	235	0	418	28.1	33.0	27,98	1,15	32,82
16	260	0	198	0	575	28.2	32.0	28,16	1,21	35,57
17	193	0	140	0	523	27.8	30.7	27,72	1,06	28,8
18	61	0	39	395	126	27.2	28.0	27,18	0,88	21,43
19	16	0	0	395	31	26.7	26.0			
20	17	0	0	395	-40	26.3	25.0			
21	18	0	0	395	-48	25.8	23.0			
22	15	0	0	395	-181	25.3	22.0			
23	11	0	0	0	-79	24.1	20.0			
<b>total:</b>	<b>1759</b>	<b>3045</b>	<b>1316</b>	<b>2816</b>	<b>-1553</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-350	24.5	21.0			
1	0	0	0	140	-295	24.3	20.0			
2	0	0	0	140	-347	24.3	19.6			
3	0	0	0	140	-327	24.4	20.0			
4	0	0	0	140	-324	24.1	19.0			
5	0	0	0	140	-376	24.1	18.7			
6	0	1	0	140	-341	24.1	18.0	24,1	-0,14	5,43
7	0	3	0	140	-323	24.2	20.0	24,25	-0,1	5,19
8	0	4	0	140	-106	26.1	25.2	26,08	0,51	10,39
9	0	4	0	0	259	27.4	27.0	27,37	0,93	23,38
10	24	4	21	0	326	27.5	28.0	27,47	0,97	24,77
11	52	4	47	0	219	27.3	29.2	27,29	0,91	22,36
12	95	9	83	0	100	27.1	31.0	27,15	0,86	20,6
13	119	52	100	0	-14	27.0	32.0	27,05	0,83	19,41
14	131	179	113	0	19	27.7	32.5	27,75	1,06	28,58
15	143	278	122	0	107	28.5	33.0	28,49	1,31	40,56
16	121	253	103	0	203	28.6	32.0	28,6	1,34	42,45
17	93	89	73	0	209	27.8	30.7	27,82	1,08	29,69
18	33	0	20	132	62	27.0	28.0	27,05	0,83	19,48
19	15	0	0	132	0	26.6	26.0			
20	22	0	0	132	-57	26.2	25.0			
21	27	0	0	132	-92	25.7	23.0			
22	24	0	0	272	-212	25.6	22.0			
23	12	0	0	140	-214	24.6	20.0			
<b>total:</b>	<b>912</b>	<b>881</b>	<b>682</b>	<b>2202</b>	<b>-1875</b>					

Tabela A.5: Dados simulados, apto. leste-oeste – combinação das soluções, dia 24/09

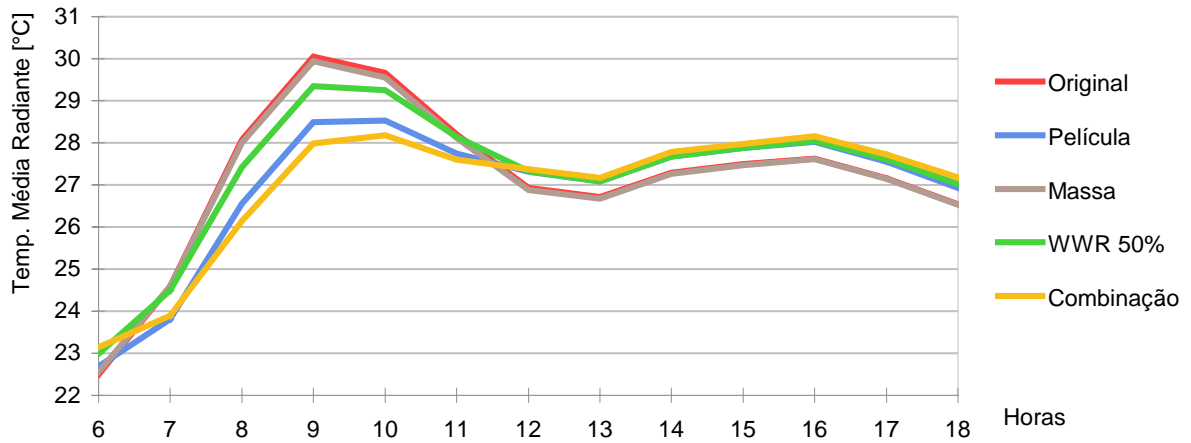


Gráfico A.1 - Temperatura Média Radiante; sala leste, dia 24/09

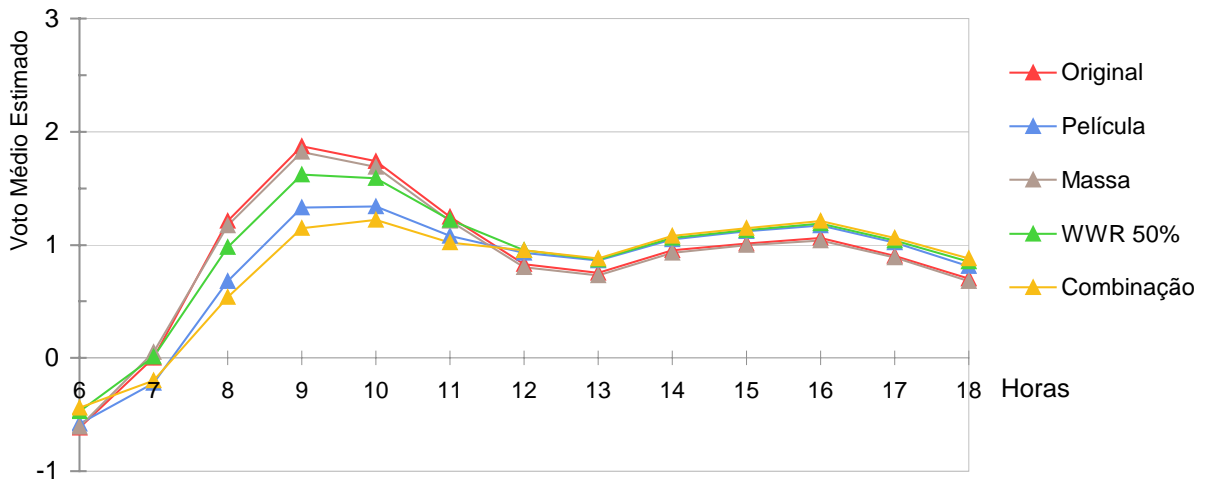


Gráfico A.2 - Voto Médio Estimado; sala leste, dia 24/09

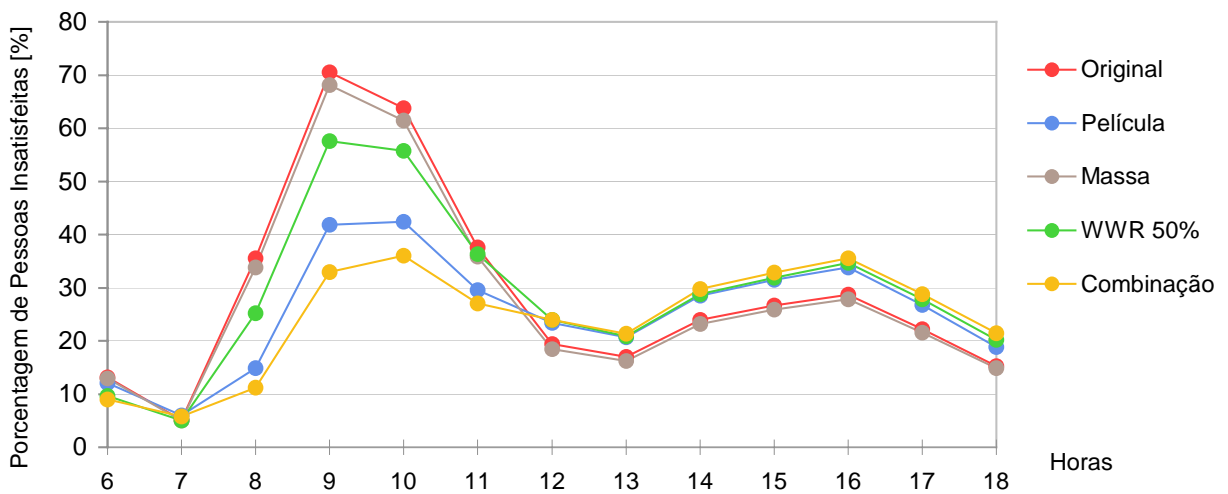


Gráfico A.3 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala leste, dia 24/09

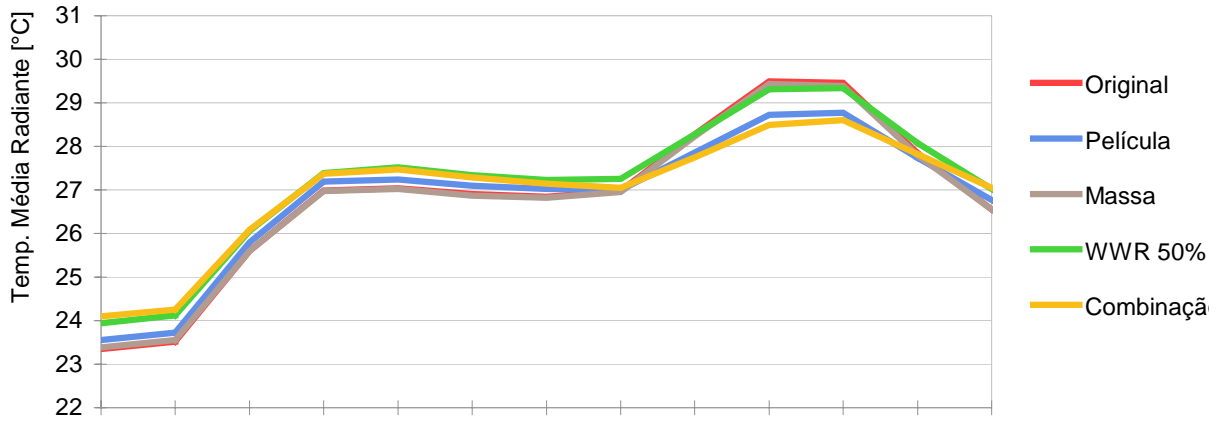


Gráfico A.4 - Temperatura Média Radiante; suíte oeste, dia 24/09

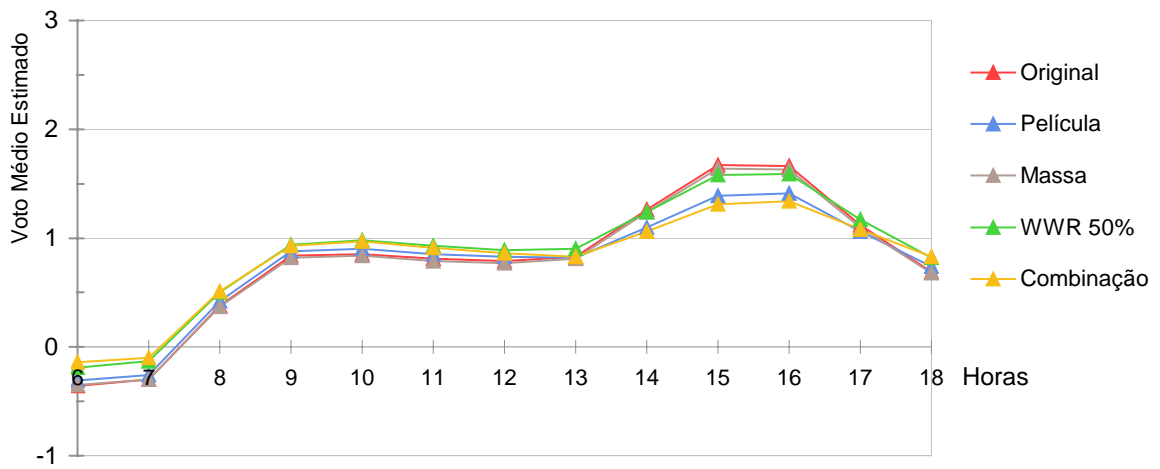


Gráfico A.5 - Voto Médio Estimado; suíte oeste, dia 24/09

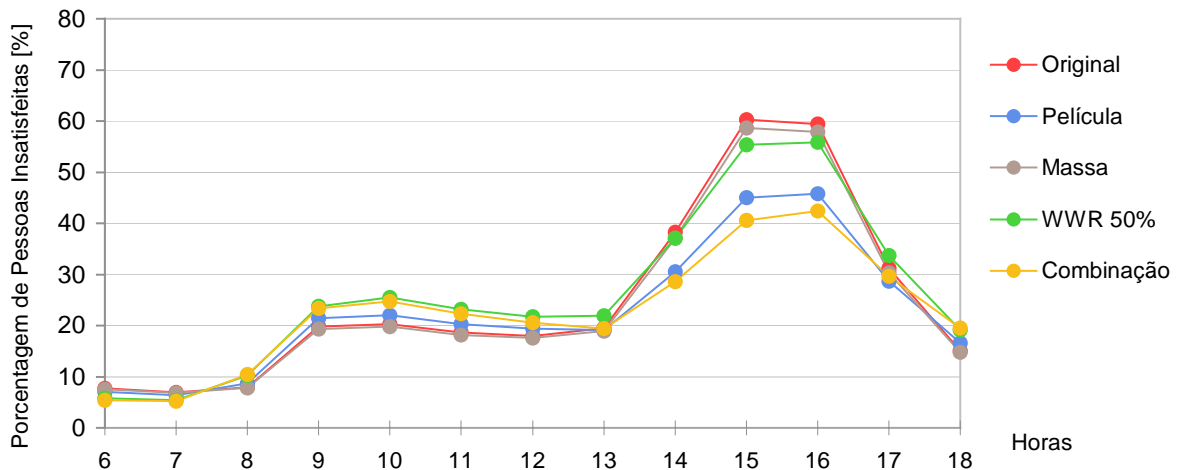


Gráfico A.6 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte oeste, dia 24/09



### Apto. norte-sul SITUAÇÃO ORIGINAL, 24 de setembro

#### SALA sul (azim.162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-261	23.7	21.0			
1	0	0	0	0	-87	23.6	20.0			
2	0	0	0	0	-249	23.4	19.6			
3	0	0	0	0	-232	23.5	20.0			
4	0	0	0	0	-159	23.2	19.0			
5	0	0	0	0	-330	22.9	18.7			
6	1	51	0	0	-253	23.1	18.0	23,12	-0,45	9,31
7	7	282	0	0	-424	23.6	20.0	23,55	-0,32	7,07
8	9	237	0	0	-474	24.8	25.2	24,81	0,09	5,18
9	2	9	0	0	-110	25.8	27.0	25,74	0,4	8,31
10	67	10	41	0	-1	26.0	28.0	26,01	0,49	10,02
11	146	10	91	0	-34	26.3	29.2	26,25	0,57	11,76
12	265	20	161	280	-21	27.4	31.0	27,4	0,95	24,06
13	331	17	193	280	76	27.9	32.0	27,85	1,1	30,33
14	363	14	218	280	243	28.4	32.5	28,38	1,27	38,97
15	396	11	235	0	423	28.3	33.0	28,25	1,23	36,79
16	330	8	199	0	474	28.2	32.0	28,13	1,19	34,77
17	244	3	140	0	424	27.7	30.7	27,65	1,03	27,38
18	66	0	39	395	173	27.4	28.0	27,33	0,92	23,05
19	0	0	0	395	162	26.9	26.0			
20	0	0	0	395	86	26.4	25.0			
21	0	0	0	395	83	25.8	23.0			
22	0	0	0	395	-47	25.3	22.0			
23	0	0	0	0	88	24.0	20.0			
total:	2227	673	1316	2816	-449					

#### SUITE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-208	24.2	21.0			
1	0	0	0	140	-137	23.8	20.0			
2	0	0	0	140	-202	23.9	19.6			
3	0	0	0	140	-182	24.1	20.0			
4	0	0	0	140	-165	23.6	19.0			
5	0	0	0	140	-228	23.7	18.7			
6	0	3	0	140	-194	23.7	18.0	23,6	-0,29	6,73
7	0	10	0	140	-228	23.7	20.0	23,6	-0,28	6,69
8	1	12	0	140	-224	25.1	25.2	25,07	0,19	5,75
9	1	13	0	0	-17	26.0	27.0	25,97	0,49	9,98
10	41	13	21	0	36	26.0	28.0	25,94	0,48	9,77
11	90	246	47	0	-56	26.8	29.2	26,7	0,73	16,25
12	159	306	83	0	-8	27.5	31.0	27,45	0,98	25,25
13	199	453	100	0	-1	28.3	32.0	28,19	1,22	36,35
14	219	522	113	0	49	28.8	32.5	28,73	1,4	45,74
15	237	526	122	0	95	29.1	33.0	29	1,49	50,54
16	196	363	103	0	176	28.6	32.0	28,5	1,33	41,66
17	141	100	72	0	211	27.5	30.7	27,39	0,96	24,36
18	38	0	20	132	138	26.8	28.0	26,7	0,73	16,25
19	0	0	0	132	122	26.4	26.0			
20	0	0	0	132	71	26.0	25.0			
21	0	0	0	132	49	25.3	23.0			
22	0	0	0	272	-68	25.2	22.0			
23	0	0	0	140	-54	24.1	20.0			
total:	1321	2568	681	2202	-1024					

Tabela B.1: Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 24/09

### Apto. norte-sul COM PELÍCULA REFLETIVA INCOLOR, 24 de setembro

#### SALA sul (azim.162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-266	23.7	21.0			
1	0	0	0	0	-91	23.6	20.0			
2	0	0	0	0	-253	23.4	19.6			
3	0	0	0	0	-236	23.5	20.0			
4	0	0	0	0	-163	23.2	19.0			
5	0	0	0	0	-335	23.0	18.7			
6	1	25	0	0	-249	23.1	18.0	23,09	-0,46	9,51
7	7	138	0	0	-380	23.3	20.0	23,34	-0,38	8,05
8	9	116	0	0	-439	24.6	25.2	24,63	0,04	5,03
9	2	5	0	0	-113	25.8	27.0	25,74	0,4	9,38
10	67	5	41	0	-4	26.0	28.0	26,02	0,49	10,11
11	146	5	91	0	-37	26.3	29.2	26,26	0,57	11,86
12	265	10	161	280	-22	27.4	31.0	27,4	0,95	24,11
13	331	8	193	280	74	27.9	32.0	27,85	1,1	30,43
14	363	7	218	280	241	28.4	32.5	28,39	1,28	39,12
15	396	5	235	0	420	28.3	33.0	28,36	1,23	36,98
16	330	4	199	0	471	28.2	32.0	28,14	1,19	35
17	244	1	140	0	420	27.7	30.7	27,66	1,03	27,62
18	66	0	39	395	168	27.4	28.0	27,34	0,93	23,31
19	0	0	0	395	157	26.9	26.0			
20	0	0	0	395	81	26.4	25.0			
21	0	0	0	395	79	25.8	23.0			
22	0	0	0	395	-51	25.3	22.0			
23	0	0	0	0	83	24.0	20.0			
total:	2227	329	1316	2816	-447					

#### SUITE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-228	24.3	21.0			
1	0	0	0	140	-157	24.0	20.0			
2	0	0	0	140	-221	24.1	19.6			
3	0	0	0	140	-202	24.2	20.0			
4	0	0	0	140	-184	23.7	19.0			
5	0	0	0	140	-247	23.8	18.7			
6	0	1	0	140	-212	23.8	18.0	23,72	-0,25	6,29
7	0	5	0	140	-246	23.8	20.0	23,72	-0,25	6,28
8	1	6	0	140	-241	25.2	25.2	25,18	0,23	6,07
9	1	6	0	0	-34	26.1	27.0	26,08	0,52	10,77
10	41	6	21	0	19	26.1	28.0	26,05	0,51	10,54
11	90	120	47	0	-31	26.6	29.2	26,55	0,68	14,66
12	159	150	83	0	29	27.3	31.0	27,23	0,9	22,21
13	199	222	100	0	61	27.9	32.0	27,79	1,09	29,99
14	219	256	113	0	125	28.3	32.5	28,26	1,24	37,38
15	237	257	122	0	170	28.6	33.0	28,52	1,33	41,85
16	196	178	103	0	223	28.3	32.0	28,21	1,23	36,62
17	141	49	72	0	210	27.5	30.7	27,4	0,96	24,49
18	38	0	20	132	119	26.9	28.0	26,84	0,77	17,58
19	0	0	0	132	102	26.5	26.0			
20	0	0	0	132	52	26.1	25.0			
21	0	0	0	132	30	25.4	23.0			
22	0	0	0	272	-87	25.4	22.0			
23	0	0	0	140	-74	24.3	20.0			
total:	1321	1257	681	2202	-1024					

Tabela B.2: Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 24/09

### Apto. norte-sul COM MAIOR MASSA TÉRMICA, 24 de setembro

#### SALA sul (azim.162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-264	23.7	21.0			
1	0	0	0	0	-91	23.6	20.0			
2	0	0	0	0	-252	23.4	19.6			
3	0	0	0	0	-235	23.5	20.0			
4	0	0	0	0	-163	23.2	19.0			
5	0	0	0	0	-335	23.0	18.7			
6	0	55	0	0	-259	23.1	18.0	23,18	-0,44	9,06
7	0	298	0	0	-428	23.6	20.0	23,6	-0,3	6,92
8	0	256	0	0	-472	24.8	25.2	24,82	0,09	5,18
9	0	28	0	0	-106	25.7	27.0	25,74	0,4	8,26
10	62	29	41	0	3	26.0	28.0	26,01	0,49	9,92
11	137	31	91	0	-28	26.2	29.2	26,24	0,56	11,6
12	250	60	161	280	-17	27.4	31.0	27,4	0,95	23,92
13	315	50	193	280	82	27.9	32.0	27,84	1,09	30
14	347	43	218	280	249	28.4	32.5	28,37	1,27	38,53
15	376	33	235	0	431	28.2	33.0	28,23	1,22	36,17
16	314	24	198	0	483	28.1	32.0	28,1	1,18	34,1
17	234	8	140	0	433	27.6	30.7	27,61	1,02	26,8
18	68	0	39	395	181	27.3	28.0	27,31	0,91	22,64
19	7	0	0	395	166	26.9	26.0			
20	7	0	0	395	88	26.4	25.0			
21	8	0	0	395	83	25.8	23.0			
22	7	0	0	395	-49	25.3	22.0			
23	5	0	0	0	82	24.0	20.0			
<b>total:</b>	<b>2138</b>	<b>916</b>	<b>1316</b>	<b>2816</b>	<b>-419</b>					

#### SUITE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-211	24.2	21.0			
1	0	0	0	140	-141	23.9	20.0			
2	0	0	0	140	-204	24.0	19.6			
3	0	0	0	140	-185	24.1	20.0			
4	0	0	0	140	-168	23.6	19.0			
5	0	0	0	140	-230	23.7	18.7			
6	0	3	0	140	-197	23.7	18.0	23,6	-0,28	6,66
7	0	10	0	140	-230	23.7	20.0	23,6	-0,28	6,66
8	0	12	0	140	-220	25.1	25.2	25,02	0,18	5,68
9	0	13	0	0	-12	26.0	27.0	25,91	0,47	9,68
10	36	13	21	0	42	26.0	28.0	25,87	0,46	9,43
11	78	246	47	0	-47	26.7	29.2	26,62	0,71	15,52
12	142	306	83	0	4	27.4	31.0	27,35	0,95	24,03
13	178	453	100	0	12	28.2	32.0	28,07	1,19	34,68
14	196	522	113	0	63	28.7	32.5	28,62	1,37	43,94
15	213	526	122	0	108	29.0	33.0	28,88	1,46	48,7
16	180	363	103	0	186	28.5	32.0	28,4	1,3	40,2
17	136	100	72	0	216	27.4	30.7	27,32	0,94	23,67
18	42	0	20	132	140	26.8	28.0	26,66	0,72	15,94
19	9	0	0	132	121	26.4	26.0			
20	9	0	0	132	69	26.0	25.0			
21	10	0	0	132	45	25.3	23.0			
22	7	0	0	272	-72	25.3	22.0			
23	4	0	0	140	-59	24.2	20.0			
<b>total:</b>	<b>1240</b>	<b>2568</b>	<b>681</b>	<b>2202</b>	<b>-971</b>					

Tabela B.3: Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 24/09



## Apto. norte-sul COM WWR 50%, 24 de setembro

## SALA sul (azim.162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-306	23.9	21.0			
1	0	0	0	0	-143	23.9	20.0			
2	0	0	0	0	-299	23.6	19.6			
3	0	0	0	0	-280	23.8	20.0			
4	0	0	0	0	-218	23.6	19.0			
5	0	0	0	0	-384	23.2	18.7			
6	3	33	0	0	-303	23.4	18.0	23,36	-0,37	7,83
7	18	183	0	0	-450	23.7	20.0	23,67	-0,27	6,49
8	20	152	0	0	-476	24.9	25.2	24,81	0,1	5,22
9	8	0	0	0	-119	25.9	27.0	25,8	0,43	8,86
10	54	0	41	0	-15	26.2	28.0	26,1	0,53	10,88
11	116	0	91	0	-43	26.4	29.2	26,31	0,6	12,53
12	212	0	161	280	-23	27.5	31.0	27,44	0,97	24,88
13	263	0	193	280	78	28.0	32.0	27,87	1,11	31,16
14	288	0	218	280	246	28.5	32.5	28,41	1,29	39,98
15	314	0	235	0	429	28.4	33.0	28,28	1,25	37,72
16	261	0	198	0	476	28.3	32.0	28,18	1,22	36,1
17	193	0	140	0	419	27.8	30.7	27,73	1,06	28,94
18	52	0	39	395	153	27.5	28.0	27,46	0,98	25,19
19	0	0	0	395	136	27.1	26.0			
20	0	0	0	395	55	26.6	25.0			
21	0	0	0	395	41	26.1	23.0			
22	0	0	0	395	-93	25.6	22.0			
23	0	0	0	0	31	24.4	20.0			
total:	1802	367	1316	2816	-1090					

## SUITE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-262	24.6	21.0			
1	0	0	0	140	-204	24.4	20.0			
2	0	0	0	140	-258	24.4	19.6			
3	0	0	0	140	-238	24.5	20.0			
4	0	0	0	140	-233	24.1	19.0			
5	0	0	0	140	-287	24.1	18.7			
6	0	2	0	140	-254	24.2	18.0	24,05	-0,13	5,38
7	2	7	0	140	-291	24.2	20.0	24,06	-0,13	5,35
8	2	8	0	140	-260	25.5	25.2	25,36	0,29	6,81
9	2	8	0	0	-39	26.3	27.0	26,19	0,57	11,79
10	37	9	21	0	3	26.3	28.0	26,23	0,58	12,15
11	82	164	47	0	-62	26.9	29.2	26,82	0,78	17,78
12	135	204	83	0	-2	27.6	31.0	27,5	1	26,31
13	170	302	100	0	22	28.2	32.0	28,13	1,21	35,78
14	186	348	113	0	81	28.7	32.5	28,62	1,38	44,28
15	200	351	122	0	128	29.0	33.0	28,88	1,46	48,92
16	163	242	103	0	191	28.6	32.0	28,51	1,34	42,33
17	112	64	73	0	197	27.7	30.7	27,58	1,03	27,44
18	29	0	20	132	103	27.1	28.0	27,03	0,85	20,1
19	0	0	0	132	85	26.8	26.0			
20	0	0	0	132	30	26.4	25.0			
21	0	0	0	132	-2	25.8	23.0			
22	0	0	0	272	-123	25.7	22.0			
23	0	0	0	140	-121	24.7	20.0			
total:	1118	1709	682	2202	-1796					

Tabela B.4: Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 24/09

### Apto. norte-sul COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES, 24 de setembro

#### SALA sul (azim.162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-324	24.0	21.0			
1	0	0	0	0	-164	24.0	20.0			
2	0	0	0	0	-317	23.7	19.6			
3	0	0	0	0	-298	23.9	20.0			
4	0	0	0	0	-239	23.7	19.0			
5	0	0	0	0	-404	23.4	18.7			
6	0	16	0	0	-319	23.5	18.0	23,48	-0,34	7,39
7	0	90	0	0	-427	23.6	20.0	23,63	-0,29	6,77
8	0	74	0	0	-440	24.7	25.2	24,71	0,06	5,07
9	0	0	0	0	-109	25.8	27.0	25,8	0,42	8,64
10	44	0	41	0	-3	26.1	28.0	26,08	0,51	10,5
11	98	0	91	0	-26	26.3	29.2	26,28	0,58	11,98
12	179	0	161	280	4	27.4	31.0	27,35	0,93	23,36
13	229	0	193	280	103	27.8	32.0	27,79	1,07	29,39
14	252	0	218	280	267	28.4	32.5	28,34	1,26	38,12
15	270	0	235	0	450	28.2	33.0	28,2	1,21	35,81
16	226	0	198	0	493	28.1	32.0	28,11	1,18	34,45
17	172	0	140	0	430	27.7	30.7	27,69	1,04	27,9
18	58	0	39	395	157	27.5	28.0	27,47	0,97	24,91
19	16	0	0	395	133	27.1	26.0			
20	17	0	0	395	48	26.7	25.0			
21	18	0	0	395	27	26.2	23.0			
22	15	0	0	395	-109	25.7	22.0			
23	11	0	0	0	6	24.5	20.0			
<b>total:</b>	<b>1605</b>	<b>180</b>	<b>1316</b>	<b>2816</b>	<b>-1061</b>					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-281	24.8	21.0			
1	0	0	0	140	-226	24.5	20.0			
2	0	0	0	140	-279	24.5	19.6			
3	0	0	0	140	-258	24.7	20.0			
4	0	0	0	140	-255	24.3	19.0			
5	0	0	0	140	-307	24.3	18.7			
6	0	1	0	140	-276	24.3	18.0	24,26	-0,08	5,14
7	0	3	0	140	-307	24.3	20.0	24,24	-0,09	5,16
8	0	4	0	140	-264	25.5	25.2	25,46	0,13	6,99
9	0	4	0	0	-40	26.3	27.0	26,24	0,57	11,85
10	24	4	21	0	5	26.3	28.0	26,27	0,58	12,04
11	52	80	47	0	-24	26.7	29.2	26,63	0,7	15,26
12	95	100	83	0	49	27.3	31.0	27,23	0,9	21,96
13	119	148	100	0	94	27.7	32.0	27,71	1,05	28,47
14	131	170	113	0	161	28.2	32.5	28,16	1,2	35,4
15	143	172	122	0	208	28.4	33.0	28,41	1,29	39,65
16	124	118	103	0	244	28.2	32.0	28,21	1,22	36,25
17	100	31	73	0	206	27.6	30.7	27,56	1,01	26,38
18	39	0	20	132	94	27.2	28.0	27,13	0,86	20,7
19	20	0	0	132	70	26.8	26.0			
20	22	0	0	132	12	26.5	25.0			
21	22	0	0	132	-25	25.9	23.0			
22	17	0	0	272	-145	25.8	22.0			
23	9	0	0	140	-147	24.8	20.0			
<b>total:</b>	<b>918</b>	<b>836</b>	<b>682</b>	<b>2202</b>	<b>-1692</b>					

Tabela B.5: Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 24/09

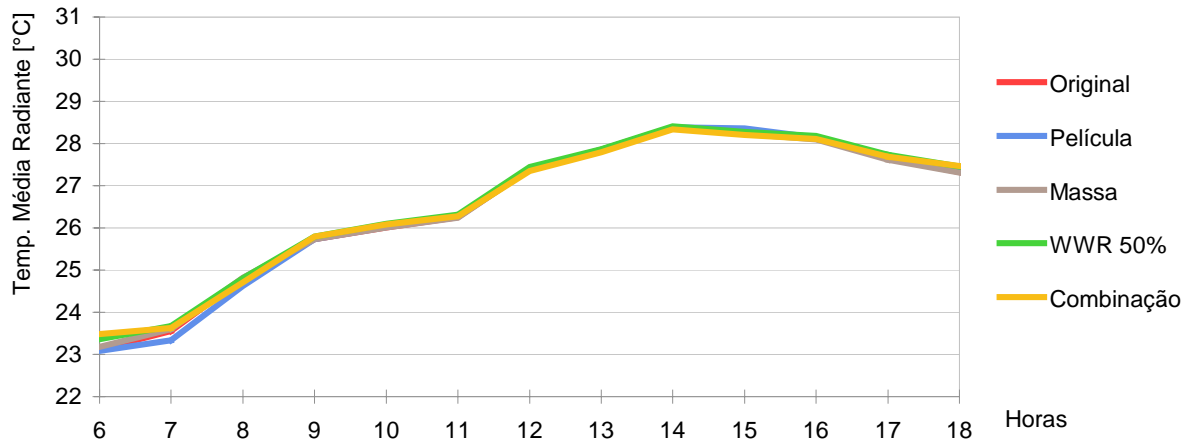


Gráfico B.1 - Temperatura Média Radiante; sala sul, dia 24/09

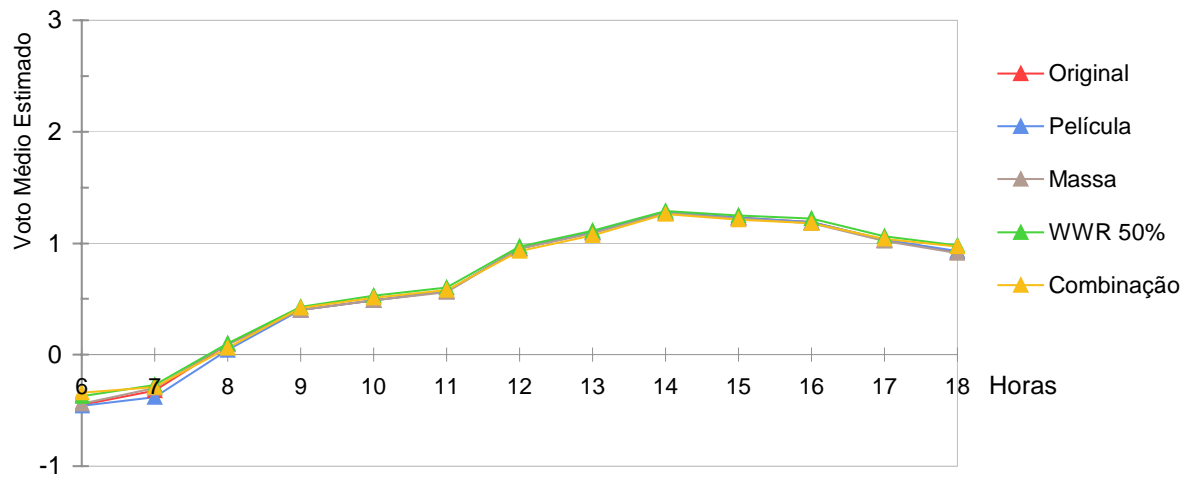


Gráfico B.2 - Voto Médio Estimado; sala sul, dia 24/09

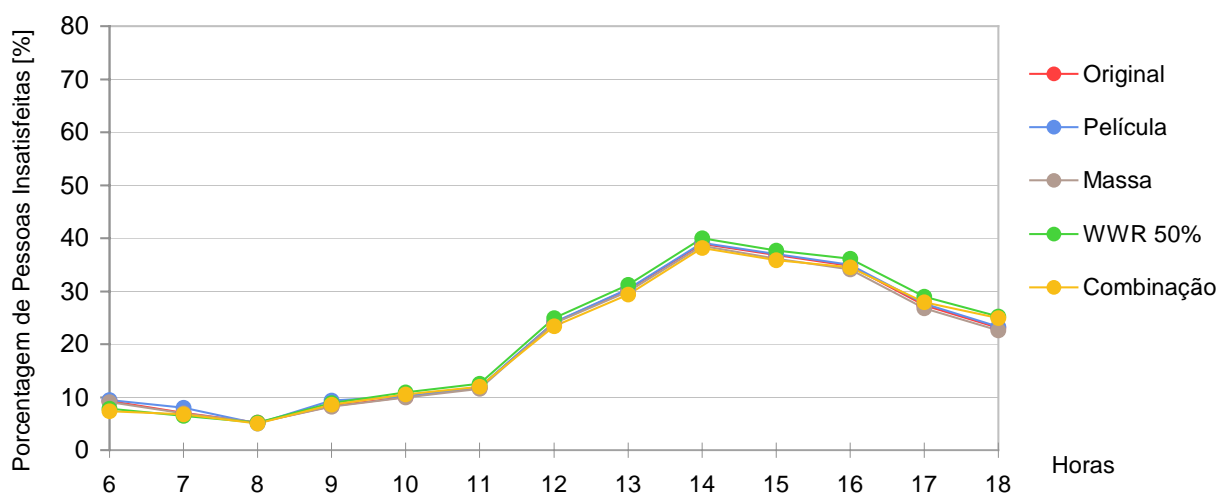


Gráfico B.3 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala sul, dia 24/09

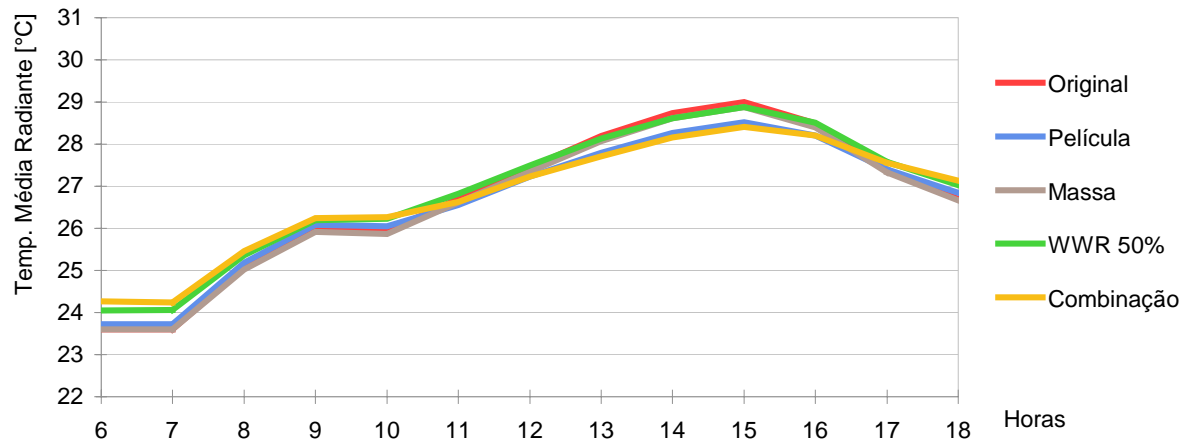


Gráfico B.4 - Temperatura Média Radiante; suíte norte, dia 24/09

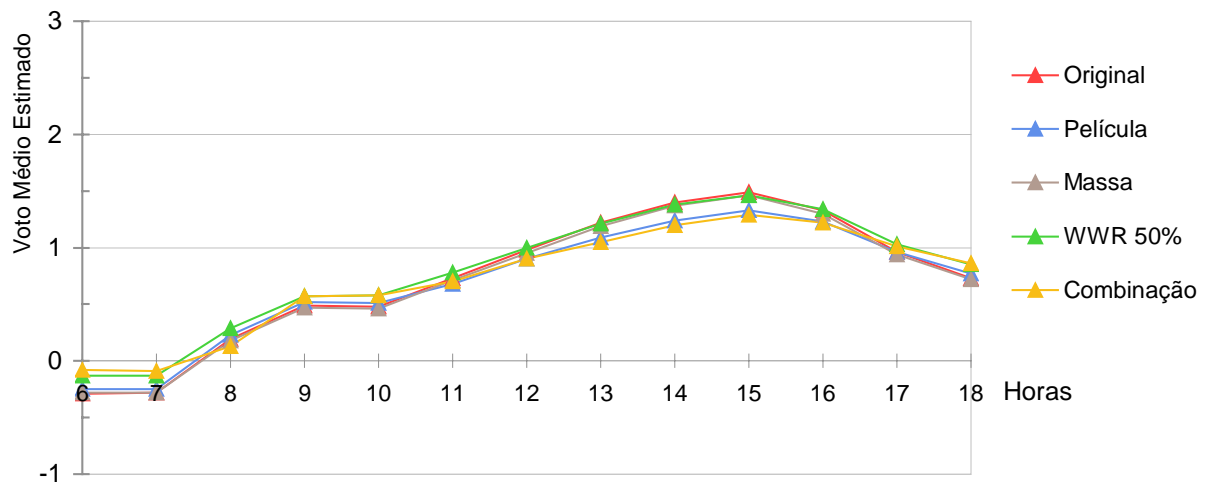


Gráfico B.5 - Voto Médio Estimado; suíte norte, dia 24/09

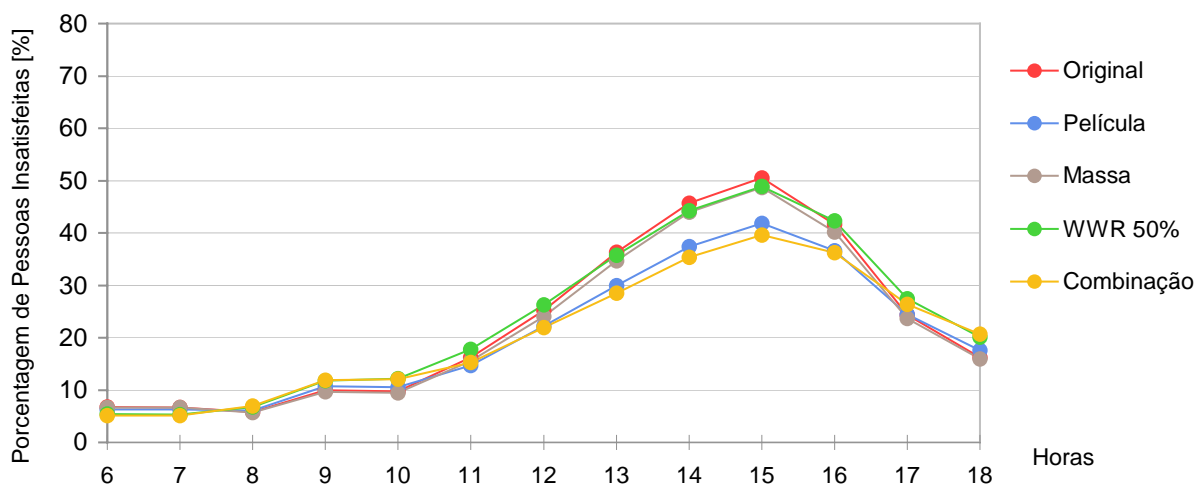


Gráfico B.6 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte norte, dia 24/09



### Apto. leste-oeste SITUAÇÃO ORIGINAL, 22 de dezembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-178	22.2	20.0			
1	0	0	0	0	-104	22.1	19.0			
2	0	0	0	0	-152	22.0	18.7			
3	0	0	0	0	-187	22.0	19.0			
4	0	0	0	0	-164	21.8	18.0			
5	0	0	0	0	-199	21.7	18.0			
6	0	2	0	0	-238	21.8	19.0	21,73	-0,88	21,22
7	13	737	0	0	-489	23.4	21.0	23,24	-0,39	8,19
8	32	1566	0	0	-656	26.2	25.0	26,06	0,53	10,91
9	37	1778	0	0	-41	27.2	22.0	27,07	0,86	20,76
10	18	758	0	0	35	25.9	25.0	25,77	0,43	8,96
11	69	63	41	0	89	25.0	28.0	24,83	0,13	5,33
12	134	26	79	280	-80	25.4	29.0	25,24	0,26	6,4
13	134	22	77	280	13	25.6	29.0	25,43	0,32	7,19
14	2	23	0	280	164	25.7	27.0	25,59	0,38	7,96
15	2	18	0	0	322	24.8	25.0	24,63	0,06	5,09
16	1	12	0	0	200	24.1	24.0	24,02	-0,14	5,4
17	0	3	0	0	134	24.0	24.0	23,85	-0,2	5,8
18	0	0	0	395	-77	24.1	23.0	23,99	-0,15	5,48
19	0	0	0	395	14	24.0	22.0			
20	0	0	0	395	-6	23.7	21.0			
21	0	0	0	395	-110	23.4	21.0			
22	0	0	0	395	-49	23.0	19.0			
23	0	0	0	0	-97	22.2	19.0			
<b>total:</b>	<b>443</b>	<b>5009</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-1856</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-201	23.1	20.0			
1	0	0	0	140	-160	23.0	19.0			
2	0	0	0	140	-183	22.9	18.7			
3	0	0	0	140	-200	22.9	19.0			
4	0	0	0	140	-185	22.7	18.0			
5	0	0	0	140	-211	22.6	18.0			
6	0	3	0	140	-228	22.8	19.0	22,74	-0,57	11,78
7	1	11	0	140	-208	23.1	21.0	23,04	-0,47	9,69
8	1	15	0	140	-85	24.8	25.0	24,72	0,07	5,11
9	1	16	0	0	284	24.6	22.0	24,54	0,01	5
10	1	26	0	0	147	25.1	25.0	25,1	0,19	5,78
11	39	27	21	0	40	25.1	28.0	25,05	0,18	5,65
12	77	34	41	0	-6	25.2	29.0	25,11	0,2	5,81
13	79	136	40	0	-2	25.5	29.0	25,47	0,32	7,09
14	5	179	0	0	42	25.9	27.0	25,9	0,46	9,42
15	5	197	0	0	60	25.4	25.0	25,32	0,27	6,48
16	6	284	0	0	-43	25.0	24.0	24,96	0,15	5,46
17	0	3	0	0	19	24.2	24.0	24,19	-0,1	5,23
18	0	0	0	132	-55	24.1	23.0	24,09	-0,13	5,37
19	0	0	0	132	-18	24.0	22.0			
20	0	0	0	132	-46	23.6	21.0			
21	0	0	0	132	-90	23.4	21.0			
22	0	0	0	272	-121	23.3	19.0			
23	0	0	0	140	-165	23.0	19.0			
<b>total:</b>	<b>214</b>	<b>932</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-1614</b>					

Tabela C.1: Dados simulados, apto. leste-oeste – situação original, dia 22/12

### Apto. leste-oeste COM PELÍCULA REFLETIVA INCOLOR, 22 de dezembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-213	22.4	20.0			
1	0	0	0	0	-139	22.3	19.0			
2	0	0	0	0	-187	22.1	18.7			
3	0	0	0	0	-222	22.1	19.0			
4	0	0	0	0	-199	21.9	18.0			
5	0	0	0	0	-234	21.9	18.0			
6	0	1	0	0	-273	22.0	19.0	21,95	-0,82	19,12
7	13	361	0	0	-400	22.9	21.0	22,87	-0,52	10,72
8	32	766	0	0	-428	25.1	25.0	25,02	0,18	5,65
9	37	870	0	0	223	26.0	22.0	25,86	0,45	9,31
10	18	371	0	0	127	25.5	25.0	25,38	0,29	6,79
11	69	31	41	0	65	25.1	28.0	25	0,17	5,58
12	134	13	79	280	-111	25.5	29.0	25,44	0,31	7,03
13	134	11	77	280	-18	25.7	29.0	25,64	0,38	8
14	2	11	0	280	133	25.9	27.0	25,79	0,43	8,89
15	2	9	0	0	290	24.9	25.0	24,84	0,12	5,28
16	1	6	0	0	167	24.3	24.0	24,24	-0,08	5,14
17	0	1	0	0	99	24.1	24.0	24,07	-0,14	5,39
18	0	0	0	395	-112	24.3	23.0	24,21	-0,09	5,17
19	0	0	0	395	-21	24.2	22.0			
20	0	0	0	395	-41	23.9	21.0			
21	0	0	0	395	-145	23.6	21.0			
22	0	0	0	395	-84	23.2	19.0			
23	0	0	0	0	-132	22.3	19.0			
<b>total:</b>	<b>443</b>	<b>2451</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-1855</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-208	23.1	20.0			
1	0	0	0	140	-167	23.1	19.0			
2	0	0	0	140	-190	22.9	18.7			
3	0	0	0	140	-207	22.9	19.0			
4	0	0	0	140	-192	22.8	18.0			
5	0	0	0	140	-218	22.7	18.0			
6	0	1	0	140	-234	22.8	19.0	22,8	-0,55	11,43
7	1	6	0	140	-213	23.1	21.0	23,09	-0,46	9,46
8	1	8	0	140	-89	24.8	25.0	24,77	0,08	5,14
9	1	8	0	0	280	24.6	22.0	24,58	0,02	5,01
10	1	13	0	0	145	25.2	25.0	25,13	0,2	5,83
11	39	13	21	0	38	25.1	28.0	25,08	0,18	5,69
12	77	17	41	0	-7	25.2	29.0	25,13	0,2	5,83
13	79	66	40	0	15	25.4	29.0	25,38	0,28	6,65
14	5	87	0	0	67	25.8	27.0	25,75	0,41	8,47
15	5	97	0	0	88	25.2	25.0	25,15	0,21	5,89
16	6	139	0	0	0	24.7	24.0	24,69	0,06	5,07
17	0	2	0	0	13	24.3	24.0	24,24	-0,09	5,17
18	0	0	0	132	-62	24.2	23.0	24,15	-0,12	5,29
19	0	0	0	132	-25	24.0	22.0			
20	0	0	0	132	-53	23.6	21.0			
21	0	0	0	132	-97	23.5	21.0			
22	0	0	0	272	-128	23.3	19.0			
23	0	0	0	140	-171	23.0	19.0			
<b>total:</b>	<b>214</b>	<b>456</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-1613</b>					

Tabela C.2: Dados simulados, apto. leste-oeste – com película refletiva incolor, dia 22/12

### Apto. leste-oeste COM MAIOR MASSA TÉRMICA, 22 de dezembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-182	22.2	20.0			
1	0	0	0	0	-108	22.2	19.0			
2	0	0	0	0	-157	22.0	18.7			
3	0	0	0	0	-192	22.0	19.0			
4	0	0	0	0	-170	21.8	18.0			
5	0	0	0	0	-205	21.7	18.0			
6	0	2	0	0	-242	21.9	19.0	21,77	-0,87	20,93
7	0	737	0	0	-485	23.3	21.0	23,24	-0,39	8,25
8	1	1566	0	0	-637	26.1	25.0	25,98	0,5	10,31
9	0	1778	0	0	-23	27.1	22.0	26,99	0,83	19,74
10	0	758	0	0	48	25.8	25.0	25,71	0,41	8,58
11	62	63	41	0	100	24.9	28.0	24,78	0,11	5,25
12	125	26	79	280	-68	25.3	29.0	25,19	0,24	6,2
13	131	22	77	280	24	25.5	29.0	25,39	0,31	6,96
14	13	23	0	280	169	25.7	27.0	25,58	0,37	7,84
15	15	18	0	0	323	24.7	25.0	24,63	0,06	5,08
16	7	12	0	0	200	24.1	24.0	24,03	-0,14	5,41
17	2	3	0	0	135	24.0	24.0	23,85	-0,2	5,81
18	3	0	0	395	-77	24.1	23.0	24	-0,15	5,47
19	3	0	0	395	12	24.0	22.0			
20	1	0	0	395	-8	23.7	21.0			
21	1	0	0	395	-112	23.4	21.0			
22	0	0	0	395	-53	23.0	19.0			
23	0	0	0	0	-102	22.2	19.0			
<b>total:</b>	<b>365</b>	<b>5009</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-1808</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-201	23.1	20.0			
1	0	0	0	140	-161	23.0	19.0			
2	0	0	0	140	-184	22.9	18.7			
3	0	0	0	140	-200	22.9	19.0			
4	0	0	0	140	-186	22.7	18.0			
5	0	0	0	140	-212	22.7	18.0			
6	0	5	0	140	-229	22.8	19.0	22,76	-0,56	11,68
7	0	17	0	140	-208	23.1	21.0	23,05	-0,47	9,63
8	0	23	0	140	-82	24.7	25.0	24,71	0,07	5,09
9	0	24	0	0	283	24.6	22.0	24,54	0,01	5
10	0	39	0	0	148	25.1	25.0	25,09	0,19	5,74
11	36	41	21	0	43	25.1	28.0	25,03	0,17	5,6
12	71	51	41	0	-3	25.1	29.0	25,1	0,19	5,76
13	72	150	40	0	2	25.5	29.0	25,45	0,31	6,97
14	0	194	0	0	44	25.9	27.0	25,89	0,46	9,33
15	0	209	0	0	61	25.3	25.0	25,31	0,26	6,43
16	1	292	0	0	-41	25.0	24.0	24,95	0,14	5,43
17	1	5	0	0	20	24.2	24.0	24,18	-0,11	5,23
18	2	0	0	132	-54	24.1	23.0	24,1	-0,13	5,38
19	3	0	0	132	-19	24.0	22.0			
20	2	0	0	132	-47	23.6	21.0			
21	2	0	0	132	-90	23.4	21.0			
22	2	0	0	272	-123	23.3	19.0			
23	0	0	0	140	-166	23.0	19.0			
<b>total:</b>	<b>193</b>	<b>1050</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-1605</b>					

Tabela C.3: Dados simulados, apto. leste-oeste – com maior massa térmica, dia 22/12



### Apto. leste-oeste COM WWR 50%, 22 de dezembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-246	22.6	20.0			
1	0	0	0	0	-175	22.6	19.0			
2	0	0	0	0	-225	22.4	18.7			
3	0	0	0	0	-259	22.4	19.0			
4	0	0	0	0	-240	22.2	18.0			
5	0	0	0	0	-275	22.1	18.0			
6	0	0	0	0	-309	22.3	19.0	22,18	-0,74	16,55
7	35	486	0	0	-484	23.4	21.0	23,31	-0,38	7,94
8	73	1036	0	0	-547	25.7	25.0	25,63	0,38	8,03
9	85	1177	0	0	70	26.8	22.0	26,68	0,73	16,15
10	41	492	0	0	69	25.8	25.0	25,74	0,42	8,64
11	59	28	41	0	62	25.2	28.0	25,09	0,2	5,86
12	109	0	79	280	-109	25.6	29.0	25,5	0,34	7,36
13	108	0	77	280	-16	25.8	29.0	25,7	0,41	8,45
14	5	0	0	280	139	26.0	27.0	25,85	0,45	9,33
15	4	0	0	0	285	25.1	25.0	24,96	0,16	5,54
16	3	0	0	0	154	24.5	24.0	24,39	-0,03	5,02
17	1	0	0	0	85	24.3	24.0	24,22	-0,08	5,14
18	0	0	0	395	-137	24.5	23.0	24,39	-0,03	5,02
19	0	0	0	395	-52	24.4	22.0			
20	0	0	0	395	-77	24.1	21.0			
21	0	0	0	395	-182	23.9	21.0			
22	0	0	0	395	-132	23.5	19.0			
23	0	0	0	0	-169	22.6	19.0			
<b>total:</b>	<b>522</b>	<b>3220</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-2769</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-242	23.4	20.0			
1	0	0	0	140	-204	23.4	19.0			
2	0	0	0	140	-227	23.3	18.7			
3	0	0	0	140	-243	23.2	19.0			
4	0	0	0	140	-231	23.1	18.0			
5	0	0	0	140	-257	23.0	18.0			
6	0	2	0	140	-271	23.2	19.0	23,1	-0,45	9,26
7	2	8	0	140	-250	23.4	21.0	23,39	-0,36	7,66
8	2	10	0	140	-104	25.0	25.0	24,94	0,14	5,44
9	2	11	0	0	248	25.0	22.0	24,91	0,14	5,38
10	4	18	0	0	131	25.4	25.0	25,33	0,27	6,53
11	33	18	21	0	22	25.3	28.0	25,27	0,25	6,34
12	62	23	41	0	-20	25.4	29.0	25,31	0,27	6,46
13	68	91	40	0	-6	25.7	29.0	25,61	0,37	7,79
14	12	119	0	0	52	26.0	27.0	25,94	0,48	9,75
15	11	131	0	0	58	25.5	25.0	25,44	0,31	6,99
16	14	189	0	0	-41	25.1	24.0	25,05	0,18	5,68
17	0	2	0	0	-7	24.5	24.0	24,46	-0,01	5
18	0	0	0	132	-88	24.5	23.0	24,4	-0,03	5,02
19	0	0	0	132	-56	24.3	22.0			
20	0	0	0	132	-89	24.0	21.0			
21	0	0	0	132	-133	23.8	21.0			
22	0	0	0	272	-176	23.7	19.0			
23	0	0	0	140	-208	23.4	19.0			
<b>total:</b>	<b>212</b>	<b>621</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-2342</b>					

Tabela C.4: Dados simulados, apto. leste-oeste – com WWR 50%, dia 22/12

### Apto. leste-oeste COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES, 22 de dezembro

#### SALA leste (azim.72°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-275	22.8	20.0			
1	0	0	0	0	-207	22.7	19.0			
2	0	0	0	0	-257	22.5	18.7			
3	0	0	0	0	-289	22.5	19.0			
4	0	0	0	0	-272	22.4	18.0			
5	0	0	0	0	-308	22.3	18.0			
6	0	0	0	0	-339	22.4	19.0	22,41	-0,69	14,95
7	0	238	0	0	-412	23.1	21.0	23,07	-0,47	9,7
8	0	507	0	0	-351	24.8	25.0	24,8	0,09	5,16
9	0	576	0	0	284	25.7	22.0	25,72	0,39	8,2
10	0	241	0	0	159	25.4	25.0	25,38	0,28	6,58
11	44	14	41	0	69	25.1	28.0	25,13	0,19	5,77
12	89	0	79	280	-103	25.6	29.0	25,54	0,33	7,26
13	102	0	77	280	-15	25.8	29.0	25,77	0,41	8,45
14	29	0	0	280	126	26.0	27.0	25,98	0,47	9,71
15	33	0	0	0	264	25.1	25.0	25,12	0,19	5,75
16	16	0	0	0	132	24.6	24.0	24,55	0,01	5
17	6	0	0	0	64	24.4	24.0	24,38	-0,05	5,05
18	8	0	0	395	-159	24.6	23.0	24,57	0,01	5
19	8	0	0	395	-77	24.5	22.0			
20	2	0	0	395	-103	24.2	21.0			
21	1	0	0	395	-206	24.0	21.0			
22	1	0	0	395	-162	23.6	19.0			
23	0	0	0	0	-202	22.7	19.0			
<b>total:</b>	<b>339</b>	<b>1576</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-2638</b>					

#### SUÍTE oeste (azim.252°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-253	23.5	20.0			
1	0	0	0	140	-216	23.5	19.0			
2	0	0	0	140	-240	23.4	18.7			
3	0	0	0	140	-255	23.3	19.0			
4	0	0	0	140	-244	23.2	18.0			
5	0	0	0	140	-270	23.1	18.0			
6	0	1	0	140	-282	23.2	19.0	23,22	-0,42	8,69
7	0	4	0	140	-255	23.5	21.0	23,48	-0,34	7,38
8	0	5	0	140	-99	25.0	25.0	24,94	0,14	5,4
9	0	5	0	0	245	25.0	22.0	24,94	0,14	5,39
10	0	9	0	0	137	25.3	25.0	25,3	0,26	6,35
11	24	9	21	0	35	25.2	28.0	25,22	0,23	6,08
12	48	11	41	0	-5	25.3	29.0	25,24	0,23	6,14
13	48	44	40	0	22	25.5	29.0	25,46	0,3	6,93
14	1	58	0	0	80	25.8	27.0	25,79	0,42	8,63
15	1	64	0	0	86	25.3	25.0	25,29	0,25	6,3
16	2	93	0	0	-6	24.9	24.0	24,86	0,11	5,25
17	3	1	0	0	-14	24.6	24.0	24,53	0	5
18	6	0	0	132	-97	24.5	23.0	24,5	-0,01	5
19	8	0	0	132	-68	24.4	22.0			
20	4	0	0	132	-102	24.1	21.0			
21	4	0	0	132	-144	23.9	21.0			
22	6	0	0	272	-191	23.8	19.0			
23	0	0	0	140	-222	23.5	19.0			
<b>total:</b>	<b>155</b>	<b>304</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-2359</b>					

Tabela C.5: Dados simulados, apto. leste-oeste – combinação das soluções, dia 22/12

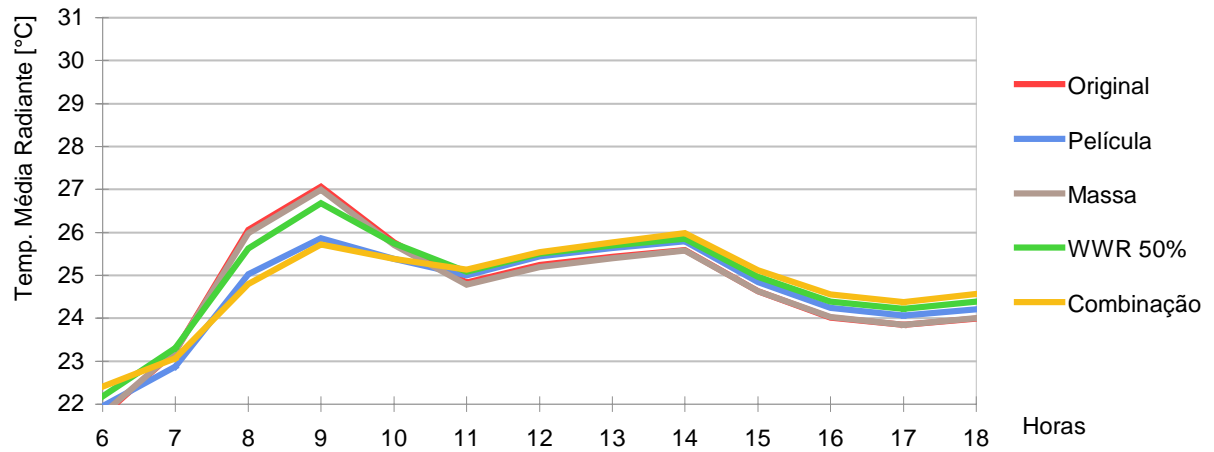


Gráfico C.1 - Temperatura Média Radiante; sala leste, dia 22/12

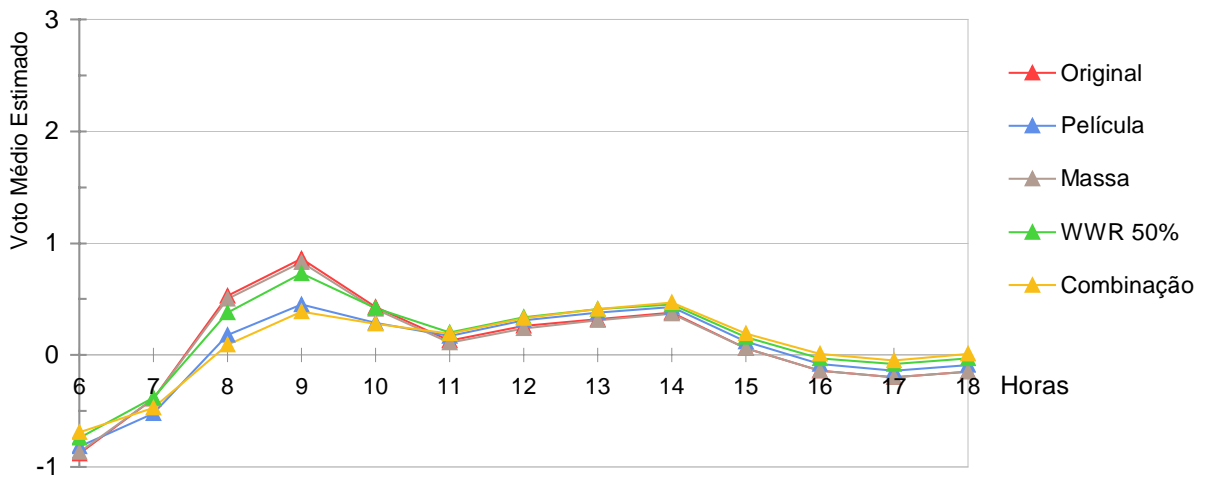


Gráfico C.2 - Voto Médio Estimado; sala leste, dia 22/12

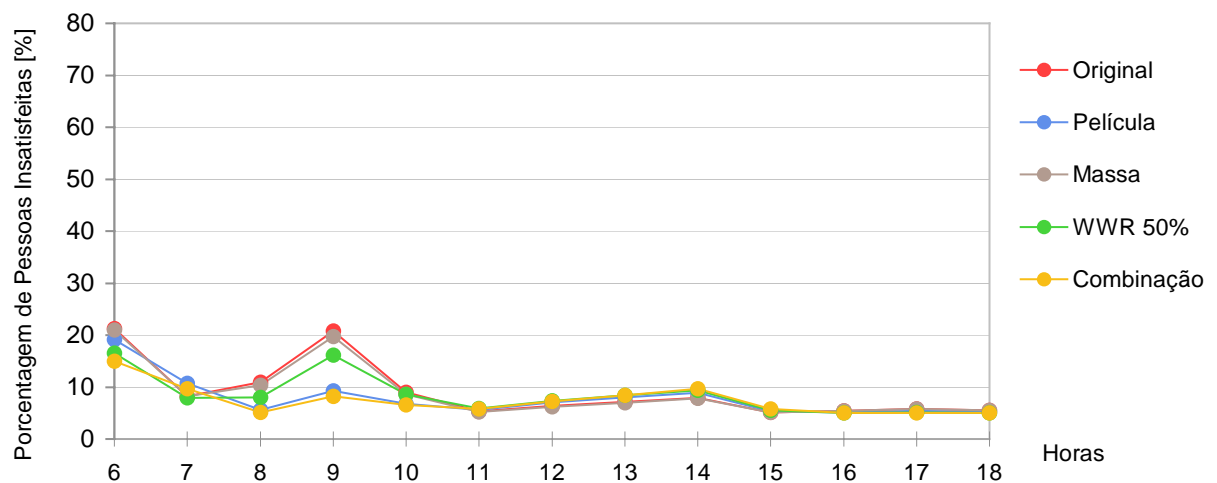


Gráfico C.3 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala leste, dia 22/12

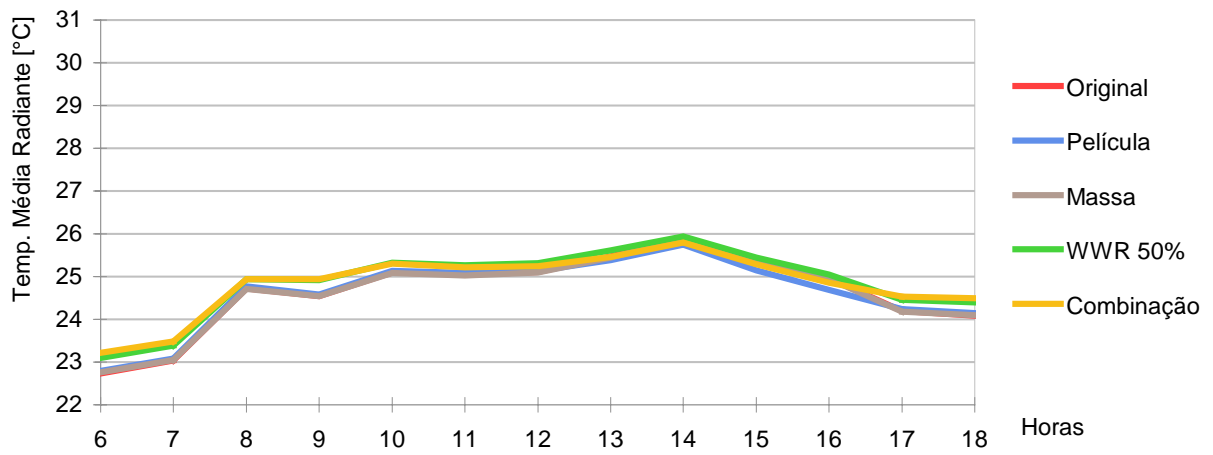


Gráfico C.4 - Temperatura Média Radiante; suíte oeste, dia 22/12

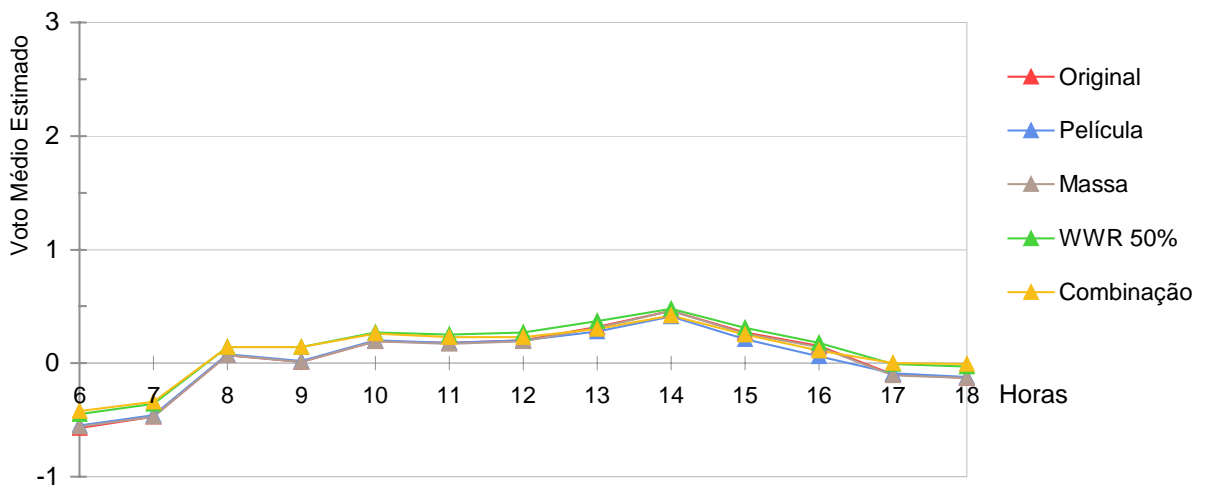


Gráfico C.5 - Voto Médio Estimado; suíte oeste, dia 22/12

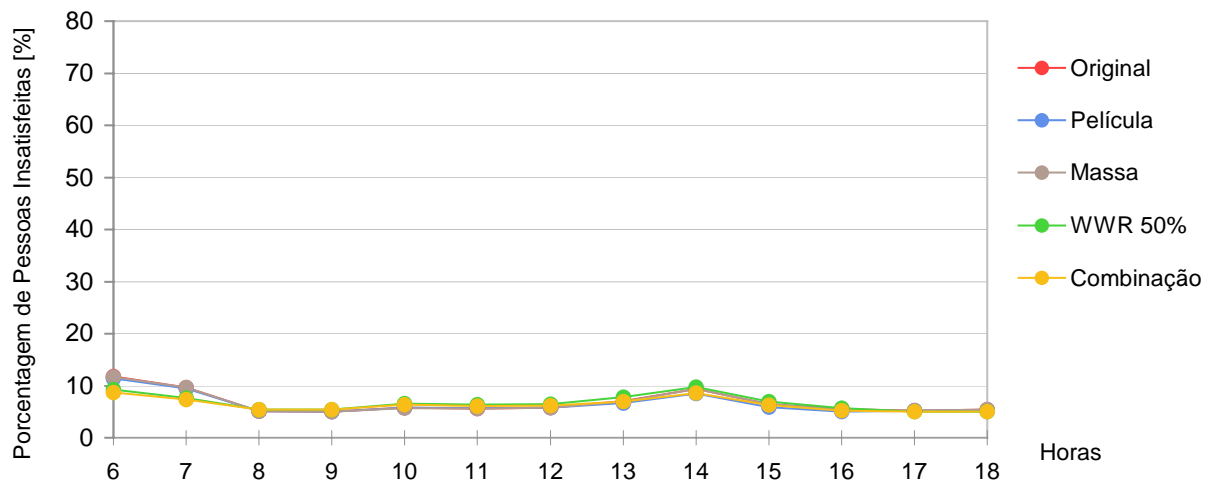


Gráfico C.6 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte oeste, dia 22/12



### Apto. norte-sul SITUAÇÃO ORIGINAL, 22 de dezembro

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-162	22.4	20.0			
1	0	0	0	0	-88	22.3	19.0			
2	0	0	0	0	-136	22.1	18.7			
3	0	0	0	0	-171	22.1	19.0			
4	0	0	0	0	-148	21.9	18.0			
5	0	0	0	0	-183	21.8	18.0			
6	0	2	0	0	-222	22.0	19.0	21,91	-0,83	19,39
7	12	568	0	0	-417	23.2	21.0	23,15	-0,43	8,8
8	24	1102	0	0	-530	25.5	25.0	25,39	0,3	6,9
9	27	1191	0	0	48	26.1	22.0	26,02	0,51	10,46
10	14	534	0	0	-31	25.3	25.0	25,22	0,25	6,27
11	69	64	41	0	44	25.0	28.0	24,87	0,13	5,36
12	137	115	79	280	-94	25.7	29.0	25,56	0,36	7,68
13	135	22	77	280	51	25.8	29.0	25,66	0,39	8,23
14	3	23	0	280	130	25.8	27.0	25,65	0,39	8,17
15	2	18	0	0	269	24.7	25.0	24,65	0,06	5,08
16	1	12	0	0	142	24.1	24.0	24,03	-0,14	5,43
17	0	3	0	0	42	23.9	24.0	23,77	-0,23	6,07
18	0	0	0	395	-59	24.3	23.0	24,17	-0,1	5,2
19	0	0	0	395	25	24.2	22.0			
20	0	0	0	395	4	23.8	21.0			
21	0	0	0	395	-102	23.6	21.0			
22	0	0	0	395	-44	23.1	19.0			
23	0	0	0	0	-81	22.3	19.0			
total:	424	3654	197	2816	-1713					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-194	23.2	20.0			
1	0	0	0	140	-154	23.1	19.0			
2	0	0	0	140	-176	23.0	18.7			
3	0	0	0	140	-193	23.0	19.0			
4	0	0	0	140	-179	22.9	18.0			
5	0	0	0	140	-204	22.8	18.0			
6	0	3	0	140	-221	22.9	19.0	22,89	-0,53	10,84
7	1	11	0	140	-209	23.2	21.0	23,16	-0,44	9,07
8	1	15	0	140	-122	24.7	25.0	24,72	0,06	5,08
9	1	16	0	0	202	24.4	22.0	24,38	-0,05	5,05
10	1	26	0	0	63	24.9	25.0	24,93	0,13	5,37
11	39	27	21	0	15	25.1	28.0	25,09	0,18	5,7
12	77	34	41	0	2	25.3	29.0	25,26	0,24	6,21
13	76	29	40	0	53	25.4	29.0	25,41	0,29	6,74
14	1	30	0	0	76	25.6	27.0	25,61	0,36	7,67
15	1	24	0	0	92	25.0	25.0	24,94	0,14	5,4
16	1	16	0	0	16	24.4	24.0	24,34	-0,06	5,07
17	0	3	0	0	-30	24.2	24.0	24,14	-0,13	5,33
18	0	0	0	132	-48	24.3	23.0	24,24	-0,09	5,18
19	0	0	0	132	-12	24.1	22.0			
20	0	0	0	132	-41	23.7	21.0			
21	0	0	0	132	-85	23.6	21.0			
22	0	0	0	272	-117	23.4	19.0			
23	0	0	0	140	-158	23.1	19.0			
total:	199	236	102	2202	-1626					

Tabela D.1: Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 22/12

### Apto. norte-sul COM PELÍCULA REFLETIVA INCOLOR, 22 de dezembro

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-188	22.5	20.0			
1	0	0	0	0	-113	22.4	19.0			
2	0	0	0	0	-162	22.2	18.7			
3	0	0	0	0	-197	22.2	19.0			
4	0	0	0	0	-174	22.0	18.0			
5	0	0	0	0	-209	22.0	18.0			
6	0	1	0	0	-247	22.1	19.0	22,07	-0,78	17,95
7	12	278	0	0	-347	22.9	21.0	22,86	-0,53	10,88
8	24	539	0	0	-370	24.7	25.0	24,67	0,06	5,07
9	27	583	0	0	223	25.3	22.0	25,23	0,24	6,18
10	14	262	0	0	33	25.0	25.0	24,95	0,15	5,47
11	69	31	41	0	29	25.0	28.0	24,98	0,16	5,51
12	137	56	79	280	-101	25.7	29.0	25,63	0,37	7,88
13	135	11	77	280	29	25.9	29.0	25,81	0,43	8,89
14	3	11	0	280	108	25.9	27.0	25,79	0,43	8,83
15	2	9	0	0	246	24.9	25.0	24,79	0,1	5,2
16	1	6	0	0	118	24.2	24.0	24,18	-0,1	5,22
17	0	1	0	0	17	24.0	24.0	23,93	-0,18	5,7
18	0	0	0	395	-84	24.4	23.0	24,33	-0,05	5,6
19	0	0	0	395	0	24.3	22.0			
20	0	0	0	395	-21	23.9	21.0			
21	0	0	0	395	-127	23.7	21.0			
22	0	0	0	395	-70	23.2	19.0			
23	0	0	0	0	-107	22.4	19.0			
<b>total:</b>	<b>424</b>	<b>1788</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-1713</b>					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-196	23.2	20.0			
1	0	0	0	140	-155	23.1	19.0			
2	0	0	0	140	-178	23.0	18.7			
3	0	0	0	140	-195	23.0	19.0			
4	0	0	0	140	-180	22.9	18.0			
5	0	0	0	140	-206	22.8	18.0			
6	0	1	0	140	-223	22.9	19.0	22,9	-0,53	10,78
7	1	6	0	140	-209	23.2	21.0	23,16	-0,44	9,08
8	1	8	0	140	-121	24.7	25.0	24,71	0,06	5,08
9	1	8	0	0	203	24.4	22.0	24,37	-0,05	5,05
10	1	13	0	0	66	24.9	25.0	24,91	0,13	5,34
11	39	13	21	0	18	25.1	28.0	25,07	0,18	5,65
12	77	17	41	0	7	25.3	29.0	25,24	0,23	6,12
13	76	14	40	0	57	25.4	29.0	25,39	0,28	6,66
14	1	15	0	0	79	25.6	27.0	25,59	0,35	7,56
15	1	12	0	0	95	24.9	25.0	24,93	0,13	5,37
16	1	8	0	0	17	24.4	24.0	24,34	-0,06	5,08
17	0	2	0	0	-32	24.2	24.0	24,15	-0,12	5,32
18	0	0	0	132	-50	24.3	23.0	24,25	-0,09	5,16
19	0	0	0	132	-14	24.1	22.0			
20	0	0	0	132	-43	23.7	21.0			
21	0	0	0	132	-87	23.6	21.0			
22	0	0	0	272	-119	23.4	19.0			
23	0	0	0	140	-160	23.1	19.0			
<b>total:</b>	<b>199</b>	<b>116</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-1625</b>					

Tabela D.2: Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 22/12

### Apto. norte-sul COM MAIOR MASSA TÉRMICA, 22 de dezembro

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-161	22.4	20.0			
1	0	0	0	0	-87	22.3	19.0			
2	0	0	0	0	-136	22.1	18.7			
3	0	0	0	0	-171	22.1	19.0			
4	0	0	0	0	-149	21.9	18.0			
5	0	0	0	0	-184	21.8	18.0			
6	0	7	0	0	-223	22.0	19.0	21,92	-0,82	19,3
7	0	585	0	0	-414	23.2	21.0	23,15	-0,43	8,82
8	0	1125	0	0	-517	25.4	25.0	25,34	0,28	6,4
9	0	1215	0	0	58	26.1	22.0	25,97	0,49	10,14
10	0	574	0	0	-28	25.3	25.0	25,21	0,24	6,22
11	63	105	41	0	46	25.0	28.0	24,86	0,13	5,34
12	125	162	79	280	-92	25.7	29.0	25,55	0,35	7,62
13	130	66	77	280	52	25.8	29.0	25,66	0,39	8,2
14	9	68	0	280	126	25.8	27.0	25,68	0,4	8,3
15	10	55	0	0	264	24.8	25.0	24,67	0,07	5,09
16	5	37	0	0	140	24.1	24.0	24,04	-0,14	5,41
17	2	8	0	0	46	23.8	24.0	23,76	-0,23	6,12
18	5	1	0	395	-54	24.2	23.0	24,16	-0,1	5,22
19	4	0	0	395	29	24.1	22.0			
20	1	0	0	395	7	23.8	21.0			
21	1	0	0	395	-98	23.6	21.0			
22	0	0	0	395	-43	23.1	19.0			
23	0	0	0	0	-82	22.3	19.0			
<b>total:</b>	<b>354</b>	<b>4008</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-1671</b>					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-197	23.2	20.0			
1	0	0	0	140	-157	23.2	19.0			
2	0	0	0	140	-180	23.0	18.7			
3	0	0	0	140	-196	23.0	19.0			
4	0	0	0	140	-182	22.9	18.0			
5	0	0	0	140	-207	22.8	18.0			
6	0	3	0	140	-224	22.9	19.0	22,92	-0,52	10,65
7	0	11	0	140	-209	23.2	21.0	23,18	-0,44	8,99
8	0	15	0	140	-118	24.7	25.0	24,7	0,06	5,07
9	0	16	0	0	202	24.4	22.0	24,38	-0,05	5,05
10	0	26	0	0	67	24.9	25.0	24,91	0,13	5,33
11	36	27	21	0	21	25.1	28.0	25,05	0,17	5,6
12	71	34	41	0	9	25.2	29.0	25,22	0,23	6,07
13	71	29	40	0	59	25.4	29.0	25,37	0,28	6,58
14	0	30	0	0	79	25.6	27.0	25,6	0,35	7,54
15	0	24	0	0	95	24.9	25.0	24,93	0,13	5,37
16	1	16	0	0	16	24.4	24.0	24,35	-0,06	5,07
17	1	3	0	0	-31	24.2	24.0	24,15	-0,12	5,32
18	2	0	0	132	-50	24.3	23.0	24,26	-0,09	5,16
19	2	0	0	132	-15	24.1	22.0			
20	1	0	0	132	-44	23.7	21.0			
21	0	0	0	132	-87	23.6	21.0			
22	0	0	0	272	-121	23.4	19.0			
23	0	0	0	140	-161	23.1	19.0			
<b>total:</b>	<b>186</b>	<b>236</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-1630</b>					

Tabela D.3: Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 22/12



### Apto. norte-sul COM WWR 50%, 22 de dezembro

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-223	22.7	20.0			
1	0	0	0	0	-152	22.7	19.0			
2	0	0	0	0	-201	22.5	18.7			
3	0	0	0	0	-235	22.5	19.0			
4	0	0	0	0	-216	22.3	18.0			
5	0	0	0	0	-251	22.2	18.0			
6	0	0	0	0	-286	22.4	19.0	22,3	-0,7	15,45
7	28	373	0	0	-421	23.3	21.0	23,25	-0,4	8,33
8	54	727	0	0	-458	25.2	25.0	25,12	0,21	5,91
9	61	786	0	0	110	25.9	22.0	25,84	0,45	9,23
10	32	343	0	0	-10	25.3	25.0	25,23	0,25	6,26
11	59	29	41	0	25	25.2	28.0	25,07	0,19	5,77
12	116	60	79	280	-107	25.8	29.0	25,72	0,41	8,47
13	111	0	77	280	29	26.0	29.0	25,88	0,46	9,43
14	5	0	0	280	113	25.9	27.0	25,85	0,45	9,27
15	4	0	0	0	239	25.0	25.0	24,92	0,14	5,43
16	3	0	0	0	104	24.4	24.0	24,33	-0,05	5,05
17	1	0	0	0	1	24.2	24.0	24,08	-0,13	5,36
18	0	0	0	395	-110	24.6	23.0	24,52	0,01	5,01
19	0	0	0	395	-32	24.5	22.0			
20	0	0	0	395	-59	24.2	21.0			
21	0	0	0	395	-165	24.0	21.0			
22	0	0	0	395	-119	23.6	19.0			
23	0	0	0	0	-145	22.7	19.0			
<b>total:</b>	<b>475</b>	<b>2316</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-2570</b>					

#### SUÍTE azim.342°

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-231	23.5	20.0			
1	0	0	0	140	-193	23.5	19.0			
2	0	0	0	140	-217	23.3	18.7			
3	0	0	0	140	-233	23.3	19.0			
4	0	0	0	140	-221	23.2	18.0			
5	0	0	0	140	-246	23.1	18.0			
6	0	2	0	140	-261	23.2	19.0	23,2	-0,42	8,7
7	2	8	0	140	-247	23.5	21.0	23,47	-0,34	7,35
8	2	10	0	140	-137	24.9	25.0	24,89	0,13	5,33
9	2	11	0	0	170	24.7	22.0	24,7	0,06	5,08
10	4	18	0	0	51	25.1	25.0	25,1	0,2	5,79
11	33	18	21	0	1	25.3	28.0	25,27	0,25	6,28
12	62	23	41	0	-8	25.5	29.0	25,42	0,3	6,86
13	62	19	40	0	42	25.6	29.0	25,57	0,35	7,56
14	4	20	0	0	75	25.8	27.0	25,71	0,4	8,3
15	4	16	0	0	78	25.2	25.0	25,14	0,21	5,89
16	2	11	0	0	-5	24.6	24.0	24,57	0,02	5,01
17	0	2	0	0	-52	24.4	24.0	24,36	-0,05	5,05
18	0	0	0	132	-77	24.5	23.0	24,51	0	5
19	0	0	0	132	-46	24.4	22.0			
20	0	0	0	132	-80	24.1	21.0			
21	0	0	0	132	-124	23.9	21.0			
22	0	0	0	272	-168	23.8	19.0			
23	0	0	0	140	-197	23.5	19.0			
<b>total:</b>	<b>178</b>	<b>157</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-2326</b>					

Tabela D.4: Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 22/12

### Apto. norte-sul COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES, 22 de dezembro

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	0	-247	22.8	20.0			
1	0	0	0	0	-178	22.8	19.0			
2	0	0	0	0	-229	22.6	18.7			
3	0	0	0	0	-261	22.6	19.0			
4	0	0	0	0	-244	22.5	18.0			
5	0	0	0	0	-279	22.4	18.0			
6	0	0	0	0	-310	22.5	19.0	22,46	-0,66	14,21
7	0	182	0	0	-365	23.1	21.0	23,04	-0,48	9,74
8	0	356	0	0	-317	24.5	25.0	24,51	0	5
9	0	384	0	0	253	25.2	22.0	25,19	0,22	6,02
10	0	168	0	0	55	25.0	25.0	24,95	0,14	5,43
11	44	14	41	0	37	25.1	28.0	25,04	0,17	5,62
12	89	29	79	280	-84	25.7	29.0	25,65	0,37	7,9
13	100	0	77	280	36	25.9	29.0	25,88	0,45	9,22
14	21	0	0	280	107	26.0	27.0	25,91	0,46	9,4
15	24	0	0	0	225	25.0	25.0	25	0,16	5,52
16	12	0	0	0	88	24.5	24.0	24,43	-0,03	5,02
17	6	0	0	0	-15	24.2	24.0	24,19	-0,11	5,23
18	11	0	0	395	-128	24.7	23.0	24,64	0,04	5,04
19	9	0	0	395	-53	24.6	22.0			
20	2	0	0	395	-81	24.3	21.0			
21	1	0	0	395	-185	24.0	21.0			
22	1	0	0	395	-144	23.7	19.0			
23	0	0	0	0	-173	22.8	19.0			
<b>total:</b>	<b>321</b>	<b>1134</b>	<b>197</b>	<b>2816</b>	<b>-2492</b>					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	0	0	0	140	-240	23.6	20.0			
1	0	0	0	140	-203	23.6	19.0			
2	0	0	0	140	-227	23.4	18.7			
3	0	0	0	140	-242	23.4	19.0			
4	0	0	0	140	-231	23.3	18.0			
5	0	0	0	140	-257	23.2	18.0			
6	0	1	0	140	-268	23.3	19.0	23,3	-0,4	8,26
7	0	4	0	140	-250	23.5	21.0	23,53	-0,32	7,16
8	0	5	0	140	-129	24.9	25.0	24,87	0,11	5,27
9	0	5	0	0	170	24.7	22.0	24,71	0,06	5,08
10	0	9	0	0	60	25.1	25.0	25,07	0,18	5,64
11	24	9	21	0	17	25.2	28.0	25,19	0,22	5,98
12	48	11	41	0	10	25.3	29.0	25,33	0,26	6,43
13	48	10	40	0	58	25.5	29.0	25,49	0,32	7,08
14	1	10	0	0	85	25.7	27.0	25,67	0,38	7,95
15	1	8	0	0	84	25.1	25.0	25,12	0,19	5,77
16	2	5	0	0	-5	24.6	24.0	24,59	0,02	5,01
17	3	1	0	0	-56	24.4	24.0	24,42	-0,03	5,03
18	6	0	0	132	-83	24.6	23.0	24,58	0,02	5,01
19	5	0	0	132	-55	24.5	22.0			
20	2	0	0	132	-90	24.1	21.0			
21	1	0	0	132	-132	24.0	21.0			
22	1	0	0	272	-179	23.9	19.0			
23	0	0	0	140	-208	23.6	19.0			
<b>total:</b>	<b>142</b>	<b>77</b>	<b>102</b>	<b>2202</b>	<b>-2370</b>					

Tabela D.5: Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 22/12

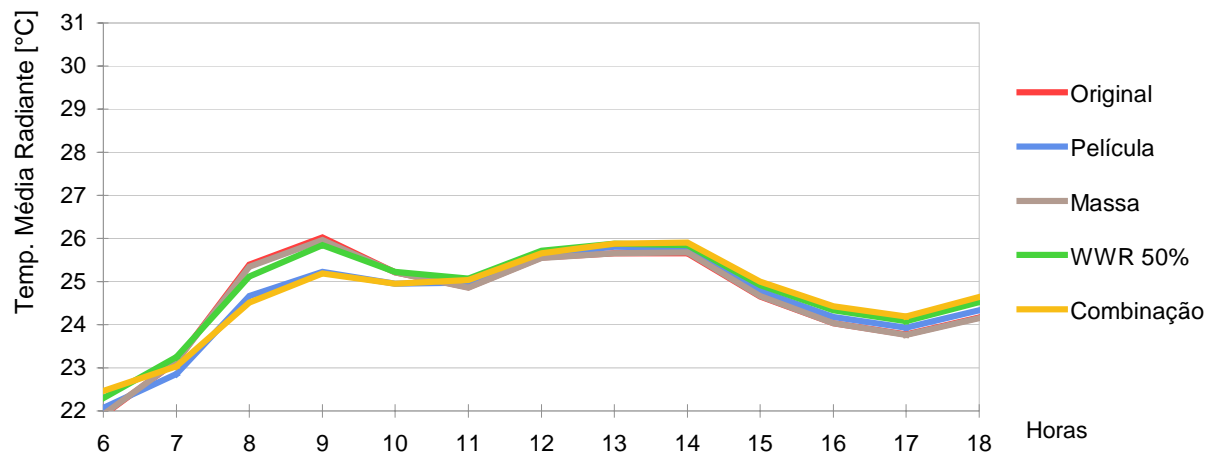


Gráfico D.1 - Temperatura Média Radiante; sala sul, dia 22/12

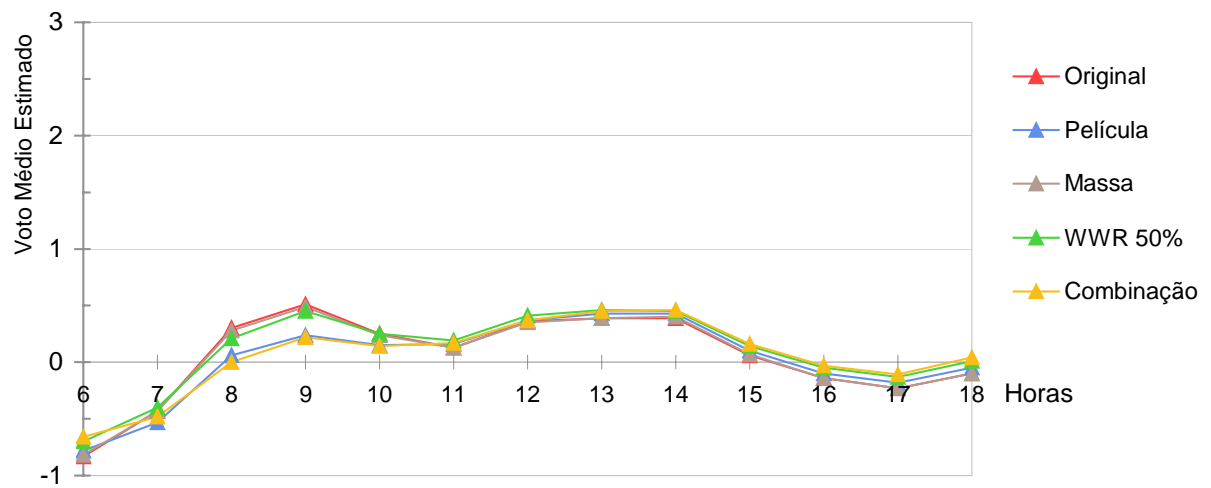


Gráfico D.2 - Voto Médio Estimado; sala sul, dia 22/12

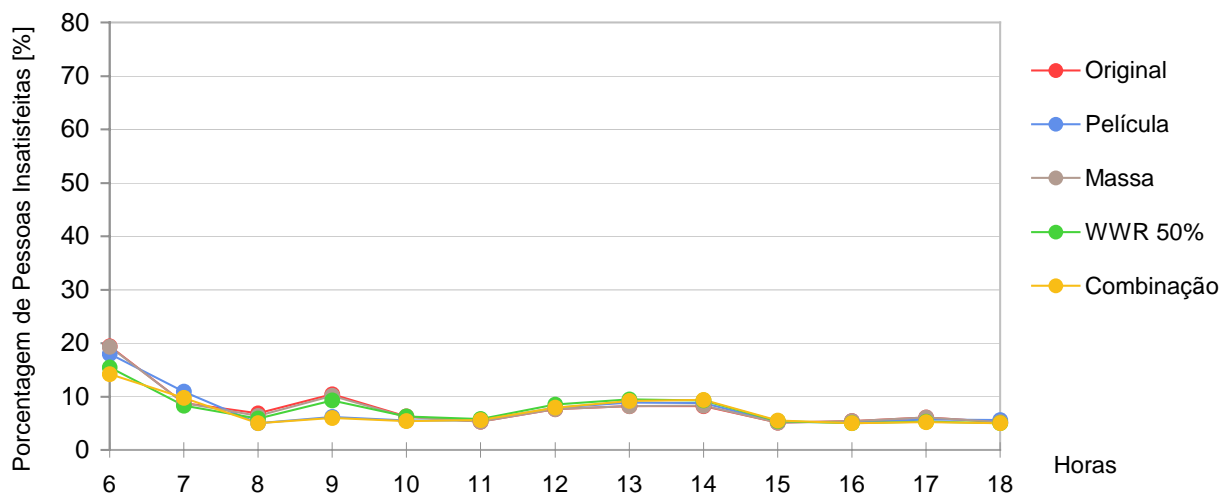


Gráfico D.3 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala sul, dia 22/12

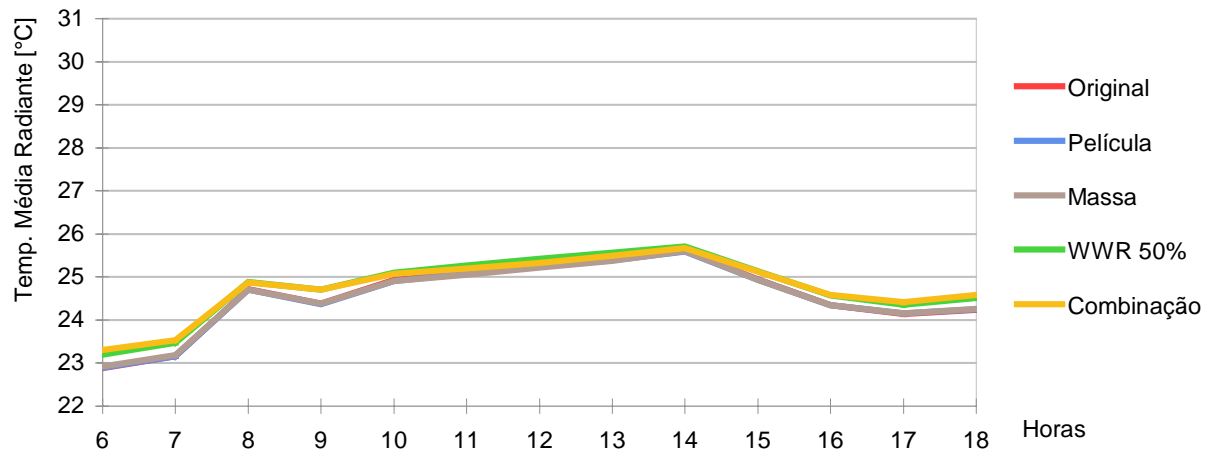


Gráfico D.4 - Temperatura Média Radiante; suíte norte, dia 22/12

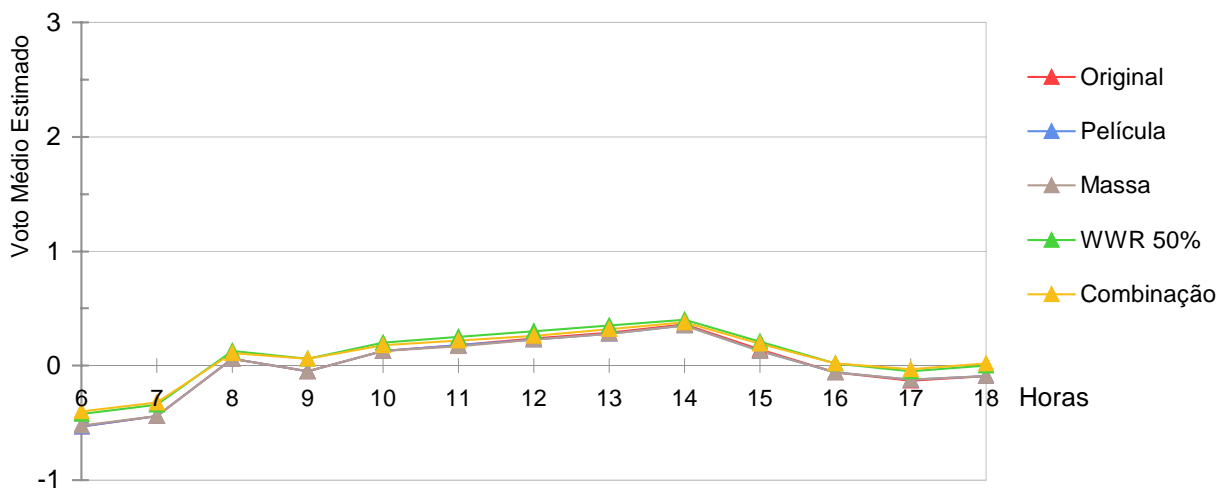


Gráfico D.5 - Voto Médio Estimado; suíte norte, dia 22/12

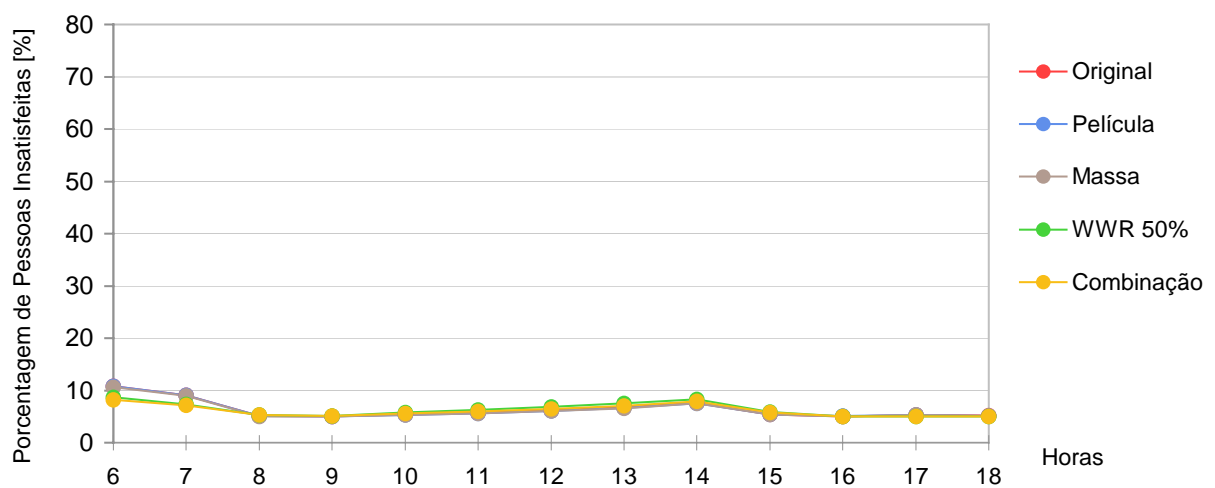


Gráfico D.6 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte norte, dia 22/12



### Apto. norte-sul SITUAÇÃO ORIGINAL, 22 de junho

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-132	0	-67	0	-40	18.5	16.0			
1	-263	0	-134	0	-111	17.9	14.0			
2	-244	0	-124	0	-225	17.7	14.3			
3	-329	0	-193	0	-194	17.4	13.0			
4	-329	0	-193	0	-281	17.2	13.0			
5	-290	0	-148	0	-329	17.3	13.6			
6	-329	0	-168	0	-271	17.3	13.0			
7	-197	3	-101	0	-368	17.5	15.0	17,54	-2,23	85,83
8	0	8	0	0	-363	18.2	18.0	18,21	-2,01	77,4
9	1	11	0	0	-246	19.1	20.0	19,13	-1,72	63,06
10	1	9	0	0	-60	20.2	22.0	20,2	-1,39	44,78
11	1	10	0	0	196	21.3	23.6	21,32	-1,03	27,58
12	1	11	0	280	316	22.5	24.0	22,41	-0,68	14,83
13	1	14	0	280	378	22.8	25.0	22,79	-0,56	11,6
14	1	14	0	280	331	23.0	26.2	22,97	-0,5	10,28
15	1	9	0	0	411	22.5	26.0	22,44	-0,65	14,54
16	1	5	0	0	488	22.4	25.0	22,38	-0,69	15,11
17	0	1	0	0	392	21.8	24.0	21,74	-0,9	22,02
18	0	0	0	395	128	21.5	22.0			
19	0	0	0	395	143	21.2	21.0			
20	0	0	0	395	78	20.8	20.0			
21	0	0	0	395	44	20.4	19.0			
22	0	0	0	395	-25	19.9	18.0			
23	0	0	0	0	2	19.1	18.0			
total:	-2104	95	-1127	2816	395					

#### SUÍTE norte (azim. 342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-75	0	-35	140	-46	18.5	16.0			
1	-150	0	-69	140	-85	18.0	14.0			
2	-139	0	-64	140	-138	17.9	14.3			
3	-188	0	-100	140	-126	17.6	13.0			
4	-188	0	-100	140	-169	17.5	13.0			
5	-165	0	-76	140	-189	17.6	13.6			
6	-188	0	-87	140	-158	17.6	13.0			
7	-112	21	-52	140	-201	17.9	15.0	17,69	-2,14	82,73
8	4	147	0	140	-224	18.7	18.0	18,53	-1,88	70,86
9	9	373	0	0	-171	19.9	20.0	19,69	-1,51	51,49
10	16	718	0	0	-164	21.8	22.0	21,59	-0,91	22,42
11	20	960	0	0	-92	23.4	23.6	23,22	-0,38	8,11
12	22	1050	0	0	-2	24.2	24.0	24,01	-0,13	5,35
13	18	877	0	0	86	24.1	25.0	23,9	-0,16	5,58
14	12	576	0	0	159	23.5	26.2	23,35	-0,34	7,46
15	12	583	0	0	139	23.4	26.0	23,34	-0,38	7,96
16	5	262	0	0	260	22.5	25.0	22,35	-0,67	14,32
17	0	1	0	0	260	21.2	24.0	20,98	-1,1	30,59
18	0	0	0	132	149	20.7	22.0			
19	0	0	0	132	146	20.3	21.0			
20	0	0	0	132	104	19.9	20.0			
21	0	0	0	132	77	19.5	19.0			
22	0	0	0	272	-8	19.4	18.0			
23	0	0	0	140	-18	19.0	18.0			
total:	-1085	5568	-583	2202	-410					

Tabela E.1: Dados simulados, apto. norte-sul – situação original, dia 22/06

### Apto. norte-sul COM PELÍCULA REFLETIVA INCOLOR, 22 de junho

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-132	0	-67	0	-41	18.5	16.0			
1	-263	0	-134	0	-112	17.9	14.0			
2	-244	0	-124	0	-225	17.7	14.3			
3	-329	0	-193	0	-195	17.4	13.0			
4	-329	0	-193	0	-281	17.2	13.0			
5	-290	0	-148	0	-330	17.3	13.6			
6	-329	0	-168	0	-271	17.3	13.0			
7	-197	2	-101	0	-368	17.5	15.0	17,54	-2,23	85,83
8	0	4	0	0	-362	18.2	18.0	18,21	-2,02	77,46
9	1	5	0	0	-244	19.1	20.0	19,13	-1,73	63,16
10	1	4	0	0	-59	20.2	22.0	20,2	-1,39	44,86
11	1	5	0	0	197	21.3	23.6	21,31	-1,04	27,65
12	1	5	0	280	318	22.4	24.0	22,4	-0,69	14,89
13	1	7	0	280	379	22.8	25.0	22,78	-0,56	11,67
14	1	7	0	280	333	23.0	26.2	22,97	-0,5	10,34
15	1	5	0	0	412	22.5	26.0	22,44	-0,67	14,59
16	1	3	0	0	489	22.4	25.0	22,38	-0,69	15,13
17	0	0	0	0	392	21.8	24.0	21,74	-0,9	22
18	0	0	0	395	127	21.5	22.0			
19	0	0	0	395	143	21.2	21.0			
20	0	0	0	395	77	20.8	20.0			
21	0	0	0	395	43	20.4	19.0			
22	0	0	0	395	-25	19.9	18.0			
23	0	0	0	0	2	19.1	18.0			
<b>total:</b>	<b>-2104</b>	<b>47</b>	<b>-1127</b>	<b>2816</b>	<b>398</b>					

#### SUÍTE norte (azim. 342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-75	0	-35	140	-87	18.8	16.0			
1	-150	0	-69	140	-125	18.3	14.0			
2	-139	0	-64	140	-179	18.1	14.3			
3	-188	0	-100	140	-167	17.9	13.0			
4	-188	0	-100	140	-209	17.7	13.0			
5	-165	0	-76	140	-230	17.8	13.6			
6	-188	0	-87	140	-199	17.8	13.0			
7	-112	10	-52	140	-238	18.1	15.0	18,01	-2,06	79,34
8	4	72	0	140	-239	18.8	18.0	18,72	-1,84	68,95
9	9	183	0	0	-147	19.7	20.0	19,62	-1,55	53,87
10	16	351	0	0	-78	21.2	22.0	21,12	-1,08	29,55
11	20	470	0	0	36	22.6	23.6	22,47	-0,65	13,79
12	22	514	0	0	141	23.3	24.0	23,16	-0,42	8,73
13	18	429	0	0	199	23.3	25.0	23,25	-0,4	8,26
14	12	282	0	0	219	23.1	26.2	23,04	-0,46	9,47
15	12	285	0	0	201	23.0	26.0	22,93	-0,5	10,18
16	5	128	0	0	265	22.5	25.0	22,4	-0,67	14,41
17	0	0	0	0	220	21.4	24.0	21,34	-1,01	26,51
18	0	0	0	132	108	21.0	22.0			
19	0	0	0	132	106	20.6	21.0			
20	0	0	0	132	64	20.2	20.0			
21	0	0	0	132	36	19.7	19.0			
22	0	0	0	272	-49	19.7	18.0			
23	0	0	0	140	-58	19.3	18.0			
<b>total:</b>	<b>-1085</b>	<b>2725</b>	<b>-583</b>	<b>2202</b>	<b>-408</b>					

Tabela E.2: Dados simulados, apto. norte-sul – com película refletiva incolor, dia 22/06

### Apto. norte-sul COM MAIOR MASSA TÉRMICA, 22 de junho

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-125	0	-67	0	-43	18.5	16.0			
1	-250	0	-134	0	-116	17.9	14.0			
2	-231	0	-124	0	-229	17.7	14.3			
3	-312	0	-193	0	-200	17.4	13.0			
4	-313	0	-193	0	-286	17.2	13.0			
5	-277	0	-147	0	-333	17.3	13.6			
6	-315	0	-168	0	-276	17.3	13.0			
7	-192	10	-101	0	-371	17.6	15.0	17,57	-2,22	85,52
8	-5	25	0	0	-366	18.2	18.0	18,24	-2,01	77,07
9	-6	32	0	0	-246	19.2	20.0	19,15	-1,72	62,9
10	-6	27	0	0	-56	20.2	22.0	20,19	-1,39	45,02
11	-6	29	0	0	202	21.3	23.6	21,29	-1,04	27,99
12	-6	33	0	280	324	22.4	24.0	22,38	-0,7	15,18
13	-4	41	0	280	384	22.8	25.0	22,76	-0,57	11,86
14	0	41	0	280	338	23.0	26.2	22,94	-0,51	10,52
15	0	28	0	0	419	22.4	26.0	22,41	-0,69	14,9
16	0	16	0	0	497	22.4	25.0	22,34	-0,71	15,5
17	0	2	0	0	401	21.7	24.0	21,7	-0,91	22,54
18	0	0	0	395	135	21.5	22.0			
19	0	0	0	395	149	21.2	21.0			
20	0	0	0	395	81	20.7	20.0			
21	0	0	0	395	46	20.4	19.0			
22	0	0	0	395	-24	19.9	18.0			
23	0	0	0	0	2	19.1	18.0			
<b>total:</b>	<b>-2045</b>	<b>286</b>	<b>-1127</b>	<b>2816</b>	<b>433</b>					

#### SUÍTE norte (azim. 342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-71	0	-35	140	-48	18.5	16.0			
1	-142	0	-69	140	-88	18.0	14.0			
2	-131	0	-64	140	-140	17.9	14.3			
3	-178	0	-100	140	-129	17.6	13.0			
4	-178	0	-100	140	-171	17.5	13.0			
5	-158	0	-76	140	-191	17.6	13.6			
6	-179	0	-87	140	-161	17.6	13.0			
7	-110	21	-52	140	-201	17.9	15.0	17,69	-2,14	82,76
8	-3	147	0	140	-221	18.7	18.0	18,52	-1,88	71,18
9	-4	373	0	0	-164	19.8	20.0	19,65	-1,53	52,36
10	-4	718	0	0	-151	21.7	22.0	21,51	-0,94	23,52
11	-4	960	0	0	-75	23.3	23.6	23,1	-0,42	8,74
12	-4	1050	0	0	16	24.1	24.0	23,89	-0,17	5,61
13	-2	877	0	0	103	24.0	25.0	23,78	-0,2	5,88
14	2	576	0	0	172	23.4	26.2	23,25	-0,38	7,97
15	4	583	0	0	151	23.3	26.0	23,15	-0,41	8,46
16	6	262	0	0	266	22.5	25.0	22,29	-0,69	14,9
17	8	1	0	0	263	21.1	24.0	20,95	-1,11	31,2
18	8	0	0	132	150	20.7	22.0			
19	7	0	0	132	147	20.3	21.0			
20	5	0	0	132	104	19.9	20.0			
21	5	0	0	132	76	19.5	19.0			
22	2	0	0	272	-9	19.4	18.0			
23	0	0	0	140	-18	19.0	18.0			
<b>total:</b>	<b>-1122</b>	<b>5568</b>	<b>-583</b>	<b>2202</b>	<b>-319</b>					

Tabela E.3: Dados simulados, apto. norte-sul – com maior massa térmica, dia 22/06



### Apto. norte-sul COM WWR 50%, 22 de junho

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-104	0	-67	0	-77	18.8	16.0			
1	-207	0	-134	0	-156	18.1	14.0			
2	-192	0	-124	0	-268	17.9	14.3			
3	-259	0	-193	0	-242	17.7	13.0			
4	-259	0	-193	0	-329	17.5	13.0			
5	-228	0	-147	0	-376	17.5	13.6			
6	-259	0	-168	0	-319	17.5	13.0			
7	-155	0	-101	0	-408	17.7	15.0	17,72	-2,16	83,58
8	2	0	0	0	-392	18.4	18.0	18,35	-1,97	75,29
9	2	0	0	0	-260	19.2	20.0	19,21	-1,7	61,55
10	2	0	0	0	-62	20.3	22.0	20,23	-1,37	44,05
11	2	0	0	0	205	21.4	23.6	21,31	-1,03	27,42
12	2	0	0	280	327	22.5	24.0	22,41	-0,68	14,7
13	3	0	0	280	393	22.8	25.0	22,77	-0,56	11,62
14	3	0	0	280	351	23.0	26.2	22,93	-0,51	10,48
15	2	0	0	0	432	22.5	26.0	22,4	-0,68	14,77
16	1	0	0	0	505	22.4	25.0	22,37	-0,69	15,07
17	0	0	0	0	397	21.8	24.0	21,78	-0,88	21,44
18	0	0	0	395	117	21.6	22.0			
19	0	0	0	395	126	21.3	21.0			
20	0	0	0	395	55	20.9	20.0			
21	0	0	0	395	14	20.6	19.0			
22	0	0	0	395	-59	20.1	18.0			
23	0	0	0	0	-27	19.3	18.0			
<b>total:</b>	<b>-1645</b>	<b>0</b>	<b>-1127</b>	<b>2816</b>	<b>-54</b>					

#### SUÍTE norte (azim.342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-57	0	-35	140	-112	19.0	16.0			
1	-115	0	-69	140	-155	18.5	14.0			
2	-106	0	-64	140	-208	18.4	14.3			
3	-143	0	-100	140	-199	18.2	13.0			
4	-143	0	-100	140	-241	18.0	13.0			
5	-126	0	-76	140	-261	18.1	13.6			
6	-143	0	-87	140	-231	18.1	13.0			
7	-84	14	-52	140	-267	18.4	15.0	18,24	-1,98	75,93
8	10	98	0	140	-272	19.1	18.0	18,97	-1,75	64,59
9	22	249	0	0	-183	20.0	20.0	19,9	-1,46	48,7
10	37	479	0	0	-129	21.6	22.0	21,5	-0,95	24,05
11	47	640	0	0	-23	23.0	23.6	22,92	-0,49	10,09
12	50	700	0	0	79	23.8	24.0	23,65	-0,26	6,38
13	42	585	0	0	153	23.8	25.0	23,64	-0,26	6,42
14	28	384	0	0	200	23.4	26.2	23,26	-0,38	8,09
15	28	389	0	0	180	23.3	26.0	23,16	-0,42	8,65
16	13	174	0	0	268	22.6	25.0	22,49	-0,63	13,45
17	0	1	0	0	231	21.5	24.0	21,36	-0,99	25,88
18	0	0	0	132	108	21.1	22.0			
19	0	0	0	132	99	20.7	21.0			
20	0	0	0	132	52	20.3	20.0			
21	0	0	0	132	18	20.0	19.0			
22	0	0	0	272	-72	19.9	18.0			
23	0	0	0	140	-79	19.5	18.0			
<b>total:</b>	<b>-642</b>	<b>3712</b>	<b>-584</b>	<b>2202</b>	<b>-1044</b>					

Tabela E.4: Dados simulados, apto. norte-sul – com WWR 50%, dia 22/06

### Apto. norte-sul COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES, 22 de junho

#### SALA sul (azim. 162°)

hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-89	0	-67	0	-91	18.8	16.0			
1	-178	0	-134	0	-175	18.2	14.0			
2	-164	0	-124	0	-285	18.0	14.3			
3	-222	0	-193	0	-262	17.8	13.0			
4	-225	0	-193	0	-348	17.6	13.0			
5	-201	0	-147	0	-392	17.6	13.6			
6	-228	0	-168	0	-337	17.6	13.0			
7	-145	0	-101	0	-418	17.8	15.0	17,81	-2,14	82,7
8	-11	0	0	0	-392	18.4	18.0	18,39	-1,96	74,89
9	-14	0	0	0	-253	19.2	20.0	19,2	-1,7	61,87
10	-14	0	0	0	-47	20.2	22.0	20,18	-1,39	45,11
11	-13	0	0	0	225	21.3	23.6	21,22	-1,06	28,85
12	-14	0	0	280	351	22.3	24.0	22,29	-0,72	15,94
13	-8	0	0	280	419	22.7	25.0	22,65	-0,61	12,73
14	1	0	0	280	377	22.8	26.2	22,8	-0,56	11,5
15	1	0	0	0	453	22.3	26.0	22,29	-0,72	15,94
16	1	0	0	0	520	22.3	25.0	22,28	-0,72	16,05
17	1	0	0	0	408	21.8	24.0	21,72	-0,9	22,29
18	1	0	0	395	124	21.6	22.0			
19	1	0	0	395	128	21.3	21.0			
20	1	0	0	395	52	20.9	20.0			
21	1	0	0	395	9	20.6	19.0			
22	0	0	0	395	-67	20.2	18.0			
23	0	0	0	0	-37	19.3	18.0			
<b>total:</b>	<b>-1520</b>	<b>0</b>	<b>-1127</b>	<b>2816</b>	<b>-38</b>					

#### SUÍTE norte (azim. 342°)

Hora	Ganhos e perdas térmicos					Temperaturas			Índices de conforto	
	cond.-conv.	solares	ventilação	internos	zonais	internas	externas	TMR	VME	PPI
0	-48	0	-35	140	-143	19.2	16.0			
1	-95	0	-69	140	-190	18.8	14.0			
2	-88	0	-64	140	-241	18.6	14.3			
3	-119	0	-100	140	-234	18.4	13.0			
4	-121	0	-100	140	-275	18.2	13.0			
5	-108	0	-76	140	-293	18.3	13.6			
6	-123	0	-87	140	-264	18.3	13.0			
7	-79	7	-52	140	-292	18.5	15.0	18,46	-1,93	73,42
8	-7	48	0	140	-275	19.1	18.0	19,04	-1,74	64,1
9	-10	122	0	0	-150	19.8	20.0	19,73	-1,53	52,35
10	-10	234	0	0	-43	21.0	22.0	20,99	-1,13	31,87
11	-8	313	0	0	99	22.2	23.6	22,15	-0,75	17,01
12	-10	343	0	0	215	22.8	24.0	22,79	-0,55	11,37
13	-5	286	0	0	266	23.0	25.0	22,92	-0,51	10,38
14	4	188	0	0	271	22.9	26.2	22,81	-0,54	11,2
15	8	190	0	0	249	22.8	26.0	22,72	-0,57	11,86
16	14	85	0	0	286	22.4	25.0	22,38	-0,68	14,83
17	18	0	0	0	211	21.6	24.0	21,5	-0,96	24,63
18	19	0	0	132	84	21.2	22.0			
19	16	0	0	132	73	20.9	21.0			
20	11	0	0	132	24	20.5	20.0			
21	11	0	0	132	-11	20.1	19.0			
22	5	0	0	272	-100	20.1	18.0			
23	0	0	0	140	-107	19.6	18.0			
<b>total:</b>	<b>-721</b>	<b>1816</b>	<b>-584</b>	<b>2202</b>	<b>-840</b>					

Tabela E.5: Dados simulados, apto. norte-sul – combinação das soluções, dia 22/06

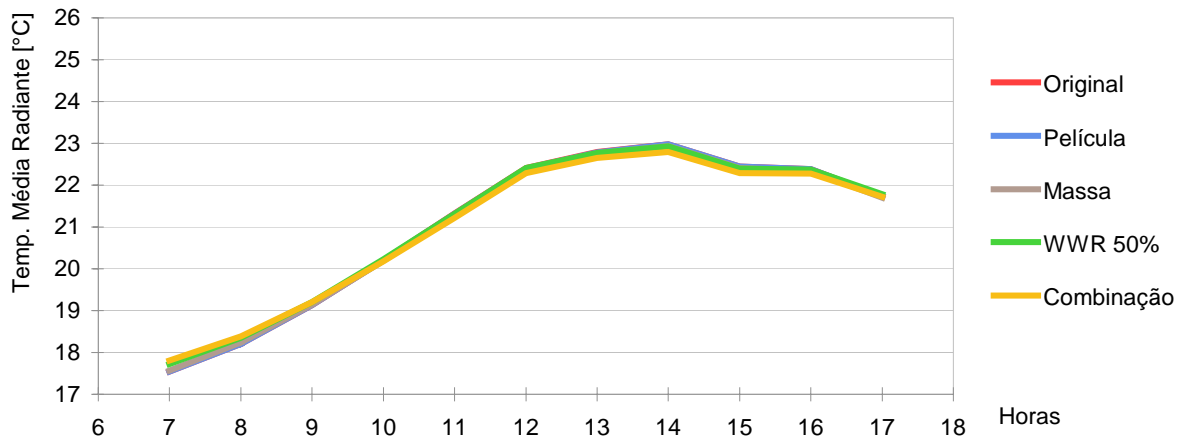


Gráfico E.1 - Temperatura Média Radiante; sala sul, dia 22/06

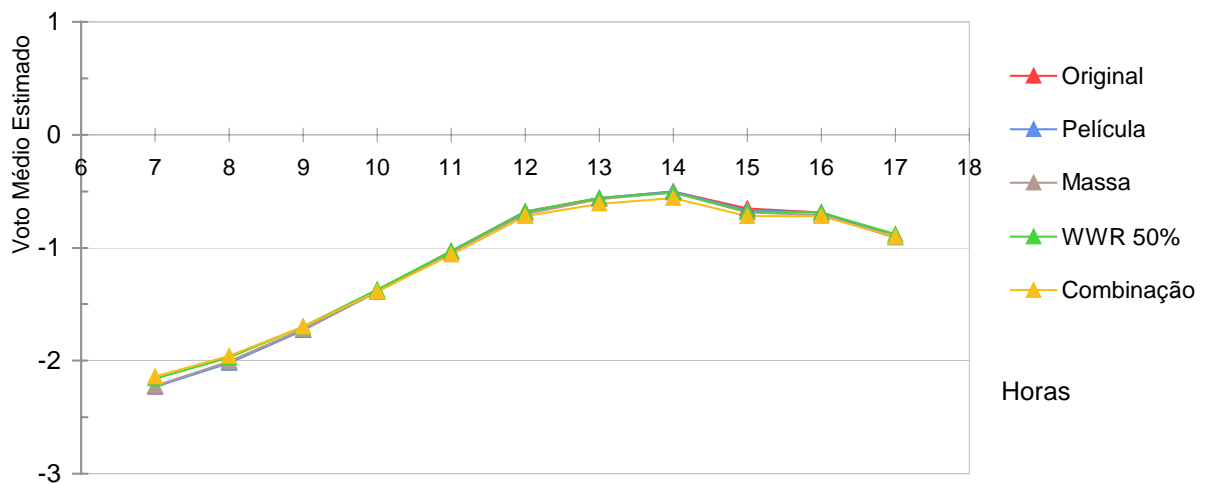


Gráfico E.2 - Voto Médio Estimado; sala sul, dia 22/06

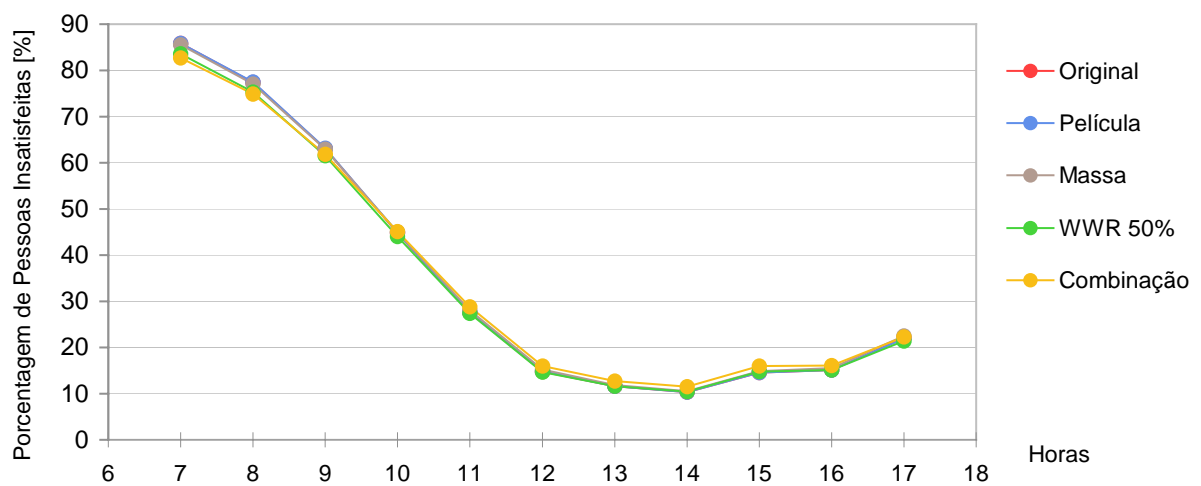


Gráfico E.3 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; sala sul, dia 22/06

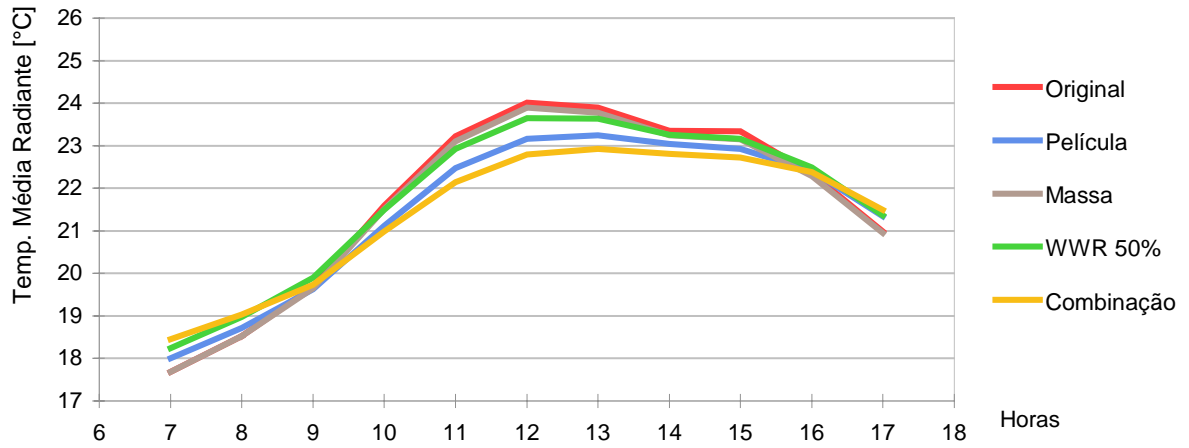


Gráfico E.4 - Temperatura Média Radiante; suíte norte, dia 22/06

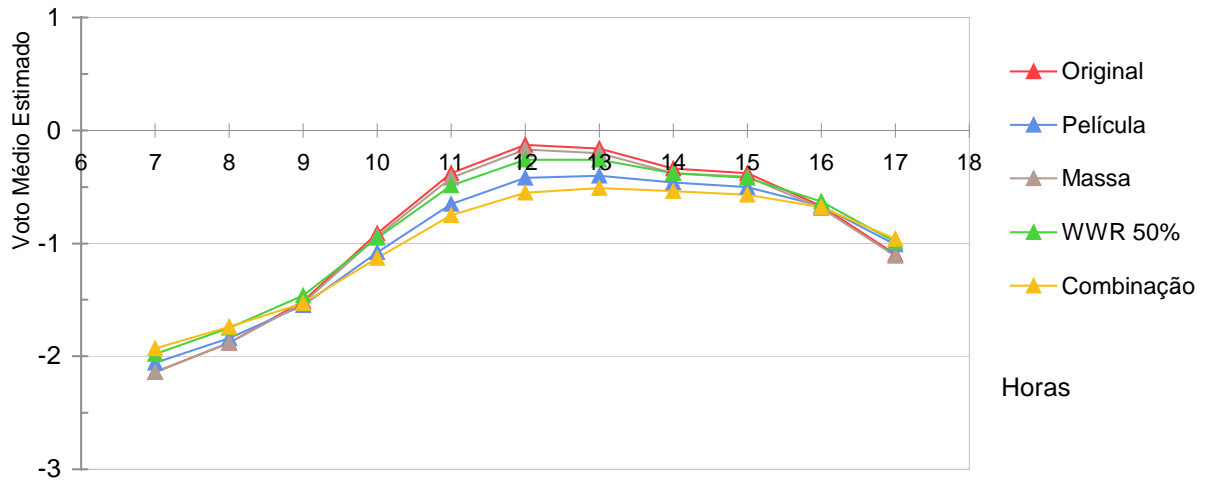


Gráfico E.5 - Voto Médio Estimado; suíte norte, dia 22/06

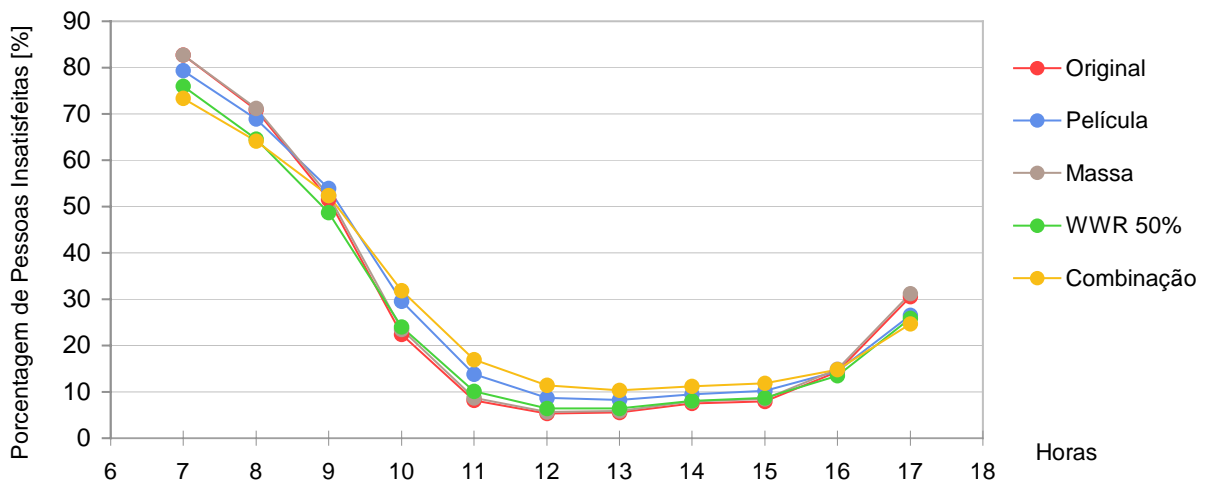


Gráfico E.6 - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas; suíte norte, dia 22/06







Author: [Andrew](#)

Date: 05-Feb-04 10:50

Hi Clarice,

Sorry - probably my fault for spreading confusion.

The best way to model a multi-storey building is to construct all its zones, with all the ceiling objects adjacent to the floor objects of the zones above. This way ECOTECT will automatically work out all the various heat flow paths and solve things properly.

However, who has time to model an entire 50 storey building - especially when all floors are the same. Thus, it is possible to take a short cut - but that is exactly what it is - a short cut. Obviously it will be less accurate, however given uncertainties as to the exact U-value of particular walls and the like, the level of inaccuracy may be ok for the savings in time.

If you assume that the zones above and below will be EXACTLY the same temperature internally, then there will be no heat flow through the floor or the ceiling. Thus, if we replaced the floor and ceiling with PARTITION objects, we would get the same effect, no heat flow through the floor or ceiling. This way we wouldn't have to model the zones above and below - we are essentially ignoring them. If we didn't make the floor and ceiling a partition, ECOTECT would assume that they are exposed to the outside air temperature and we would get incorrect heat flows.

You don't have to model multi-storey buildings this way, however you can if you only want some quick answers in specific areas.

In the next version of ECOTECT, I am getting rid of the need to assign objects as PARTITIONS, I think the rule will be that if a surface is adjacent to another surface that is on a non-thermal zone - ECOTECT will simply ignore heat flows through that object. Thus you could model a single floor in a multi-storey building by simply creating large non-thermal zones immediately above and below it.

Hope that explains things a bit...

Regards,  
Andrew

Dr. Andrew Marsh  
Square One research Pty Ltd