

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de
Escritórios em São Carlos, SP**

Kellen Regina Monte Carrières

Campinas

2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de
Escritórios em São Carlos, SP**

Kellen Regina Monte Carrières

Orientador: Maurício Roriz

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Campinas, SP

2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C23d	<p>Carrières, Kellen Regina Monte</p> <p>Desempenho térmico e consumo energético de edifícios de escritórios em São Carlos, SP. / Kellen Regina Monte Carrières.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.</p> <p>Orientador: Maurício Roriz</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.</p> <p>1. Energia elétrica - Consumo. 2. Conforto térmico. 3. Edifícios comerciais. I. Roriz, Maurício. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.</p>
------	--

Titulo em Inglês: Thermal performance and energy consumption of buildings of offices in São Carlos, SP

Palavras-chave em Inglês: Energy consumption, Thermal comfort, Building of offices

Área de concentração: Arquitetura e Edificações

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lucila Chebel Labaki e Joaquim Pizzutti dos Santos

Data da defesa: 31/08/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de
Escritórios em São Carlos, SP**

Kellen Regina Monte Carrières

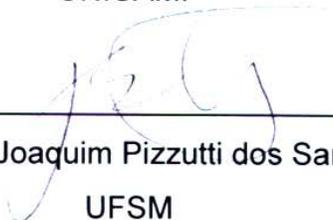
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Maurício Roriz
Presidente e Orientador / FEC/UFSCar



Prof.ª Dr.ª Lucila Labaki
UNICAMP



Prof. Dr. Joaquim Pizzutti dos Santos
UFSM

Campinas, 31 de agosto de 2007

DEDICATÓRIA

Dedicatória

Dedico esta dissertação à memória de minha avó, Caetana e de meu pai, Rosualdo, que sempre olham por mim e guiam minha vida.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a **Deus** que sempre esteve presente na minha vida, iluminando meus caminhos.

Agradeço **minha mãe, Terezinha e minhas irmãs, Renata e Érika**, pelo apoio dado durante toda a pesquisa. Ao **meu pai**, que apesar de não estar junto de nós, tem olhado por mim.

Ao **meu marido, José André**, que com muito amor e paciência me deu apoio incondicional antes e durante a pesquisa.

Ao **meu orientador, professor Maurício Roriz**, por sua competente orientação, dedicação e pelos seus valiosos ensinamentos.

A todos os **professores e alunos** das sete cidades brasileiras que participaram desse trabalho, principalmente aos coordenadores da pesquisa **Roberto Lamberts e Eneidir Ghisi**.

Aos **professores Lucila Labaki, Joaquim Pizzutti, Doris Kowaltowski e João Roberto Faria**, que aceitaram participar na banca examinadora como membros titulares e membros suplentes.

Ao **Bruno e Felipe** da Estatística da UFSCar pela ajuda nas análises.

À **arquiteta Renata Barbugli**, que colaborou muito com essa pesquisa.

À **advogada Regina** e ao **fotógrafo Marcelo** que permitiram que fossem realizadas as medições em suas salas no edifício Conde do Pinhal.

As **advogadas Renata e Cidinha** que também possibilitaram as medições no edifício Luciano Zanollo.

Aos **médicos Clóvis e Pripas** pela permissão das medições no edifício Centro Médico.

EPIGRAFE

“As grandes coisas são feitas por pessoas que
tem grandes idéias e saem pelo mundo para fazer
com que seus sonhos se tornem realidades”

Ernest Holmes

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	x
Lista de Figuras	xiv
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Estrutura da Dissertação	3
1.2. Contexto da Dissertação	4
2. OBJETIVOS DA PESQUISA	6
2.1. Objetivo Geral	6
2.2. Objetivos Específicos	6
3. JUSTIFICATIVA	7
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1. Demanda Energética Mundial	8
4.2. Cenário Energético Brasileiro	9
4.3. Fontes Alternativas de Energia.....	11
4.4. Normas de Eficiência Energética.....	18
4.5. Eficiência Energética e Conforto Térmico	25
4.6. Eficiência Energética e Iluminação.....	33
4.7. Softwares de Simulação Termo-Energética	39
5. MATERIAIS E MÉTODOS	44
5.1. Identificação dos Edifícios de Escritórios Existentes	44
5.2. Escolha das Tipologias e Caracterização do Padrão de Uso e Ocupação das Edificações	44
5.3. Instrumentos de Medição	45
5.4. Locais das Medições de Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	46
5.5. Análise Climática Segundo a Norma Ashrae 55-2004	46
5.6. Simulações Termo-Energéticas.....	47

5.6.1. Ano Climático Típico de São Carlos (TRY).....	48
5.6.2. Caracterização do Edifício de Referência e suas Variações.....	48
5.6.3. Codificação dos Casos em Função dos Parâmetros Definidos.....	50
5.7. Análise Estatística dos Dados Simulados.....	51
6. O CLIMA LOCAL.....	53
7. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS.....	58
7.1. Identificação dos Edifícios de Escritórios	58
7.2. Escolha das Tipologias.....	74
7.3. Características do Padrão de Uso e Ocupação das Edificações	74
7.3.1 Padrão de Uso e Ocupação das Atividades de Advocacia e Medicina	75
7.4. Medições de Inverno e Verão - Temperatura e Umidade do Ar	79
7.5. Análise Climática Segundo a Norma Ashrae 55-2004	88
8. SIMULAÇÕES TERMO-ENERGÉTICAS.....	94
8.1. TRY de São Carlos.....	94
8.2. Caracterização do Edifício de Referência	98
9. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	101
9.1 Tratamento dos Dados.....	101
9.2 Regressão Linear Múltipla.....	102
9.2.1 Pavimento Intermediário - Mês de Junho.....	104
9.2.2 Pavimento Intermediário - Mês de Dezembro.....	110
9.2.3 Pavimento Cobertura - Mês de Junho.....	114
9.2.4 Pavimento Cobertura - Mês de Dezembro.....	120
10. CONCLUSÃO.....	125
10.1 Limitações do Trabalho	127
10.2 Sugestões para Futuros Trabalhos	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
APÊNDICE	135
Apêndice A Códigos de Eficiência Energética para Edificações Residenciais e Comerciais Adotados nos Estados Unidos.....	135
Apêndice B Questionário - Padrão de Uso e Ocupação.....	141
Apêndice C Padrão de Uso das Edificações Estudadas	143
Apêndice D Cálculo de Graus-Hora de Frio e Calor.....	147
GLOSSÁRIO.....	152

Lista de Tabelas

4 Revisão Bibliográfica

Tabela 4.1 - Projetos de Energia Eólica Implementados no Brasil.....	15
Tabela 4.2 - Códigos de Eficiência Energética - Edifícios Comerciais	20
Tabela 4.2.1 - Códigos de Eficiência Energética - Edifícios Comerciais	21
Tabela 4.3 - Estrutura de Avaliação do LEED	22
Tabela 4.4 - Tipologias de Janelas.....	31
Tabela 4.4.1 - Tipologias de Janelas.....	32
Tabela 4.5 - Consumo de Energia com Iluminação em Edificações Comerciais	34

5 Materiais e Métodos

Tabela 5.6 - Dados do Sistema Hobo.....	45
Tabela 5.7 - Códigos para Gravação dos Arquivos.....	50
Tabela 5.8 - Exemplo de Codificação das Alternativas para a Etapa de Simulação	51

6 O Clima Local

Tabela 6.9 - Aberturas para Ventilação e Sombreamento das Aberturas para a Zona Bioclimática 4.....	56
Tabela 6.10 - Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator de Calor Solar Admissíveis para Vedações Externas para a Zona Bioclimática 4.....	56
Tabela 6.11 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4	57

7 Diagnóstico da Situação Atual dos Edifícios de Escritórios

Tabela 7.12 - Edifício Bandeirantes.....	59
Tabela 7.12.1 - Características Construtivas.....	60
Tabela 7.12.2 - Características dos Pavimentos.....	60
Tabela 7.12.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	60
Tabela 7.13 - Edifício Conde do Pinhal	61
Tabela 7.13.1 - Características Construtivas.....	62
Tabela 7.13.2 - Características dos Pavimentos	62
Tabela 7.13.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	62
Tabela 7.14 - Edifício Racz Center	63
Tabela 7.14.1 - Características Construtivas.....	64
Tabela 7.14.2 - Características dos Pavimentos	64
Tabela 7.14.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	64
Tabela 7.15 - Edifício Rotary Club.....	65
Tabela 7.15.1 - Características Construtivas.....	66
Tabela 7.15.2 - Características dos Pavimentos	66
Tabela 7.15.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	66
Tabela 7.16 - Edifício Luciano Zanollo	67
Tabela 7.16.1 - Características Construtivas.....	68
Tabela 7.16.2 - Características dos Pavimentos	68
Tabela 7.16.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	68
Tabela 7.17 - Edifício Centro Médico	69
Tabela 7.17.1 - Características Construtivas.....	70
Tabela 7.17.2 - Características dos Pavimentos	70
Tabela 7.17.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo.....	70
Tabela 7.18 - Características Gerais	71
Tabela 7.19 - Sistemas Construtivos.....	71
Tabela 7.20 - Características da Implantação dos Edifícios.....	72
Tabela 7.21 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Bandeirantes.....	72
Tabela 7.22 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Conde do Pinhal	72
Tabela 7.23 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Racz Center	72
Tabela 7.24 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Rotary Club.....	73
Tabela 7.25 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Luciano Zanollo.....	73

Tabela 7.26 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo – Centro Médico.....	73
Tabela 7.27 - Salas Analisadas	75
Tabela 7.28 - Nº Equipamentos em Salas de Advocacia	76
Tabela 7.29 - Nº Equipamentos em Salas de Medicina	78
Tabela 7.30 - Aplicação do Modelo para a Cidade de São Carlos.....	89

8 Simulações Termo-Energéticas

Tabela 8.31 - Médias Mensais de Temperatura em São Carlos (1999 a 2004).....	94
Tabela 8.32 - Seqüência de Eliminação dos Anos	95
Tabela 8.33 - Eliminação dos Anos	95
Tabela 8.34 - Dados de Temperatura e Umidade do Ano de 2004.....	98
Tabela 8.35 - Dados de Temperatura e Umidade dos Períodos de Verão e Inverno de 2004.....	98
Tabela 8.36 - Parâmetros Variáveis nas Simulações.....	100

9 Análise Estatística

Tabela 9.37 - Orientação Solar.....	101
Tabela 9.38 - Capacidade Térmica e Transmitância dos Materiais.....	102
Tabela 9.39 - Valores em Escalas Diferentes.....	103
Tabela 9.40 - Valores em escalas Uniformizadas.....	103
Tabela 9.41 - Consumo para Resfriamento (escalas diferentes).....	104
Tabela 9.42 - Consumo para Resfriamento (escalas Uniformizadas).....	105
Tabela 9.43 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho.....	106
Tabela 9.44 - Consumo para Aquecimento (escalas diferentes).....	108
Tabela 9.45 - Consumo para Aquecimento (escalas Uniformizadas).....	109
Tabela 9.46 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho.....	110
Tabela 9.47 - Consumo para Resfriamento (escalas diferentes).....	110
Tabela 9.48 - Consumo para Resfriamento (escalas Uniformizadas).....	111
Tabela 9.49 - Desempenho Térmico das Variáveis em Dezembro.....	112
Tabela 9.50 - Consumo para Resfriamento (escalas diferentes).....	114
Tabela 9.51 - Consumo para Resfriamento (escalas Uniformizadas).....	115
Tabela 9.52 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho.....	116
Tabela 9.53 - Consumo para Aquecimento (escalas diferentes).....	118

Tabela 9.54 - Consumo para Aquecimento (escalas Uniformizadas).....	119
Tabela 9.55 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho.....	119
Tabela 9.56 - Consumo para Resfriamento (escalas diferentes).....	120
Tabela 9.57 - Consumo para Resfriamento (escalas Uniformizadas).....	121
Tabela 9.58 - Desempenho Térmico das Variáveis em Dezembro.....	121

Lista de Figuras

4 Revisão Bibliográfica

Figura 4.1 - Oferta Interna de Energia 1970-2025.....	9
Figura 4.2 - Emissões de Dióxido de Carbono	9
Figura 4.3 - Consumo Final de Energia no Brasil.....	10
Figura 4.4 - Estrutura da Oferta Interna de Energia no Brasil.....	12
Figuras 4.5 e 4.6 - Estrutura da Oferta Interna no Mundo e Estrutura da Oferta Interna na OCDE.....	12
Figuras 4.7 e 4.8 - Painéis Fotovoltaicos Aplicados na Fachada e Painéis Aplicados na Cobertura e Terraço	17
Figuras 4.9 e 4.10 - Sistema de Eletrificação Residencial e Sistema Fotovoltaico em Parque Ecológico.....	18
Figura 4.11 - Modelo de Certificado Energético para Edifícios	19
Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 - Fachada do Edifício, Área Interna e Sistema Fotovoltaico....	22
Figura 4.15 - Carta Bioclimática de Olgyay	25
Figura 4.16 - Carta de Givoni Adotada para o Brasil.....	26
Figura 4.17 - Exemplo de Edifício Comercial em São Paulo.....	27
Figura 4.18 - Pátio Interno.....	37
Figura 4.19 - Átrio.....	37
Figura 4.20 - Prateleira de Luz	37
Figura 4.21 - Parede Refletora	37
Figura 4.22 - Shed.....	37
Figura 4.23 - Dutos de Luz	37
Figura 4.24 - Clerestory	37
Figura 4.25 - Refletor Interno.....	37
Figura 4.26 - Elemento Prismático	37

Figura 4.27 - Superfície Inclín. e Reflex.....	37
Figura 4.28 - Vidro Reflexivo	37
Figura 4.29 - Isolação Térmica Transp.....	37
Figura 4.30 - Exemplo de Edifício com Brise Fixo.....	38

5 Materiais e Métodos

Figura 5.31 - Proteção	46
------------------------------	----

6 O Clima Local

Figura 6.32 - Localização no Estado de São Paulo.....	53
Figura 6.33 - São Carlos e Municípios Vizinhos.....	53
Figura 6.34 - Dados Mensais de Temperatura do Ano de 2005.....	55
Figura 6.35 - Dados Mensais de Umidade do Ar do Ano de 2005	55
Figura 6.36 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	56
Figura 6.37 - Zona Bioclimática 4	56

7 Diagnóstico da Situação Atual dos Edifícios de Escritórios

Figura 7.38 - Tempo de Uso de Equipamentos.....	76
Figura 7.39 - Ocupação	77
Figura 7.40 - Tempo de Uso de Equipamentos.....	78
Figura 7.41 - Ocupação	78
Figura 7.42 - Croqui do Edifício Conde do Pinhal	80
Figura 7.43 - Croqui do Edifício Luciano Zanollo.....	80
Figura 7.44 - Croqui do Edifício Centro Médico.....	81
Figura 7.45 - Temperatura do Ar no Edifício Conde do Pinhal (inverno).....	82
Figura 7.46 - Umidade Relativa no Edifício Conde do Pinhal (inverno).....	82
Figura 7.47 - Temperatura do Ar no Edifício Conde do Pinhal (verão).....	83
Figura 7.48 - Umidade Relativa no Edifício Conde do Pinhal (verão).....	83
Figura 7.49 - Temperatura do Ar no Edifício Luciano Zanollo (inverno).....	84
Figura 7.50 - Umidade Relativa no Edifício Luciano Zanollo (inverno).....	84
Figura 7.51 - Temperatura do Ar no Edifício Luciano Zanollo (verão).....	85
Figura 7.52 - Umidade Relativa no Edifício Luciano Zanollo (verão).....	85
Figura 7.53 - Temperatura do Ar no Edifício Centro Médico (inverno).....	86

Figura 7.54 - Umidade Relativa no Edifício Centro Médico (inverno).....	86
Figura 7.55 - Temperaturas do Ar no Edifício Centro Médico (verão).....	87
Figura 7.56 - Umidade Relativa no Edifício Centro Médico (verão).....	87
Figura 7.57 - Temperaturas Confortáveis em Função das Médias Mensais das Temperaturas Externas.....	88
Figura 7.58 - Graus-Hora de Desconforto por Calor no Edifício Centro Médico (O/NO/N/L/SE).....	90
Figura 7.59 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Centro Médico (L/SE/S/O).....	91
Figura 7.60 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Conde do Pinhal (N/E).....	92
Figura 7.61 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Luciano Zanollo (S/O).....	93
Figura 7.62 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Luciano Zanollo (N/E).....	93

8 Simulações Termo-Energéticas

Figura 8.63 - Temperaturas e Umidade Relativa ao Longo do Ano	96
Figura 8.64 - Classificação Bioclimática do Ano Típico, Conforme o Modelo de Givoni.....	96
Figura 8.65 - Clima úmido: 8 a 14 janeiro.....	97
Figura 8.66 - Clima seco: 1 a 7 setembro.....	97
Figura 8.67 - Clima ameno: 28 março a 3 abril	97
Figura 8.68 - Clima frio: 19 a 25 julho.....	97
Figura 8.69 - Planta do Edifício de Referência	98

9 Análise Estatística

Figura 9.70 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	105
Figura 9.71 - Relação entre Absortância da Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho.....	107
Figura 9.72 - Relação entre PJF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - - Mês Junho.....	107
Figura 9.73 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	109
Figura 9.74 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	111
Figura 9.75 - Relação entre Absortância da Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro.....	112

Figura 9.76 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - - Mês Dezembro.....	113
Figura 9.77 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	115
Figura 9.78 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho.....	116
Figura 9.79 - Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho.....	116
Figura 9.80 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - - Mês Junho.....	117
Figura 9.81 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	118
Figura 9.82 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado.....	120
Figura 9.83 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - - Mês Dezembro.....	122
Figura 9.84 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento Mês Dezembro.....	122
Figura 9.85 - Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro.....	122

RESUMO

CARRIÉRES, Kellen Monte. **Desempenho térmico e consumo energético de edifícios de escritórios em São Carlos, SP**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 151 f. Dissertação.

Com a crise energética e o alto consumo de eletricidade, é crescente a preocupação com a economia de energia, principalmente em edifícios dos setores públicos e comerciais, pois são os grandes consumidores. Com isso, muitos pesquisadores da área estão direcionando suas pesquisas científicas para o estudo do conforto térmico do homem, em busca de edifícios mais eficientes energeticamente. Baseado nesses fatos, esse trabalho avalia a influência de parâmetros construtivos com relação ao consumo de energia e ao conforto térmico de edifícios de escritórios da cidade de São Carlos, de forma a adequar os edifícios ao clima da cidade. Para tal análise, foram estudados seis edifícios com relação à caracterização construtiva, dos quais três foram escolhidos para o levantamento do padrão de uso e ocupação desse tipo de edificação, e para monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar. Foram realizadas para o clima da cidade, simulações de um edifício de referência que apresenta alguns parâmetros fixos, que foram adotados por representarem os sistemas construtivos mais utilizados no Brasil, e outros variáveis como a orientação, sistema construtivo, porcentagem de vidro na fachada, absorvância da fachada e da cobertura e renovações de ar. Cada parâmetro variável foi simulado com todos os outros fixos, obtendo-se assim resultados reais da influência de cada um. Os resultados dessas simulações foram analisados estatisticamente por regressão linear múltipla. Com essa análise pôde-se determinar a influência de cada parâmetro no consumo de energia. A

absortância da cobertura foi o parâmetro que mais influenciou no consumo, chegando a 160% a mais no mês de junho e 238% a mais no mês de dezembro, isso em relação a absorptância da fachada, parâmetro de menor influência nesses modelos. Além disso, foram calculadas as diferenças de consumo entre os maiores e menores valores para todas as combinações adotadas nesse trabalho, chegando as situações ideais para o consumo de aquecimento e resfriamento. Em todos os casos, com exceção da capacidade térmica do sistema construtivo, os menores valores de cada parâmetro foram os que obtiveram um menor consumo total em todas as situações.

Palavras Chave: consumo energético, conforto térmico, edifícios de escritórios.

ABSTRACT

CARRIÉRES, Kellen Monte. **Thermal performance and energy consumption of buildings of offices in Sao Carlos, SP.** Campinas, College of Civil Engineering, Architecture and Urbanism, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 151 p. Dissertation.

Due to the energetic crisis and the high demand for electricity, the concern about power saving is growing, mainly at public and commercial buildings, as they are the greatest consumers. Therefore, many researchers of the area are directing their scientific researches towards the study of mankind thermal comfort, aiming more energetically efficient buildings. Based upon these facts, this work evaluates the influence of construction parameters in relation to energy consumption and thermal comfort of office buildings located in the city of Sao Carlos, in order to adequate the buildings to the city climate. For such analysis, six buildings were studied regarding constructive characterization and three of them were chosen to be assessed by the use and occupancy patterns of this type of building and for temperature and air relative humidity monitoring. According to the city climate, simulations were performed for a reference building with some fixed parameters, which were adopted as representing the most used building systems in Brazil and other variables such as orientation, building system, the percentage of glass in the façade, façade and roof absorptance and air renovation. Each variable parameter was simulated having all others fixed, obtaining real results of their individual influences. The results of these simulations were statistically analyzed by multiple linear regression. Through this analysis it was possible to determine the influence of each parameter in the energy consumption. The roof absorptance was the parameter that most influenced the consumption, reaching a 160% increase in the month of June and 238% in December, regarding the façade absorptance,

the less influential parameter in these models. Besides that, the differences of consumption between bigger and smaller values for all the combinations adopted in this work were calculated, reaching ideal situations for the warming and cooling consumptions. In all cases, except for the thermal capacity of the building system, the smaller values of each parameter were the ones that obtained the minor total consumption in all situations.

Key Words: energy consumption, thermal comfort, buildings of offices.

1. INTRODUÇÃO

No início da década de 80 apareceram as primeiras iniciativas no sentido de tornar o uso da energia mais eficiente. Iniciou-se em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL – que é hoje o mais importante órgão nacional de implementação de eficiência, coordenando pesquisas e programas em todo o país.

Apesar dessas iniciativas, em 2001 o Brasil sofreu as conseqüências do seu mau planejamento no uso e distribuição de energia, com isso, foram feitas campanhas de conservação e recomendações quanto à utilização de elementos construtivos (cores, aberturas, disposição de ambientes) que proporcionassem maior eficiência energética à edificação como um todo (MAGALHÃES, 2002). No entanto, mesmo com essas medidas, ultimamente o consumo nacional de energia elétrica tem atingido o patamar mais alto de sua história, chegando a demandas de 95% da capacidade disponível. Neste sentido, há países que estão mais adiantados no processo da eficiência, como por exemplo, Portugal e países da União Européia, que possuem um programa com medidas para eficiência energética de edifícios e para o uso de energias endógenas.

Hoje, com o grave problema do aquecimento global é crescente a preocupação com a economia energética. No âmbito da arquitetura essa preocupação está voltada principalmente para os edifícios dos setores públicos e comerciais, pois são os grandes consumidores, representando 23% do consumo de energia no Brasil (PROCEL, 2005) e

40% em Portugal e países da União Europeia (DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002).

Observa-se que a iluminação artificial e o ar condicionado são os grandes “vilões”, pois são responsáveis por aproximadamente 64% do consumo, sendo 44% provenientes da iluminação artificial e 20% do uso de ar condicionado (LAMBERTS et al, 1997), podendo ter algumas variações, como no caso de um estudo realizado em Salvador, onde os dados mostraram que o consumo de energia em salas de edifícios de escritórios, podia chegar a 70% para o condicionamento de ar e 15% para iluminação artificial (MASCARENHAS et al, 1988).

Esses valores mostram que grande parte do consumo é atribuído às variáveis arquitetônicas e construtivas, já que grande percentagem do seu consumo é devido ao ar condicionado e a iluminação artificial, razão pela qual, pode-se demonstrar a responsabilidade dos profissionais no consumo final de energia elétrica (GELLER, 1994).

Apesar dessa despreocupação por parte dos profissionais da construção civil, hoje muitos pesquisadores estão direcionando suas pesquisas científicas para estudos do conforto térmico do homem para contribuir no combate ao aquecimento global. Segundo um texto do IPCC (Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima) divulgado em Bangcoc, a emissão descontrolada de gases do efeito estufa pode elevar as temperaturas globais em até 6°C até 2100, desencadeando elevação dos níveis dos mares, profundas transformações ecológicas, com a extinção de espécies, devastação econômica e crises humanitárias (ESTADÃO, 2007).

Segundo Shaeffer (2007), no caso do Brasil, a eficiência energética é a grande estratégia para minimizar o efeito estufa, com a adoção de medidas que forcem a diminuição do desperdício e o uso racional de energia, como através da utilização da luz natural, da previsão de dispositivos de controle do sistema de iluminação artificial, da escolha de equipamentos de ar condicionado mais eficientes e melhor

dimensionados, do uso de materiais e técnicas de construção adequados à região, entre outras. Para isso o arquiteto pode utilizar softwares de simulação, pois esses programas simplificam e ajudam o projetista a prever o desempenho energético e ambiental das edificações, orientando as decisões de projeto ou comprovando a eficiência e análise custo/benefício dessas decisões.

Contudo, o consumo de energia elétrica assume hoje um papel de destaque nos projetos de novas edificações. O custo crescente deste insumo, aliado aos altos investimentos necessários à sua produção, tornam a energia elétrica um parâmetro fundamental de planejamento. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo diagnosticar a situação atual dos edifícios de escritórios existentes em São Carlos e através de simulações no programa Energy Plus, propor parâmetros de projeto para futuras edificações, adequando-as ao clima do local, pois está comprovado que edifícios que não são adequados ao clima onde estão inseridos, se tornam edificações com baixo desempenho térmico e conseqüentemente com alto consumo de energia.

1.1 Estrutura da Dissertação

Essa dissertação de Mestrado encontra-se dividida em dez capítulos: Introdução, Objetivos da Pesquisa, Justificativa, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, O Clima Local, Diagnóstico da Situação Atual dos Edifícios de Escritórios, Simulação Termo-Energética, Análise Estatística e Conclusão.

Nos três primeiros capítulos é feita uma apresentação do tema a ser discutido neste trabalho, dos objetivos a serem alcançados e é abordada a importância do assunto. No capítulo seguinte, faz-se uma discussão sobre a demanda energética mundial, o cenário energético brasileiro, as fontes alternativas de energia e são citadas algumas normas de eficiência energética existentes nos Estados Unidos, Portugal e Brasil. Segue-se com uma discussão sobre o termo arquitetura bioclimática e sua relação com o conforto térmico e lumínico em edificações, e é finalizado com a

apresentação de softwares de simulação termo-energética, inclusive o Energy Plus e a interface E2-AC (E2-ArCondicionado) que serão utilizados neste trabalho, e com pesquisas realizadas nesta área.

O capítulo seguinte apresenta o procedimento metodológico aplicado ao estudo de forma a se alcançar os objetivos estabelecidos no segundo capítulo. Inicia-se com o método utilizado para a identificação da amostra dos edifícios de escritórios da cidade de São Carlos. Logo, é apresentado o modo de levantamento das tipologias e a caracterização do padrão de uso e ocupação. Em seguida, a metodologia utilizada para as medições de temperatura e umidade relativa do ar e para a análise climática segundo a Norma Ashrae 55-2004. Por fim, é apresentado o método para as simulações computacionais no programa Energy Plus através da interface E2-AC e para análise estatística dos resultados.

O sexto capítulo apresenta a caracterização climática da cidade de São Carlos e o sétimo o diagnóstico da situação atual dos edifícios de escritórios da cidade. Esse capítulo inicia com a caracterização construtiva dos edifícios levantados, o padrão de uso e ocupação, os resultados das medições de temperatura e umidade relativa do ar através de gráficos e por fim, uma análise climática das edificações segundo a Norma Ashrae 55-2004.

No oitavo capítulo são apresentados os resultados das simulações termo-energéticas do edifício de referência, no nono capítulo a análise estatística dos resultados e, para finalizar, o capítulo 10 apresenta a conclusão do trabalho.

1.2 Contexto da Dissertação

Essa dissertação está contextualizada com uma pesquisa de âmbito nacional financiada pelo CT-Energ/CNPq e intitulada: “Impactos da Adequação Climática sobre a

Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil”, na qual serão estudados edifícios de escritórios localizados nas oito zonas bioclimáticas brasileiras, conforme o zoneamento estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Com o objetivo principal de produzir subsídios para uma futura normalização sobre a eficiência energética desse tipo de edificação, sendo este trabalho de mestrado o responsável pela zona 4, onde a cidade de São Carlos está inserida.

A metodologia desta pesquisa está dividida em três etapas: a primeira é o levantamento das tipologias construtivas de edifícios de escritórios existentes nas oito cidades selecionadas (Zona 1: Curitiba – PR; Zona 2: Santa Maria – RS; Zona 3: Florianópolis – SC; Zona 4: São Carlos – SP; Zona 5: Niterói – RJ; Zona 6: Campo Grande – MS; Zona 7: Mossoró – RN; Zona 8: Maceió – AL). A segunda etapa é o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, o monitoramento do consumo de energia de equipamentos existentes em alguns escritórios e as atividades neles realizadas. Por fim, a terceira etapa é a de simulações computacionais.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência de parâmetros construtivos com relação ao consumo de energia e ao conforto térmico, de forma a adequar os edifícios de escritórios ao clima da cidade de São Carlos.

2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar a situação atual dos edifícios de escritórios da cidade de São Carlos-SP, com relação ao desempenho térmico;
- Avaliar a influência de parâmetros construtivos no consumo de energia e no conforto térmico;
- Produzir junto com o projeto maior, subsídios para uma futura normalização relacionada à eficiência energética de edifícios de escritórios.

3. JUSTIFICATIVA

O Brasil apresenta significativa diversidade climática e cada região exige soluções construtivas específicas, ainda insuficientemente estudadas. O desconhecimento sobre essas especificidades vem sendo responsável pela proliferação de edifícios com baixo desempenho térmico e, por consequência, elevado consumo de energia, pois a adoção de soluções idênticas ou semelhantes para todo o país provoca consumo desnecessário de energia elétrica (LAMBERTS, 2004). Estima-se que edifícios com projetos adequados possam consumir em torno de 30% menos energia que outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares (GÓMEZ et al, 1995). Além disso, adequação do padrão arquitetônico é o item que exige menor investimento. Segundo o MME (1990) para a adequação arquitetônica o investimento exigido é de apenas 5% do total, proporcionando uma das maiores economias de energia, 23%.

Para mudar o cenário do consumo de energia exagerado provocado por uma arquitetura desvinculada da bioclimatologia, é preciso primeiramente entender melhor o clima e suas variáveis influentes sobre o conforto humano e sobre o comportamento térmico das edificações, e criar legislações específicas de conforto e consumo de energia. Por isso, este projeto justifica-se por buscar compreender o clima da cidade de São Carlos e através de simulações computacionais, avaliar os parâmetros construtivos com relação ao consumo de energia ao conforto térmico, de forma a adequar os edifícios de escritórios ao clima de São Carlos. Além disso, este trabalho em conjunto com o projeto maior, vem como uma forma de colaborar com a sociedade através da formulação de uma norma de conforto térmico e consumo de energia para edifícios de escritórios, com o objetivo de que adaptações ou novas edificações sejam realizadas adequadas ao clima onde serão inseridas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Demanda Energética Mundial

A demanda mundial de energia no cenário de referência do OIE 2004 (Oferta Interna de Energia) chegará a 15697 milhões tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2025, apresentando taxa média de crescimento de 1,8% aa (ao ano), inferior aos 2,21% aa do período histórico 1970-2000. Os países industrializados apresentam taxa de 1,12% aa, os em desenvolvimento de 2,79% aa e os do grupo EE/FSU (Rússia, Ucrânia, Belarus, Cazaquistão, Bulgária, Croácia, outros da antiga União Soviética e outros da Europa em reestruturação econômica) 1,49% aa (figura 4.1). O Brasil atingirá um consumo de energia de 346 milhões de tep em 2025, com taxa de crescimento de 2,42% aa (MME, 2005).

A intensidade energética mundial, medida pela relação entre a demanda de energia e o PIB (Produto Interno Bruto), decresce 1,09% aa no período projetado, percentual que representa um maior esforço de racionalização do uso de energia em relação ao período 1970-2000.

Em relação às emissões de CO₂ (dióxido de carbono), chegarão a 37124 milhões de toneladas em 2025 (figura 4.2). Comparativamente ao ano de 2000, este montante mantém praticamente a mesma relação com o consumo de energia (2,365 t CO₂/tep). No caso do Brasil se projeta um crescimento de 0,58% aa no indicador, em decorrência da redução da participação das fontes renováveis, principalmente da hidráulica (MME, 2005).

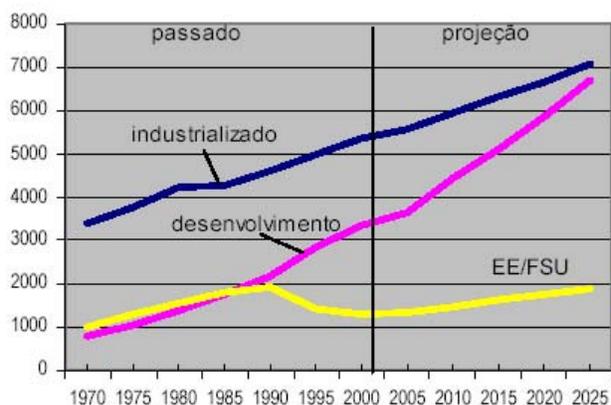


Figura 4.1 - Oferta interna de Energia 1970-2025

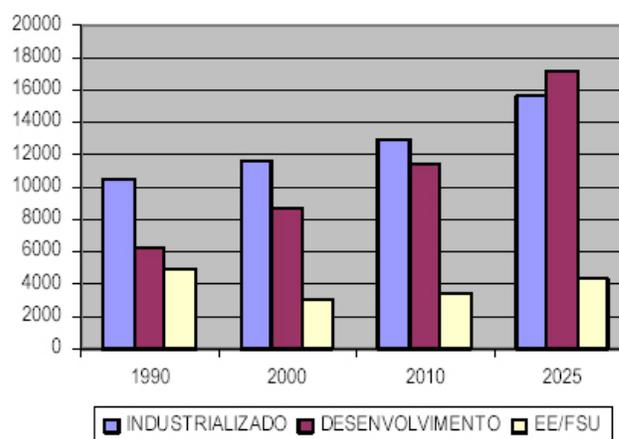


Figura 4.2 - Emissões de Dióxido de Carbono

Fonte: MME, 2005

4.2 Cenário Energético Brasileiro

No período de 1970 a 2004, o país passou por uma grande evolução em relação à oferta interna de energia, através da redução de sua dependência externa e da permanência ainda significativa das fontes renováveis. Dentre as fontes de energia produzidas no país como o carvão vegetal, derivados do petróleo, hidráulica, elétrica, biomassa, entre outros, o gás natural vem tendo significativo desenvolvimento. No relatório do Balanço Energético Nacional - BEN (2007) o gás natural é o energético que vem apresentando as maiores taxas de crescimento na matriz energética brasileira, tendo quase triplicado a sua participação nos últimos anos, de 3,7% em 1998, para 9,6% em 2006. O reflexo deste aumento recai, principalmente, sobre os derivados de petróleo pela substituição de óleo combustível e gás liquefeito de petróleo, de GLP na indústria, de gasolina no transporte, além de outras substituições em menor escala.

Com o objetivo de reduzir ainda mais o consumo de combustíveis derivados do petróleo e os custos correspondentes à sua importação, o Brasil adotou algumas alternativas, como a implementação do Pró-álcool e o uso do seu potencial hidráulico para a geração de energia elétrica limpa e barata. Essas alternativas acabaram criando

uma reserva energética no país, possibilitando investimentos em construções e implantações de usinas, sendo um estimulador para o desenvolvimento da economia nacional.

Apesar disso, em 2001, o Brasil sofreu as conseqüências do seu mau planejamento no uso e distribuição de energia, foram feitas campanhas em todo o país para conscientizar a população da necessidade do uso eficiente da energia elétrica e da utilização mais racional dos recursos naturais. Essas campanhas, no entanto, não foram muito eficientes, pois cada vez mais edifícios são construídos sem levar em consideração, desde a fase inicial de projeto, diversos fatores como orientação, escolha de materiais adequados ao clima da região, uso da iluminação artificial como complemento da natural, entre outros, acarretando edificações com péssimas condições de conforto térmico e conseqüentemente baixa eficiência energética. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2005) o consumo final de energia elétrica em 2004 teve um aumento de 3,1 vezes em relação ao de 1970. Sendo que as edificações residenciais e comerciais são responsáveis por 48% do consumo total de energia elétrica no Brasil.

Já no setor comercial e público, entre 1970 e 2004 houve um crescimento de 700% no consumo de energia, como mostra a figura 4.3.

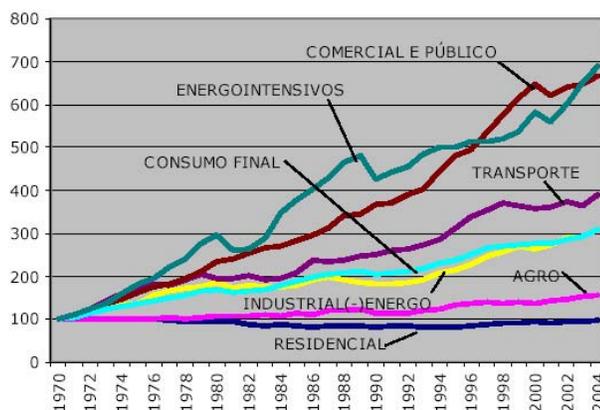


Figura 4.3 - Consumo Final de Energia no Brasil

Fonte: MME, 2005

O aumento no consumo de energia continua crescendo. Levantamentos preliminares realizados nos primeiros meses de 2007 permitiram compor uma idéia concisa da Oferta Interna de Energia. Tais levantamentos indicaram que a demanda total de energia no Brasil, em 2007, atingiu 225,8 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), montante 3,2% superior à demanda verificada em 2005 e equivalente a cerca de 2% da energia mundial (BEN, 2007). Esse consumo exagerado pode acarretar uma nova crise energética no país, além de colaborar com o aquecimento global através da emissão excessiva de CO₂ na atmosfera. Apesar disso, pelo fato do Brasil possuir uma expressiva participação de energia hidráulica e um uso ainda representativo de biomassa, o país apresenta indicadores de emissões de CO₂ bem menores que a média dos países desenvolvidos. No Brasil, a emissão é de 1,57 toneladas de CO₂ por tep da OIE, enquanto nos países da OCDE (Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos) a emissão é de 2,37 toneladas de CO₂ por tep, ou seja, 51% maior (BEM, 2007).

Nesse sentido, busca-se hoje aumentar a eficiência energética das edificações através do uso de equipamentos mais modernos que consumam menos energia, através do uso da arquitetura bioclimática, de legislações e de novas alternativas de geração de energia.

4.3 Fontes Alternativas de Energia

Embora o Brasil possua uma vasta gama de fontes de energia em potencial (sol, vento, biomassa etc.), o modelo hegemônico de produção de energia continua sendo desde o início de seu desenvolvimento industrial o hidrelétrico, ou seja, aquele baseado na força do deslocamento de grandes massas de água. Inicialmente, as usinas hidrelétricas eram predominantemente de grande porte, com grandes áreas alagadas, construídas basicamente pelo Estado; nas duas últimas décadas, porém, este modelo vem se alterando, passando a predominar a construção de barragens menores sob os

auspícios de consórcios de empresas privadas, sendo comum a participação de estrangeiras transnacionais. Tal modelo energético, utilizado em altíssima escala no Brasil, não poderia deixar de causar grandes impactos sócio-ambientais, como no caso do Estado do Paraná, em que o potencial hidrelétrico dos rios encontra-se completamente exaurido. Isso se dá pelo fato de que 85% da energia produzida no país vêm da fonte hídrica. Apesar desse percentual alto, o Brasil vem investindo em algumas fontes alternativas de energia. O relatório do BEN (2007) mostrou que em 2006 houve um aumento de 4,2% das fontes renováveis no país (hidráulica, biomassa e outras) e 2,4% das não renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio). Com isso, a energia renovável passou a representar 44,9% da Matriz Energética Brasileira, em 2006 (figura 4.4). Essa proporção é a mais alta do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 13,2% (figura 4.5), e mais ainda com a média dos países que compõem a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos – OCDE, em sua grande maioria países desenvolvidos, de apenas 6,1% (figura 4.6).

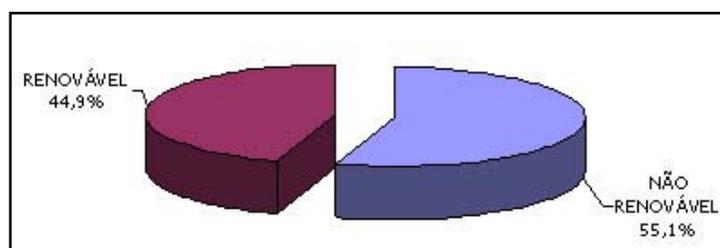
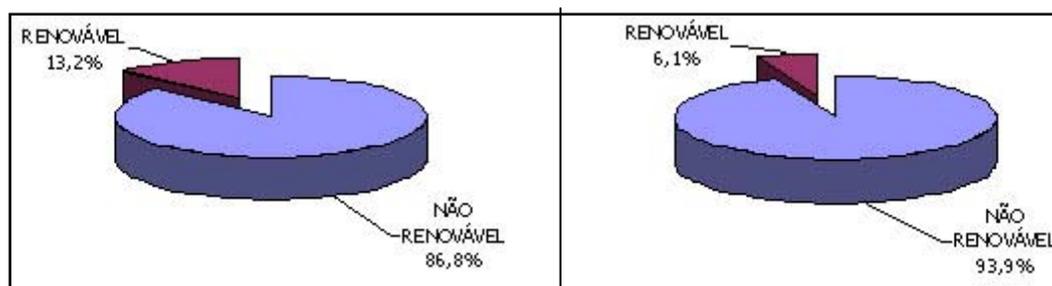


Figura 4.4 - Estrutura da Oferta Interna de Energia no Brasil

Fonte: BEN, 2007



Figuras 4.5 e 4.6 - Estrutura da Oferta Interna no Mundo e Estrutura da Oferta Interna na OCDE

Fonte: BEN, 2007

A seguir são apresentadas as diversas fontes alternativas de energia elétrica, térmica e combustível que são utilizadas pelo Brasil e por outros países:

- **Biomassa** - Através da fotossíntese, as plantas capturam energia do sol e transformam em energia química. Esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor. As fontes orgânicas que são usadas para produzir energia usando este processo são chamadas de biomassa. Os combustíveis mais comuns da biomassa são os resíduos agrícolas, madeira e plantas como a cana-de-açúcar. No Brasil a produção de energia elétrica da biomassa é estimada em cerca de 3% da energia elétrica total: 10 TWh (1999), sendo 4.1 em co-geração na industrialização de cana, 2.9 na indústria de papel e celulose, e cerca de 3 TWh em diversas unidades utilizando resíduos agrícolas (CGEE, 2001).
- **Célula Combustível** - Célula combustível (Fuel Cells) é uma tecnologia que utiliza o hidrogênio e o oxigênio para gerar eletricidade com alta eficiência. Sua importância está na alta eficiência e na ausência de emissão de poluentes quando se utiliza o hidrogênio puro.
- **Etanol** – É o mais comum dos álcoois e caracteriza-se por ser um composto orgânico, obtido através de processos sintéticos e da fermentação de substâncias amiláceas ou açucaradas, como a sacarose existente no caldo-de-cana. É um líquido incolor, volátil, inflamável, solúvel em água, com cheiro e sabor característicos. O álcool etílico é utilizado como combustível desde o nascimento dos automóveis, na tentativa de adaptar os motores recém inventados para a utilização do etanol. Desde então e até nos dias de hoje, o uso do etanol em veículos automotores tem sido um considerável avanço e possibilitou o desenvolvimento de uma tecnologia 100% nacional. O Proálcool é um programa nacional de substituição do petróleo por energia renovável. No Brasil 43% dos automóveis são movidos a álcool, que é um combustivel menos poluente, pois emite para a atmosfera menos CO₂ que é o responsável pelo aquecimento global, enquanto que nos EUA a mistura álcool e gasolina

correspondem a 8% do mercado de combustível. Esses dois países representam 70% da produção mundial de etanol (SPITZ, 2007).

- **Gás Natural** - O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. É um gás inodoro e incolor, não é tóxico e é mais leve que o ar. O gás natural é uma fonte de energia limpa, que pode ser usada nas indústrias, substituindo outros combustíveis mais poluentes, como óleos combustíveis, lenha e carvão. Desta forma ele contribui para reduzir o desmatamento e diminuir o tráfego de caminhões que transportam óleos combustíveis para as indústrias. As reservas de gás natural são muito grandes e o combustível possui inúmeras aplicações em nosso dia-a-dia.
- **Energia Geotérmica** - Abaixo da crosta terrestre constitui-se uma rocha líquida, chamada magma. A água contida nos reservatórios subterrâneos pode aquecer ou mesmo ferver quando em contato com essa rocha, podendo ser utilizada para aquecer prédios, casas e piscinas no inverno. Em alguns lugares do planeta existem tanto vapor e água quente que é possível produzir até energia elétrica. Em Portugal, existem alguns aproveitamentos diretos, como o caso da Central Geotérmica em São Miguel (Açores).
- **Energia Maremotriz** - As ondas do mar possuem energia cinética devido ao movimento da água e energia potencial devido à sua altura. A energia elétrica pode ser obtida se for utilizado o movimento oscilatório das ondas. O aproveitamento é feito nos dois sentidos: na maré alta a água enche o reservatório, passando através da turbina e produzindo energia elétrica, enquanto que na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, produzindo também energia elétrica.
- **Energia Eólica** - A energia eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Uma

estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos (CRESESB, 2006a). Este percentual, embora pareça pequeno, representa centenas de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo. Existem alguns casos de implementação do sistema eólico em algumas regiões do Brasil, como mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Projetos de Energia Eólica Implementados no Brasil
Fonte: CRESESB, 2006a

Estado	Local	Geradores	Capacidade Instalada	Produção Anual Prevista	Estado Atual
Ceará	Taíba	ENERCON	5 MW	17.500 MWh	Operação
	Prainha	ENERCON	10 MW	35.000 MWh	Operação
	Mucuripe	TAKE	1,2 MW	3.800 MWh	Operação
	Paracurú	-	30 MW	-	Estudo
	Camocim	-	30 MW	-	Estudo
Minas Gerais	Morro do Camelinho	TAKE	1,0 MW	800 MWh	Operação
Pará	Vila Joanes	BERGEY	40 KW	-	Operação
	Costa NE	-	100 MW	-	Estudo
Paraná	Palmas I	ENERCON	2,5 MW	7.000 MWh	Operação
	Palmas II	ENERCON	9,5 MW	-	Estudo
	Palmas III	ENERCON	75 MW	-	Estudo
Pernambuco	F. Noronha	FOLKCENTER	75 KW	-	Operação
Rio de Janeiro	Cabo Frio	-	10 MW	-	Estudo

- **Energia Solar** - O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio. Existem algumas formas de utilização da energia solar, como a energia solar fototérmica e a energia solar fotovoltaica.

- Energia Fototérmica - é a quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar fototérmica são conhecidos como coletores solares. Os coletores solares planos são largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais e hotéis, devido ao conforto proporcionado e a redução do consumo de energia elétrica.

- Energia Fotovoltaica - a energia solar fotovoltaica é a energia da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. É fabricada na sua grande maioria usando o silício (Si), mas podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo (CRESESB, 2006b). A instalação desses sistemas fotovoltaicos integrados aos edifícios e interligados à rede elétrica, é muito aplicada em países desenvolvidos. Esse sistema integrado à edificação, ao mesmo tempo em que gera energia, pode substituir elementos construtivos convencionais da edificação, como telhas, janelas, materiais de fachada, bem como elementos de sombreamento, possibilitando assim uma maior economia ao proprietário (SALOMANI & RUTHER, 2003). A seguir são apresentados dois exemplos de aplicação de painéis fotovoltaicos em edifícios de escritório (figuras 4.7 e 4.8).

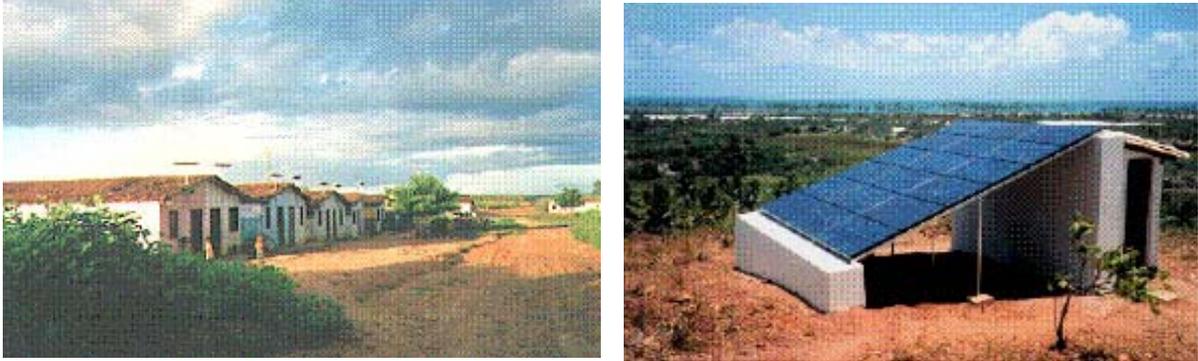


Figuras 4.7 e 4.8 - Painéis Fotovoltaicos Aplicados na Fachada e Painéis Aplicados na Cobertura e Terraço
Fonte: <http://www.infobuild.it/mecgi/driv?tlHome&mod=modInno>

No Brasil existem alguns projetos em nível governamental e privado. Esses projetos englobam diversos aspectos da utilização da energia solar, como na eletrificação rural, no bombeamento d'água e também em sistemas híbridos (CRESESB, 2006b). A seguir são apresentados alguns desses sistemas.

- Sistema de Eletrificação Residencial no Ceará (fig. 4.9) - este sistema foi instalado em dezembro de 1992 no município de Cardeiro e vem operando nestes últimos anos de forma contínua. Este projeto atende a 14 vilas do interior do Ceará beneficiando 492 residências num total de 30,74 kWp de potência solar instalada.
- Sistema Fotovoltaico em Parque Ecológico (fig. 4.10) - em 28 de janeiro de 1995, foi inaugurado o Sistema Gerador Fotovoltaico do Posto Avançado do Parque Ecológico Porto Sauípe, Bahia. Este sistema é composto por um painel fotovoltaico Solarex de 1,4 kWp, que fornece energia em corrente contínua para um banco de baterias, aonde através de um inversor alimenta em 110 VAC

luminárias, equipamentos de informática e sistemas de áudio e vídeo do Posto.



Figuras 4.9 e 4.10 - Sistema de Eletrificação Residencial e Sistema Fotovoltaico em Parque Ecológico
Fonte: CRESESB, 2006b

Através dos exemplos citados, pode-se afirmar que o uso de sistemas de energia fototérmica e fotovoltaica são grandes estratégias para se obter edifícios mais eficientes energeticamente, sendo um dos itens resultantes de uma arquitetura bioclimática.

O tópico seguinte apresenta algumas normas relacionadas à eficiência energética de edificações existentes em países como Portugal, Estados Unidos e Brasil, que fornecem diretrizes de projeto para uma arquitetura vinculada à bioclimatologia.

4.4 Normas de Eficiência Energética

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, durante a crise do petróleo. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a *Standard 90, Energy Conservation in New Building Design* (ASHRAE, 1975) e a norma californiana *Title 24* de 1978.

Atualmente, EUA, Canadá, México, Reino Unido, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Filipinas, Chile, entre outros países, possuem algum tipo de norma ou lei em eficiência energética de edificações. Diversos destes países revisaram ou estão em processo de revisão de suas regulamentações a fim de atender ao Protocolo de Quioto, que regula a emissão de gases na atmosfera, como o CO₂, responsável pelo efeito estufa (GOULART & LAMBERTS, 2005).

No caso particular de Portugal, através da Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de outubro, o país adotou formalmente o programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) com o objetivo de "...pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução de emissões, em particular do CO₂, responsável pelas alterações climáticas" (DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002). O Programa E4 assume-se, assim, como um instrumento de primordial importância, apresentando um vasto conjunto de medidas que visam aumentar a eficiência energética dos edifícios e promover o uso de energias endógenas. O processo de certificação energética das edificações através desse programa acontece por meio de um certificado semelhante aos das Etiquetas Energéticas para eletrodoméstico, como mostra a figura 4.11.

NOME/LOGO DA ENTIDADE ACREDITADA	SÍMBOLO DO SPQ		
Edifício/Fração:	Aquecimento <input type="checkbox"/>		
Morada:	Arrefecimento <input type="checkbox"/>		
Área Útil de Pavimento:	AQS <input type="checkbox"/>		
Data de Emissão do Certificado:	Iluminação <input type="checkbox"/>		
<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>			
Consumo Energético: _____ kWh/m ² .ano			
Emissões de CO ₂ : _____ ton/ano			
Válido até: _____	Assinatura do Director Técnico (Selo Branco)		

Figura 4.11 - Modelo de Certificado Energético para Edifícios
Fonte: DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002

Seguindo os passos de Portugal, a União Européia preparou uma proposta de *Directiva para a Eficiência Energética dos Edifícios*, já aprovada em dezembro de 2001 pelo Conselho nas suas linhas gerais, e também pelo Parlamento Europeu no início de fevereiro 2002. Esta “Directiva” impõe aos Estados Membros um conjunto de medidas que, no essencial, estão integradas no Programa E4.

Já os Estados Unidos, apesar de não fazerem parte do Protocolo de Quioto, apresentam diversos códigos em relação à eficiência energética de edifícios residenciais e comerciais (Apêndice A), sendo que os principais adotados para edifícios comerciais são apresentados nas tabelas 4.2 e 4.2.1.

Tabela 4.2 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2005

ASHRAE 90-75	“ <i>Energy Conservation in New Building Design</i> ” - Primeira norma ASHRAE direcionada para projeto e construção de novos edifícios, considerando o ponto de vista da energia.
TITLE 24- CALIFÓRNIA 1978	“ <i>Californian Building Code</i> ”- faz parte de um dos 26 códigos do <i>Califórnia Code of Regulations</i> . Este código divide o clima do estado em 16 zonas climáticas e 8 grupos de atividades.
ASHRAE 90A- 1980	“ <i>Energy Conservation in New Building Design</i> ”. Atualização da ASHRAE 90-75
MEC 83	“ <i>Model Energy Code 1983 Edition</i> ” Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
MEC 86	“ <i>Model Energy Code 1986 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
MEC 89	“ <i>Model Energy Code 1989 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
ASHRAE 90.1- 1989	“ <i>Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings</i> ”. Uma completa revisão da norma ASHRAE anterior para edifícios, excluindo edifícios residenciais de baixa altura.

Tabela 4.2.1 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2005

MEC 92	“ <i>Model Energy Code 1992 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980.
MEC 93	“ <i>Model Energy Code 1993 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Primeira versão do MEC para atender os requerimentos do EPACT, ou seja, atender ou exceder as especificações da ASHRAE 90.1-1989 – o capítulo 7 do MEC 93 adota a 90.1-1989 por referência.
ASHRAE 90.1-1989 Code Version	“ <i>Energy Code for Commercial and High-Rise Residential Buildings</i> ” Publicado em 1993, contém uma versão em linguagem de código da ASHRAE 90.1-1989. É tecnicamente equivalente às provisões obrigatórias mínimas da 90.1-1989.
MEC 95	“ <i>Model Energy Code 1995 Edition</i> ” Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Mudanças de referência da Standard 90.1-1989 para a versão codificada da 90.1-1989, publicada em 1993.
ASHRAE 90.1- 1999	“ <i>Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings</i> ”. Publicada em 1999, este documento fornece uma revisão completa da norma anterior. É escrita numa linguagem incisiva, obrigatória, adequada para adoção de códigos.
ASHRAE 90.1- 2001	“ <i>Buildings</i> ” Publicado em 2001, este documento fornece uma revisão da norma anterior para incluir um adendo aprovado.

Além dos códigos citados acima, existe um sistema de avaliação por pontos chamado LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), que estabelece parâmetros de sustentabilidade, fazendo com que edificações atinjam o que constitui um “green building” (edifício verde). Através da sua utilização como um guia para a elaboração de projetos e como um terço de uma ferramenta de certificação, esse sistema tem como objetivo melhorar o bem estar dos usuários, o desempenho ambiental e o retorno econômico advindo do uso de práticas estabelecidas e

inovadoras, de novos padrões e de novas tecnologias. O LEED é dividido em sete categorias, desenvolvimento sustentável local, uso eficiente da água, energia, materiais, qualidade do ambiente interno, inovação e processo de projeto. Cada uma dessas categorias contém um número de crédito específico, e cada crédito, corresponde a um ou mais pontos possíveis (tabela 4.3). A partir desses pontos, os edifícios são classificados em “LEED Certified”, “Silver”, “Gold” ou “Platinum”.

Tabela 4.3 - Estrutura de Avaliação do LEED
Fonte: USGBC, 2001

Categoria Pontos Possíveis	(% do total)
Desenvolvimento sustentável	14 (20%)
Uso eficiente da água	5 (7%)
Energia	17 (25%)
Materiais	13 (19%)
Qualidade do ambiente interno	15 (22%)
Inovação	4 (6%)
Processo de projeto	1 (1%)
Total	69 (100%)

A seguir são apresentadas algumas estratégias de um edifício já avaliado pelo LEED e classificado na categoria “Gold”.

1) Edifício “Artists for Humanity EpiCenter” (Boston, MA)



Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 - Fachada do Edifício, Área Interna e Sistema Fotovoltaico
Fonte: <http://leedcasestudies.usgbc.org/overview.cfm?ProjectID=451>

- uso de grandes janelas e pé direito elevado para aumentar a transmissão da iluminação natural;
- uso de janelas operáveis pelos ocupantes;
- ventilação natural para troca de calor;
- número reduzido de janelas nas fachadas leste e oeste;
- edifício projetado com maior exposição para a orientação sul;
- uso eficiente da água através de sistema automático, trabalho educativo e outros;
- redução do ganho interno de calor usando sistema de iluminação mais eficiente;
- uso de lâmpadas eficientes, como as fluorescentes T8;
- comissionamento do sistema de ar condicionado;
- uso de células fotovoltaicas para geração de eletricidade;
- uso de sensores de presença;
- uso de sensores fotoelétricos da luz natural para acionar a luz artificial.

Hoje existem cerca de 700 prédios verdes em países como Estados Unidos, Inglaterra e Índia reconhecidos por essa certificação e cerca de 2.000 deles estão sendo erguidos apenas no território americano. No caso do Brasil, há apenas um prédio concluído que segue as recomendações LEED, a agência do banco ABN Amro Real, inaugurado em janeiro desse ano e localizado em Cotia, na grande São Paulo. Entre outras características sustentáveis, este prédio armazena energia solar durante o dia e a transforma à noite em iluminação elétrica nas áreas de auto-atendimento. Outros três prédios verdes devem ficar prontos ainda este ano no Brasil. Dois deles são da incorporadora americana Tishman Speyer, o edifício Ventura Corporate Towers, no Rio de Janeiro e o Rochaverá Corporate Towers, em São Paulo. O terceiro é o Eldorado Business Tower, situado também em São Paulo (CABRAL, 2007). Isso mostra que embora ainda incipiente, começa a surgir no Brasil, uma consciência sobre a gravidade da crise energética e importantes iniciativas vem sendo tomadas para enfrentá-la.

No plano da legislação, destaca-se a Lei N° 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e determina que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país” (Art. 4) e que “previamente

ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de” (...) “projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais interessados” (Art. 5).

A Lei citada acima alavancou uma série de iniciativas que visam a implementação de parâmetros de eficiência energética em edificações. Salvador e Recife são exemplos disso, pois foram as primeiras cidades brasileiras a avaliar e propor parâmetros de eficiência energética em seus Códigos de Obras (CARLO et al, 2003, CARLO et al 2004). Além disso, essa lei alavancou o processo de uso da regulamentação específica para estabelecer parâmetros de eficiência para equipamentos consumidores de energia.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Procel – Eletrobrás encaminhou o processo através do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, estabelecendo 6 vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação da energia e, por fim, educação. Cada vertente apresenta uma série de projetos que visam implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional, desde a fase anterior ao projeto, através da educação e certificação de materiais, até a revisão de leis de eficiência energética para constante atualização tecnológica (LAMBERTS & CARLO, 2004).

Cabe salientar que o presente trabalho está vinculado a uma pesquisa de âmbito nacional, no qual o principal objetivo é produzir subsídios para uma futura normalização sobre a eficiência energética de edifícios de escritórios.

No tópico a seguir é apresentado o conceito de arquitetura bioclimática e suas aplicações.

4.5 Eficiência Energética e Conforto Térmico

O conforto térmico é um estado da mente que expressa a satisfação com o ambiente (ASHRAE, 2004). O objetivo do estudo do conforto térmico é o de projetar edifícios adequados ao clima da região, proporcionando economia energética e promovendo ao usuário sensação de bem estar para que possa realizar suas atividades de maneira mais proveitosa. Esse conceito define o significado de arquitetura bioclimática, que para Olgay & Olgay (1973) pode ser definida como a que utiliza, por meio da arquitetura, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer às exigências de conforto térmico do homem. Os irmãos Olgay foram os primeiros, na década de 60, a aplicarem a bioclimatologia na arquitetura, criando a expressão *projeto bioclimático*. Foi também desenvolvido por eles um diagrama bioclimático com as zonas de conforto (fig. 4.15). Outro importante passo foi dado em 1969, por Givoni, que concebeu uma carta bioclimática para edifícios que corrigia limitações do diagrama idealizado por Olgay, sendo que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento, é o mais adequado às condições brasileiras (fig. 4.16).

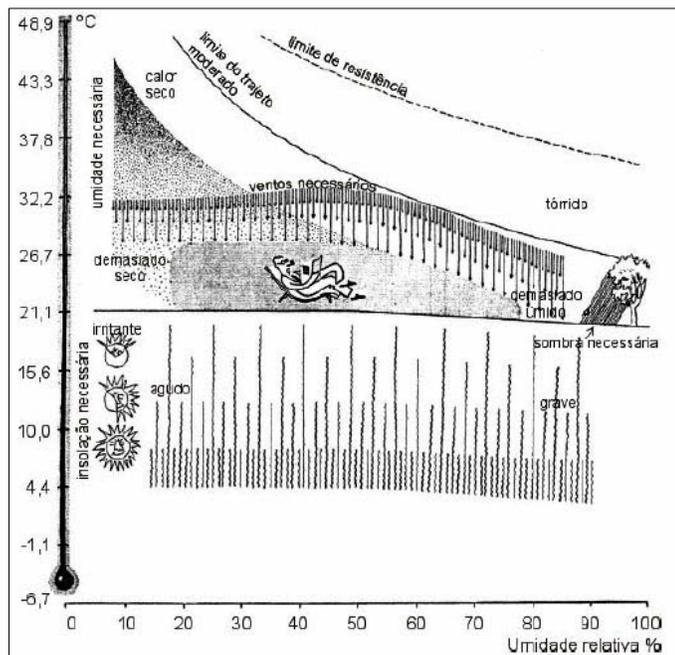


Figura 4.15 - Carta Bioclimática de Olgay
Fonte: OLGAY, 1998

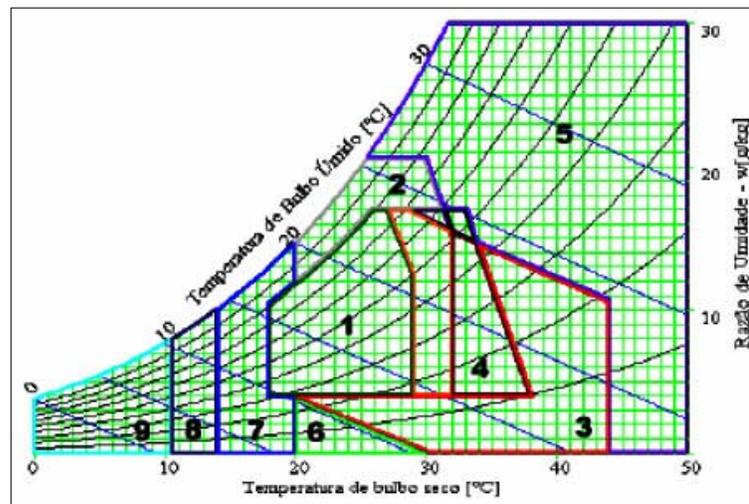


Figura 4.16 - Carta de Givoni Adotada para o Brasil
Fonte: GOULART et al, 1998

Onde:

- | | |
|---|--|
| 1 - zona de conforto | 6 - zona de umidificação |
| 2 - zona de ventilação | 7 - zona de massa térmica para aquecimento |
| 3 - zona de resfriamento evaporativo | 8 - zona de aquecimento solar passivo |
| 4 - zona de massa térmica para resfriamento | 9 - zona de aquecimento artificial |
| 5 - zona de ar-condicionado | |

Apesar da adequação climática ser um tema atual, principalmente no Brasil, é considerada desde os velhos tempos pelos povos antigos, que para minimizarem as sensações de frio e calor, usavam mecanismos que faziam parte de sua cultura e caracterizavam a arquitetura regional. Vários exemplos podem ser citados como as aldeias de Malí, as casas da Nigéria, os iglus do Pólo Norte e os chalés das montanhas.

No clima quente e seco do sul de Timbuctú, na República de Malí, as casas eram construídas com altura bem elevada e próximas umas das outras, isso para aproveitar a sombra dos edifícios. As casas na cidade de Kano, na Nigéria, apresentavam fechamentos de alta inércia térmica, aberturas pequenas e pátios interiores utilizados especialmente à noite, isso porque a cidade apresenta clima tropical seco. Os iglus, no pólo norte, possuem forma hemisférica diminuindo assim a superfície de contato com o ar exterior, minimizando as perdas de calor. Já os chalés construídos

nas montanhas, possuem cobertura altamente inclinada para evitar o acúmulo de neve, promovendo maior exposição aos raios solares.

Embora os chalés sejam típicos de regiões que nevam, podemos encontrar muitas edificações desse tipo no Brasil. Isso mostra que apesar do conceito “adequação climática” ter sido aplicado desde os primórdios, hoje em dia a maioria dos profissionais da construção civil ignora as características climáticas de cada região. Isso ocorre desde a “importação” do estilo internacional, de onde o Brasil adotou em edifícios de escritórios, as grandes cortinas de vidro de Mies van der Rohe, sem as adaptações climáticas necessárias (fig. 4.17).



Figura 4.17 - Exemplo de Edifício Comercial em São Paulo
Fonte: <http://www.arcoweb.com.br>

Apenas há pouco tempo isso foi questionado por produzir, em climas tropicais, ofuscamento e excesso de ganhos térmicos. O ganho de calor por radiação solar direta, principalmente no verão, representa a ameaça de transformar esses espaços fechados em estufas em potencial (VIANNA & GONÇALVES, 2001), tornando nesses casos, o uso de climatização ativa praticamente obrigatória, pois o desconforto térmico pode significar perda de clientes ou baixa produtividade (LAMBERTS et al, 1997a).

Um estudo realizado em Florianópolis em edifícios de escritórios confirmou que a principal característica de projeto, que influencia consideravelmente no desempenho energético da edificação, é a fachada, em termos de área envidraçada e materiais

componentes (TOLEDO et al, 1995). Outro estudo em São Paulo mostrou que edifícios comerciais, construídos recentemente, são os que apresentam maior consumo energético, tanto pelo uso de iluminação artificial, quanto de ar condicionado (ROMÉRO et al, 1999). Isso ocorre, pois a maioria desses prédios ganhou grandes fachadas envidraçadas sem proteção solar externa, o que acaba gerando ganhos extras de radiação solar. Esse fato comprova a falta de consciência dos profissionais da área da construção civil que desperdiçam relevantes oportunidades de poupar energia, por não considerar, desde o projeto arquitetônico, passando pela construção, até à utilização final, os importantes avanços ocorridos nas áreas da arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologia construtiva vinculados à eficiência energética (PROCEL, 2005).

Existem hoje no mercado algumas soluções tecnológicas em termos de superfícies transparentes, como os vidros duplos, vidros coloridos monolíticos ou laminados, os vidros refletivos que apresentam fortes características absorventes e fazem parte da categoria dos vidros de controle solar, apresentando melhor controle da insolação e maior conforto visual e, mais recentemente, os vidros que possuem até oito camadas de materiais sensíveis às várias energias luminosas e térmicas.

Pela falta de conhecimento dessas tecnologias, grande parte dos edifícios comerciais possui altos níveis de utilização do ar condicionado. O edifício Pirelli, na Itália, gastava por ano, em climatização, um décimo de seu custo. Com esse dinheiro seria possível a cada dez anos, construir um prédio novo. Dados mostram que os gastos com climatização na sede da ONU, em Nova York, permitiriam construir um edifício igual a cada sete anos (CHICHIERCHIO, 2003).

Segundo Felamingo (1996) o ar condicionado é responsável pelo consumo de aproximadamente 45% do total de energia elétrica em um edifício de escritório. Portanto a redução da demanda e consumo, bem como o deslocamento da carga elétrica do horário de ponta, traz economia mensal e de investimento inicial, se o sistema de ar condicionado for concebido com essa preocupação. Algumas das principais medidas para conservar energia no sistema de ar condicionado são listadas a seguir:

- seleção de equipamentos de baixo consumo (KW/TR) e uso de compressores de maior rendimento;
- variação da vazão de água através do uso de variadores de frequência nas bombas;
- variação da vazão de ar;
- controle da entalpia;
- termoacumulação: uso combinado do deslocamento de carga com redução de demanda.

Além do vidro e do sistema de ar condicionado, as características técnicas da construção, o microclima, a temperatura externa, a radiação solar, o vento, as trocas térmicas das paredes e cobertura, ganho de calor através dos usuários, iluminação e equipamentos eletrônicos, são também variáveis que influenciam diretamente no balanço energético de uma edificação (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR ENERGY, 1995).

A seguir são apresentadas algumas estratégias para tornar as edificações mais eficientes e confortáveis, como por exemplo, para amenizar a temperatura interna, para aproveitar a ventilação natural e a umidade relativa do ar.

- Temperatura - para amenizar a temperatura interna, a escolha do sistema construtivo mais adequado é indispensável, sendo que para isso é necessário primeiramente conhecer o clima local. Dependendo do clima pode-se tirar partido da inércia térmica, uma característica muito importante dos materiais. No caso do clima como o da cidade de São Carlos, semi-úmido, uma pesquisa mostrou que edificações que possuíam sistema construtivo de pouca inércia térmica, apresentaram os maiores desconfortos anuais, portanto, neste caso, o uso de materiais mais pesados fornece maior conforto térmico e torna o uso da climatização artificial para resfriamento e aquecimento, praticamente desnecessário (DORNELLES, 2004). Cores e texturas também são importantes. Paredes externas quanto mais claras e lisas, mais refletoras são, enquanto que as paredes escuras com texturas são as mais absorventes. Isso vale também para a cobertura, que é o local de maior ganho térmico de uma edificação. Um

estudo realizado em um edifício de escritório em Brasília mostrou que a pintura da telha na cor branca e o uso de isolamento térmico, através de uma espuma rígida de poliuretano jateado, fizeram com que as salas estudadas apresentassem os menores percentuais de desconforto tanto por frio, quanto por calor (MACIEL & LAMBERTS, 2003). Outro aspecto importante é a orientação do edifício. Um edifício bem orientado em relação ao sol se torna mais confortável termicamente e apresenta melhor aproveitamento da iluminação natural. A vegetação também influencia na radiação solar, pois em locais arborizados, pode interceptar entre 60% e 90% da radiação, causando uma redução substancial da temperatura da superfície do solo (OLGYAY & OLGAYAY, 1973).

- Ventilação natural - para um melhor aproveitamento da ventilação natural, o arquiteto pode tirar partido do perfil topográfico do terreno, usar vegetação, edificações ou outros anteparos naturais ou artificiais para alterar as condições do vento local, e principalmente, projetar aberturas eficientes, pois elas apresentam um papel muito importante na captação do vento. Há algumas estratégias para o aproveitamento da ventilação, como a ventilação cruzada e a ventilação seletiva. A ventilação cruzada acontece quando há aberturas em paredes opostas e é recomendada por Mahoney, para o clima como o de São Carlos, por auxiliar na produção de conforto nos períodos quentes, quando a temperatura interna pode vir a ser superior à externa. Já a ventilação seletiva, é um recurso apropriado para climas de grande amplitude térmica, podendo também ser utilizada em São Carlos. Essa estratégia permite um controle da ventilação nas horas mais quentes e mais frias do dia.

Outro aspecto importante das aberturas é a tipologia das janelas. A seguir as tabelas 4.4 e 4.4.1 apresentam algumas tipologias de janelas com suas vantagens e desvantagens.

Tabela 4.4 - Tipologias de Janelas
Fonte: VIANNA & GONÇALVES, 2001

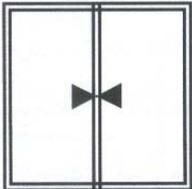
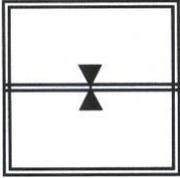
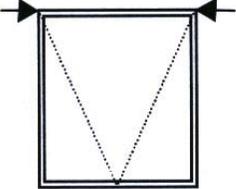
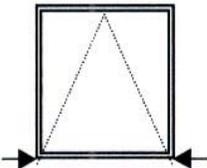
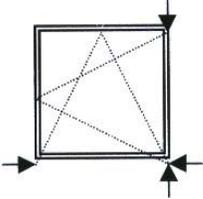
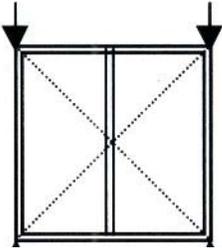
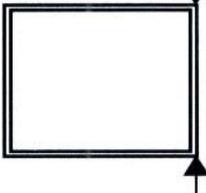
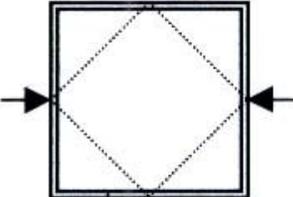
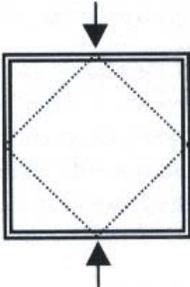
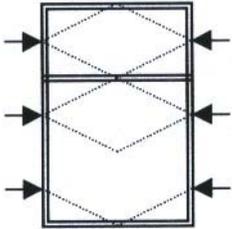
Descrição	Tipos	Vantagens	Desvantagens
Correr		<ul style="list-style-type: none"> 1)Simplicidade na manobra. 2)Ventilação regulada conforme aberturas das folhas. 3)Não ocupa áreas internas ou externas e possibilita a colocação de telas e/ou grades no vão total. 	<ul style="list-style-type: none"> 1)Vão para ventilação quando aberta totalmente equivale a 50% do vão da janela. 2)Dificuldade de limpeza na face externa. 3)Vedações necessárias nas juntas abertas.
Guilhotina		<ul style="list-style-type: none"> 1)As mesmas vantagens da janela tipo de correr, caso as folhas tenham sistemas de contrapeso ou sejam balanceadas. Do contrário, as folhas devem ter retentores no percurso das guias, no montante do marco. 	<ul style="list-style-type: none"> 1)Caso as janelas tenham sistema de contrapeso ou de balanceamento, a quebra dos cabos ou da regulagem do balanceamento constitui um problema.
Projetante		<ul style="list-style-type: none"> 1)Não ocupa espaço interno. 2)Possibilita ventilação nas áreas inferiores do ambiente, mesmo com chuva sem vento. 3)Boa estanquedade, pois a pressão do vento sobre a folha ajuda essa condição. 	<ul style="list-style-type: none"> 1)Dificuldade de limpeza na face externa. 2)Não permite o uso de grade e/ou telas na parte externa. 3)Libera parcialmente o vão.
Tombar		<ul style="list-style-type: none"> 1)Ventilação boa, principalmente na parte superior, mesmo com chuva sem ventilação. 2)Facilidade de comando à distância. 	<ul style="list-style-type: none"> 1)Não libera o vão. 2)Dificuldade de limpeza na parte externa.
Ribalta abrir e tombar		<ul style="list-style-type: none"> 1)Devido às possibilidades de abrir e tombar permite amplo controle da ventilação. 2)Boa estanquedade ao ar e à água. 3)Facilidade de limpeza. 	<ul style="list-style-type: none"> 1)Necessidade de grande rigidez no quadro da folha para evitar deformação. 2) Acessórios de custo mais elevado.

Tabela 4.4.1 - Tipologias de Janelas
Fonte: VIANNA & GONÇALVES, 2001

Descrição	Tipos	Vantagens	Desvantagens
Abrir Folha dupla		<ol style="list-style-type: none"> 1)Boa estanquidade ao ar e à água. 2)Libera completamente o vão na abertura máxima. 3)Fácil limpeza na face exterior. 4)Permite telas e/ou grades e/ou persianas, quando as folhas abrem para dentro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1)Ocupa espaço interno, caso as folhas abram para dentro. 2)Não é possível regular a ventilação. 3)As folhas se fixam apenas na posição de máxima abertura ou no fechamento total. 4)Dificulta a colocação de telas e/ou grade e/ou persiana, se as folhas abrirem para fora. 5)Impossibilidade de abertura para ventilação com a chuva oblíqua.
Abrir Folha simples			
Pivotante Horizontal (reversível)		<ol style="list-style-type: none"> 1)Facilidade de limpeza na face externa. 2)Ocupa pouco espaço na área de utilização. 3)Quando utiliza pivôs com ajuste de freio, permite abertura a qualquer ângulo para ventilação, mesmo com chuva sem vento, tanto na parte superior quanto na parte inferior. 4)Possibilita a movimentação de ar em todo o ambiente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1)No caso de grandes vãos necessita-se de uso de fechos perimétricos. 2)Dificulta a utilização de telas e/ou grades e/ou persianas.
Pivotante Vertical		<ol style="list-style-type: none"> 1) Facilidade de limpeza na face externa. 2)Abertura de grandes dimensões com um único vidro. 3)Abertura em qualquer ângulo, quando utiliza pivôs com ajuste de freio, o que permite o controle da ventilação. 	<ol style="list-style-type: none"> 1)Dificuldade de utilização de telas e/ou persianas. 2)Ocupa espaço interno, caso o eixo seja no centro da folha.
Basculante		<ol style="list-style-type: none"> 1)Janela que permite ventilação constante, mesmo com chuva sem vento, na totalidade do vão, caso não tenha panos fixos. 2)Pequena projeção para ambos os lados não prejudicando as áreas próximas a ela. 3)Fácil limpeza. 	<ol style="list-style-type: none"> 1)Não libera o vão para passagem total. 2)Reduzida estanquidade.

- Umidade relativa do ar - a umidade do ar é uma das variáveis meteorológicas que influenciam na sensação do conforto térmico, sendo muito importante para tornar o ambiente mais agradável. Em locais onde o clima é muito seco, apresentando dias muito quentes e noites muito frias, é indispensável o uso de vegetação e água para umidificar o ar, aumentando assim a umidade relativa e tornando o local mais confortável. Já em locais aonde o clima é muito úmido e quente, existe uma grande sensação de desconforto térmico pela dificuldade da pele evaporar o suor, tornando nesse caso o uso de água e vegetação dispensável.

Além dessas variáveis, existem diversas outras relacionadas ao estudo de conforto térmico, lumínico e eficiência energética de um edifício, como por exemplo, a iluminação artificial e natural, que serão apresentadas a seguir.

4.6 Eficiência Energética e Iluminação

O conforto visual é o principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício. É entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes (LAMBERTS et al, 1997a). Para isso, é necessário um bom projeto de iluminação que leve em conta os avanços tecnológicos garantindo conforto visual aos ocupantes e ao mesmo tempo economia energética, pois os sistemas de iluminação artificial são agentes consideráveis no consumo total de energia em edificações, principalmente das comerciais, como mostra a tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Consumo de Energia com Iluminação em Edificações Comerciais

Fonte: PROCEL, 1988

Lojas: 76%	Escritórios: 56%	Oficinas: 56%	Bancos: 52%	Shoppings: 49%
------------	------------------	---------------	-------------	----------------

Estudos simulados em Atenas, Londres e Copenhague, para espaços de escritórios de 54 m², indicam que, em todos os casos, o sistema de luz artificial contribuiu em 50% do consumo total de energia elétrica (EUROPEAN COMMISSION, 1994). Atualmente, metade da energia consumida na Europa e nos Estados Unidos é destinada aos edifícios. Já em São Paulo, 40% do consumo de energia elétrica acontecem dentro de quatro paredes (ROMÉRO, 1987).

Esse alto índice se deve ao fato de que em muitos casos, os profissionais da construção civil não levam em consideração diversos fatores como a orientação do edifício para o aproveitamento da iluminação natural, um bom projeto de iluminação artificial complementar, lâmpadas e equipamentos mais eficientes, fácil manutenção, entre outros. Apesar disso, hoje em dia existem algumas estratégias que podem ser utilizadas para diminuir o consumo de energia, como por exemplo, os sistemas de retrofit. Um projeto de retrofit compreende na troca do equipamento atual bem como as adaptações de instalações necessárias de um sistema para outro análogo, porém mais eficiente. Neste caso, um dos parâmetros mais comuns aos quais se atribui a necessidade de retrofit é a elevação da eficiência do uso de energia elétrica, ou seja, um sistema que atenda às necessidades para as quais o sistema atual foi projetado e permita, ao mesmo tempo, redução da conta de energia elétrica.

Diversas tecnologias mais eficientes de iluminação foram introduzidas no Brasil na década passada, facilitando os sistemas de retrofit. A adoção e o uso destas tecnologias vêm crescendo devido a sua relação custo-benefício favorável. Atualmente o mercado possui uma diversidade desses equipamentos, como as lâmpadas vapor de sódio, lâmpadas fluorescentes compactas, fluorescentes eficientes (T-8) e fluorescentes circulares (COSTA, 2005). Um grande exemplo de economia está na substituição de uma lâmpada incandescente por uma fluorescente compacta, que significa ao longo da

vida útil da lâmpada, economia de 1 barril de petróleo (igual a 4 vezes o custo de cada lâmpada) e uma diminuição de cerca de 2.000 pounds de CO₂ (aquecimento global) e 20 pounds de SO_x (chuva ácida) para a atmosfera (GOMES, 2005)¹.

O Procel em conjunto com o Inmetro criou um selo de certificação, que é um instrumento promocional, concedido anualmente desde 1994, aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria. Sua finalidade é estimular a fabricação nacional de produtos mais eficientes no item economia de energia, e orientar o consumidor, no ato da compra, a adquirir equipamentos que apresentem melhores níveis de eficiência energética (PROCEL, 2006). Na área da iluminação, os equipamentos que recebem atualmente o selo são:

- Lâmpadas fluorescentes compactas integradas e não integradas
- Lâmpadas fluorescentes circulares integradas e não integradas
- Reatores eletromagnéticos para lâmpadas fluorescentes tubulares
- Reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio

Além das lâmpadas, a escolha da luminária e do reator também é muito importante, como as luminárias reflexivas e os reatores eletrônicos, que chegam a economizar cerca de 30% menos energia que os convencionais, além de aquecerem menos e aumentarem a vida útil da lâmpada. O uso de sensores de presença e controle de desligamento da aparelhagem, também contribui e muito para a economia de energia, principalmente em edifícios comerciais e públicos.

Um estudo realizado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina mostrou que a substituição do sistema de iluminação, por lâmpadas de 32W e luminárias com refletores de alumínio, diminuiu em 9,5% o consumo de energia elétrica (WESTPHAL et al, 2002).

¹ GOMES, V. Comunicação pessoal. 2005. (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Departamento de Engenharia Civil – São Paulo, Campinas, Brasil).

Outro estudo realizado no edifício comercial da Eletrosul em Florianópolis mostrou que o sistema de retrofit reduziu aproximadamente 17,5% o consumo de energia. As principais medidas adotadas foram: uso de reatores eletrônicos e sistemas de baixas perdas, substituição das lâmpadas de 40W por lâmpadas de 32W e 16W, pintura branca do forro e mudança no layout das luminárias, pela desativação alternada de algumas lâmpadas e pela utilização de refletores em alumínio nas luminárias (LAMBERTS et al, 1997b).

A luz natural vem também como uma alternativa para a redução do consumo de energia elétrica, além de ser favorável para o conforto visual e para o bem estar dos usuários (HOPKINSON, 1963). A qualidade da iluminação natural depende das condições exteriores, principalmente da implantação, onde o projetista pode controlar sua transmissão e distribuição através do desenho do edifício (EVANS & SCHILLER, 1994). Infelizmente alguns projetistas ainda não levam isso em consideração e parâmetros de iluminação natural e térmica são esquecidos, acarretando em ganhos extras de calor e desperdício de energia, já que a adoção do uso de sistema de ar condicionado nestes casos acaba sendo indispensável para promover o conforto dos usuários, e está comprovado que grande parte da energia consumida por edifícios comerciais e residenciais é através da geração do conforto ambiental ao ocupante (PROCEL, 2005).

Além da implantação do edifício, as aberturas são também as grandes responsáveis pela captação da luz natural e do calor, portanto, as janelas devem ser bem dimensionadas e posicionadas. As aberturas podem ser laterais ou zenitais e apresentarem diversas estratégias de projeto para se obter um uso mais eficiente da iluminação natural. No caso das aberturas laterais, uma boa iluminação natural se baseia na adequada localização das janelas e nas características do tipo de fechamento. Elas podem ser altas e baixas, altas e estreitas, largas e horizontais, em paredes opostas e paredes adjacentes, dependendo da característica do local e do efeito que se quer.

Existem algumas estratégias de iluminação para o controle da luz natural nos edifícios, como pátio interno (fig. 4.18), átrio (fig. 4.19), prateleira de luz (fig. 4.20), parede refletora (fig. 4.21), shed (fig. 4.22), duto de luz (fig. 4.23), clerestory (fig. 4.24), refletor interno (fig. 4.25), elemento prismático (fig. 4.26), superfície inclinada e reflexiva (fig. 4.27), vidro reflexivo (fig. 4.28) e isolamento térmica transparente (fig. 4.29) (EUROPEAN COMMISSION, 1994).

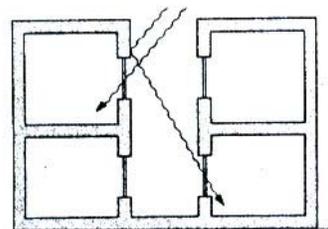


Fig. 4.18 - Pátio Interno

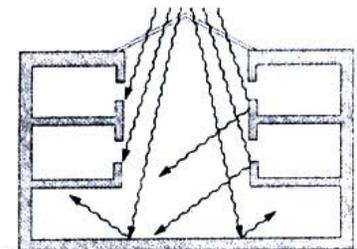


Fig. 4.19 - Átrio

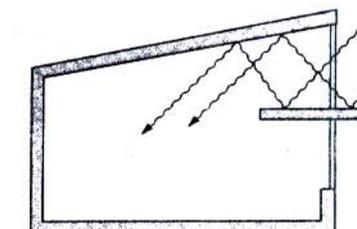


Fig. 4.20 - Prateleira de Luz

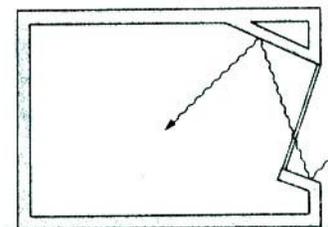


Fig. 4.21 - Parede Refletora

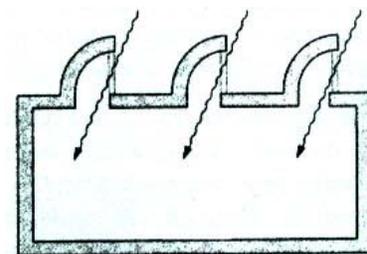


Fig. 4.22 - Shed

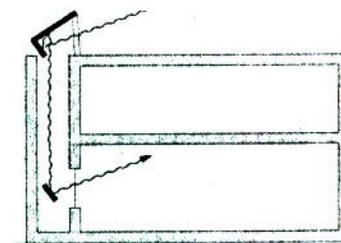


Fig. 4.23 - Dutos de Luz

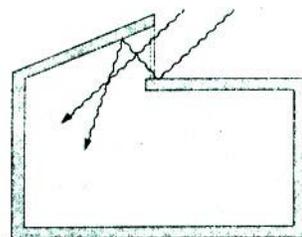


Fig. 4.24 - Clerestory

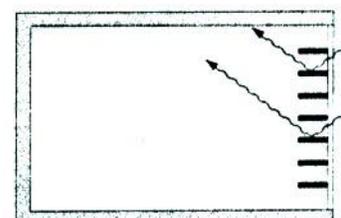


Fig. 4.25 - Refletor Interno

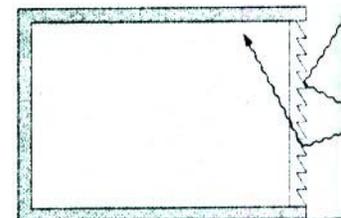


Fig. 4.26 - Elemento Prismático

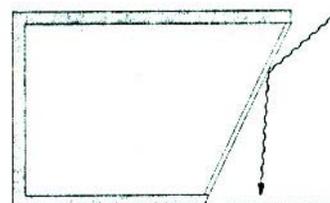


Fig. 4.27 - Superfície Incl. e Reflex.

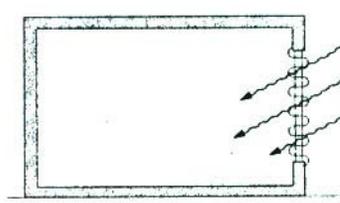


Fig. 4.28 - Vidro Reflexivo

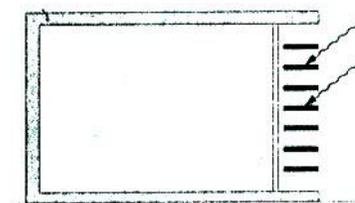


Fig. 4.29 - Isolação Térmica Transp.

Fonte: EUROPEAN COMMISSION, 1994

Apesar das estratégias citadas acima, às vezes é necessária a utilização de dispositivos que controlem a radiação solar direta nas aberturas, como os protetores solares internos (cortinas) e protetores solares externos (brises). Os brises se bem projetados, contribuem para barrar a radiação solar direta, aumentando assim o conforto térmico e lumínico do usuário, além de ter uma integração harmoniosa com a fachada. Eles podem ser fixos ou reguláveis manualmente ou por sistemas automatizados, horizontais, verticais ou mistos e de diversos materiais. São calculados através da carta solar da cidade onde a edificação será inserida.



Figura 4.30 - Exemplo de Edifício com Brise Fixo
Fonte: <http://www.arcoweb.com.br>

Em relação às aberturas zenitais, elas apresentam maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho, devido ao fato de que, em geral, a iluminação zenital conta com o dobro de área iluminante de céu em relação às aberturas laterais. A iluminação zenital pode ser feita através de algumas tipologias de aberturas como:

- sheds (com superfícies iluminantes a 90° e inclinadas)
- lanternins (com superfícies iluminantes a 90° e inclinadas)
- teto de dupla inclinação
- domus, clarabóias ou cúpulas

Os elementos tipo shed, lanternin e tetos de dupla inclinação são os mais utilizados em edifícios industriais e estações de transporte, principalmente ferroviárias.

Os domus, clarabóias, cúpulas e também os tetos de dupla inclinação são muito utilizados em galerias, shoppings e grandes espaços de lazer, estar e cultura.

Por fim, não se pode esquecer, em nenhuma etapa do projeto, da multiplicidade de funções das janelas do ponto de vista do conforto ambiental, pois as aberturas nas suas variadas dimensões, tipologias e estilos, representam o principal aspecto para a luz, o som, o calor e a ventilação dos edifícios. Além disso, seu uso eficiente em combinação com a iluminação artificial pode alcançar, mediante a garantia do controle eficiente do sistema e a especificação de suas instalações, economias de 30% a 70% de energia elétrica (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

No tópico seguinte, são apresentados alguns softwares que simulam o desempenho energético e ambiental das edificações, tornando mais fácil para o projetista a escolha do sistema de iluminação, do sistema construtivo, da melhor orientação e de outros parâmetros da construção.

4.7 Softwares de Simulação Termo-Energética

O uso de programas de simulação é importante para prever o desempenho energético e ambiental de edificações, orientando as decisões de projeto ou comprovando a eficiência e análise custo/benefício dessas decisões (LAMBERTS et al, 1997a). Através de simulações termo-energéticas é possível conhecer o comportamento de cada parâmetro construtivo e também abordar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de condicionamento e de iluminação, respondendo mais adequadamente às condicionantes do clima e da função do edifício.

Nos últimos 30 anos, diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas para auxiliar na análise térmica e energética de edificações. O Diretório de Ferramentas de Simulação Energética (Building Energy Tools Directory) do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 280 programas de

simulação desenvolvidos em diversos países como DOE, BLAST, ESP e Energy Plus, que fazem simulações com dados climáticos, permitindo uma avaliação econômica através do consumo de energia das diversas opções simuladas. Além desses softwares, existem outros para análise bioclimática como o Analysis 1.5, Analysis BIO, Analysis CST, Luz do Sol, Arquitrop, E2- ArCondicionado e outros (LABEEE, 2006a).

As simulações deste trabalho de mestrado serão realizadas através da interface E2-ArCondicionado (E2-AC) versão 2.3.1 no programa Energy Plus versão 1.3, um programa de simulação de energia predial para modelagem de aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia, a partir de cálculos de cargas de aquecimento e resfriamento necessários para manter os ajustes do controle térmico do local em análise. O Energy Plus foi extensivamente testado obtendo erro máximo de 5,6% nos valores calculados de carga térmica e consumo, em comparações com resultados experimentais (DOE, 2006). Através de dados da geometria, materiais, perfil de ocupação do edifício e arquivo climático da região, com dados horários de temperatura, umidade relativa, vento e radiação solar, é possível avaliar a demanda e o consumo anual dos sistemas de climatização necessários para sua operação.

Em suma, a proposta do programa de simulação termo-energética Energy Plus é desenvolver e organizar módulos de programas que possam trabalhar facilmente juntos ou individualmente. A estrutura genérica do programa possui três componentes: o operador da simulação, o módulo de simulação do balanço de calor e o módulo de simulação do sistema da edificação (CRAWLEY et al, 2001).

Para o cálculo da carga térmica, o programa Energy Plus utiliza o método dos fatores de resposta, que consiste na técnica de solução de um sistema de equações lineares, baseando-se no princípio da superposição em que o efeito da temperatura sobre a densidade do fluxo de calor, é a soma dos efeitos causados por vários pulsos individuais de temperatura durante instantes anteriores. Portanto, esse método compõe-se de três etapas: desenvolvimento do pulso em séries de componentes simples, cálculo de resposta para cada componente e adição das respostas de cada componente.

Como ferramenta do Energy Plus será utilizada uma interface brasileira, o E2-AC versão 2.3.1, desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). Essa interface permite a simulação de modelos simplificados, com sistema de condicionamento de ar ou não. Possui uma biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros, além de um modelo pronto para representar um condicionador de ar de janela. Através dela, pode-se testar algumas alternativas de fechamentos construtivos, cargas internas, padrões de uso, temperatura de controle, capacidade e eficiência do sistema de condicionamento de ar (LABEEE, 2006b). Como esta interface está em fase de desenvolvimento, ela apresenta algumas limitações: simula apenas salas com formas ortogonais, simula apenas uma zona térmica e não simula salas com proteção solar (brise).

Vários estudos de simulação termo-energética foram e estão sendo realizados por pesquisadores. Alguns deles serão apresentados a seguir.

Bulla e Lamberts (1994) buscaram analisar parametricamente o desempenho termo-energético de um edifício comercial, utilizando o programa DOE-2.1E. Neste trabalho foram analisados a orientação do edifício, a absorvidade e o valor de transmitância térmica das paredes, a porcentagem de vidro na fachada e o coeficiente de sombreamento das janelas. Dentre os resultados obtidos, a mudança da absorvidade da parede de 0,8 para 0,3 obteve uma redução expressiva nos valores de carga térmica relacionada às paredes, influenciando na carga térmica de resfriamento e também no consumo total de energia do edifício. Com relação a mudança de orientação do edifício de norte-sul para leste-oeste, ficou claro que, para o edifício em estudo com forma retangular e 12 pavimentos, as variações nas cargas de resfriamento pelo componente janela do edifício variaram em torno de 14%, mas a sua influência na carga total de resfriamento e no consumo total de energia foi muito pequena.

Lee, Westphal e Lamberts (2001) realizaram simulações de algumas medidas já adotadas em dois novos edifícios de escritórios da UFSC, com objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica. Essas medidas envolveram a instalação de um sistema central de condicionamento de ar, proteções solares nas janelas,

aproveitamento da iluminação natural através de prateleiras de luz e sistema de iluminação artificial composto por lâmpadas T8 de 32W, luminárias com refletor de alumínio de alta pureza e reatores com alto fator de potência. O modelo dos prédios foi calibrado no VisualDOE através de medições in-loco. Alternativas de projetos, menos eficientes, adotadas nas obras típicas da UFSC foram simuladas e comparadas com o modelo calibrado, a fim de se determinar a economia de energia alcançada. Os resultados destas simulações mostraram que os conceitos de eficiência energética adotados nos 2 novos prédios, proporcionaram uma economia equivalente a 24% no consumo anual de energia elétrica nos edifícios. Já a redução obtida na demanda representou 64% do valor máximo registrado durante um ano.

Na pesquisa de Beccali e Ferrari (2003) são apresentados os resultados de um estudo sobre a qualidade da iluminação natural considerando as condições de conforto térmico, lumínico e otimização do consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios. Esse estudo foi realizado através de simulações no programa DOE-Plus, onde foram utilizados como referência climas distintos de três cidades da Itália: Palermo, Roma e Milão. Nessas simulações foram analisadas a influência de diferentes tipos de vidros, dispositivos de proteção e estratégias de controle da iluminação artificial. Dentre os resultados apresentados, a utilização de dispositivos automáticos para controle da iluminação artificial, resultou numa grande economia de energia elétrica (70%), enquanto que o sistema manual chegou a 30%. Em relação ao desconforto lumínico, as janelas que continham dispositivos de proteção automáticos, não apresentaram em nenhum momento, nas três cidades, desconforto por ofuscamento, enquanto que as que não continham nenhum tipo de proteção obtiveram o maior percentual de desconforto.

No Brasil, o estudo mais recente de simulação termo-energética no programa Energy Plus em edifícios de escritórios foi realizado por Santana (2006), que também fez parte do projeto maior e analisou a zona bioclimática 3, correspondente a cidade de Florianópolis. Neste trabalho foram analisados 35 edifícios de escritórios com relação à caracterização construtiva. Os resultados desse levantamento indicaram a frequência de ocorrência de números de pavimentos, forma da edificação, percentual de área de

janela na fachada, tipos de vidros, cores externas, orientação das fachadas e existência de elementos de proteção solar. Também foram analisados 41 escritórios com relação ao padrão de uso e ocupação.

Com base nos dados levantados nas 35 edificações, um modelo representativo da realidade construtiva foi elaborado e denominado tipologia predominante, sendo utilizada como caso base das simulações termo-energéticas. Com isso, foram realizadas alterações dos parâmetros construtivos a fim de se avaliar sua influência no consumo de energia. As variações da tipologia predominante consistiram na análise do fator de projeção, do entorno, do coeficiente de sombreamento dos vidros, do percentual de área de janela na fachada, da transmitância térmica dos materiais, da absorvância dos materiais, da orientação da edificação, dos padrões de ocupação e uso dos equipamentos e por fim, da eficiência dos aparelhos de ar condicionado.

A análise dos resultados foi dividida em três grupos: envelope, padrão de ocupação e uso de equipamentos, e sistema de ar condicionado. Os resultados mostraram que com relação ao envelope, a cada variação de 10% do percentual de área de janela na fachada, o consumo de energia aumentou em 2,8%. Para a absorvância das paredes externas, cada variação de 10% implicou num aumento de 1,9% no consumo de energia, já para a cobertura, o aumento foi de 8% para carga de resfriamento. Com relação ao padrão de ocupação e uso de equipamentos, os resultados mostraram uma variação máxima no consumo de energia de 5,9%, comparada ao caso base. Já para o sistema de ar condicionado, a cada aumento de 0,1W/W, o consumo de energia decresceu em 1,6%.

Vale ressaltar que as simulações do trabalho citado foram realizadas alterando apenas um parâmetro por vez, não permitindo assim uma análise mais profunda em relação à influência individual de cada um. Além disso, as simulações foram realizadas diretamente no programa Energy Plus, não havendo a utilização da interface E2-AC.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Identificação dos Edifícios de Escritórios Existentes

O levantamento dos edifícios de escritórios de São Carlos foi feito através de uma pesquisa realizada na Prefeitura Municipal da cidade, onde foram selecionados os edifícios que continham mais de quatro pavimentos, restrição que garantia a presença de elevadores. As informações necessárias com relação à tipologia construtiva, localização, profissionais responsáveis, ano de ocupação, número de pavimentos, dimensões, áreas, orientações, área de vidro na fachada, sistemas de aberturas e elementos de proteção solar, foram conseguidas através de plantas do arquivo da Prefeitura, de construtoras e visitas *in loco*.

5.2 Escolha das Tipologias e Caracterização do Padrão de Uso e Ocupação das Edificações

Em vista da cidade de São Carlos possuir apenas seis edifícios de escritórios, não foi possível obter uma tipologia representativa, pois a amostra é muito pequena. Portanto, a seleção dos edifícios para estudo foi feita a partir de alguns indicadores, como presença de brise, área de vidro na fachada, orientações, número de salas com ar condicionado e principalmente facilidade de acesso às edificações. Para a caracterização do padrão de uso e ocupação desses edifícios, foi necessário selecionar

no mínimo 50% das salas em cada uma das tipologias. Essa seleção foi feita aleatoriamente, isso pela dificuldade de acesso aos escritórios. A partir de um questionário (Apêndice B) com informações sobre os tipos de equipamentos, seu horário de uso, número de funcionários, horário de funcionamento, entre outros, foi obtido o perfil de cada edificação.

5.3 Instrumentos de Medição

Para a realização das medições de temperatura e umidade relativa do ar, foi utilizado o sistema Hobo de aquisição de dados (tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Dados do Sistema Hobo

Modelo	Dimensões (mm)	Precisão (a 20°C)	Resolução (a 20°C)
 H08-032-08	102 x 81 x 51	±0.2 °C	0.02 °C
 H08-004-2	68 x 48 x 19	±0.7 °C	0.38 °C
 H08-003-2	68 x 48 x 19	±0.7 °C	0.38 °C

Para evitar a incidência solar direta nos aparelhos, interferindo assim nos resultados, os equipamentos foram instalados no interior de recipientes de alumínio com pequenas aberturas para proporcionar a livre circulação do ar (fig. 5.31).



Figura 5.31 - Proteção

5.4 Locais das Medições de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Para a realização das medições de temperatura e umidade relativa do ar interna e externa às edificações, foram escolhidas duas salas em cada um dos edifícios, atendendo a exigência de não estarem situadas próximas da cobertura ou do solo. Essas salas foram selecionadas pela facilidade de acesso e permissão para a realização das medições, que foram realizadas com o sistema Hobo de aquisição de dados durante 10 dias, no inverno e no verão, num intervalo de 15 minutos. O aparelho foi posicionado em todos os casos na fachada externa sul das edificações, para os resultados não sofrerem alterações com a radiação solar direta, sendo presos nas janelas na posição vertical. Já internamente, os aparelhos foram posicionados também na vertical, numa altura de aproximadamente 2m. Os dados obtidos nessas medições foram utilizados para análise climática descrita a seguir.

5.5 Análise Climática Segundo a Norma Ashrae 55-2004

Para análise climática das edificações levantadas na cidade de São Carlos, foi utilizado o cálculo de graus-hora de frio e calor, segundo a Norma Ashrae 55-2004.

Essa Norma sugere a seguinte equação para o cálculo das temperaturas confortáveis do ar em ambientes ventilados naturalmente:

$$T_c = 17.9 + 0.31 T_{med}$$

Sendo:

T_c = Temperatura confortável do ar interior (°C)

T_{med} = Média mensal da temperatura do ar exterior (°C)

Em torno dessas temperaturas confortáveis, a norma estabelece dois níveis de grau de satisfação: 90% (2.4°C) e 80% (3.4°C). No caso desse trabalho foi considerado o grau de satisfação de 90%.

5.6 Simulações Termo-Energéticas

As simulações deste trabalho foram realizadas no Programa Energy Plus Versão 1.3 através da Interface E2-ArCondicionado Versão 2.3.1. Essas simulações foram utilizadas para a avaliação da influência de parâmetros construtivos na eficiência energética e no conforto térmico de edifícios de escritórios da cidade de São Carlos.

Para os dados de entrada do programa de simulação, foram utilizadas informações sobre a caracterização construtiva e a caracterização de uso e ocupação do edifício de referência, bem como arquivos climáticos com dados horários do ano típico. No tópico a seguir é apresentada a metodologia utilizada no trabalho desenvolvido por Roriz (2006) para selecionar o ano climático típico da cidade de São Carlos e, em seguida, a caracterização do edifício de referência que foi simulado.

5.6.1 Ano Climático Típico de São Carlos (TRY)

O programa Energy Plus utiliza para a análise termo-energética de edificações, arquivos com dados climáticos horários de um ano para representar a influência do ambiente externo sobre a edificação. Geralmente, esses arquivos são obtidos em estações meteorológicas de aeroportos e necessitam de tratamento adequado para adaptá-los ao formato do programa de simulação desejado.

Há diferentes métodos para selecionar o ano climático típico de um lugar. Um dos mais usuais é o TRY, ou “Test Reference Year”, que foi utilizado neste trabalho. O procedimento consiste em eliminar-se da base de dados os anos que apresentem valores extremos em suas médias mensais de temperatura. O TRY é identificado através das seguintes etapas:

- a) Calcular as temperaturas médias mensais para todo o período da base de dados (MEDmesG);
- b) Ordenar os meses, segundo a MEDmesG, iniciando pelo mais quente, seguido pelo mais frio, depois o segundo mais quente, o segundo mais frio, o terceiro mais quente... e assim por diante;
- c) Eliminar o ano que apresente a média mensal mais alta do primeiro mês mais quente, depois o ano que apresente a média mensal mais baixa do primeiro mês mais frio, o ano que apresente a média mensal mais alta do segundo mês mais quente, o ano que apresente a média mensal mais baixa do segundo mês mais frio, e assim sucessivamente, até que reste apenas um ano, que será considerado típico.

5.6.2 Caracterização do Edifício de Referência e suas Variações

A caracterização do caso típico para simulação, chamado neste trabalho como edifício de referência, não está associada ao estudo do diagnóstico dos edifícios de escritórios levantados em São Carlos, e sim padronizada por todas as equipes que

fazem parte do projeto maior por um edifício de referência. Isso pelo fato dessa nova etapa possuir objetivos próprios: análise da adequação climática e do desempenho termo-energético de diferentes alternativas, em cada uma das oito zonas bioclimáticas, no caso a zona bioclimática 4, e treinamento no uso do Energy Plus, além do fato da interface apresentar algumas limitações que impedem a simulação real de alguns edifícios.

Esse edifício de referência possui alguns parâmetros fixos, sendo alguns adotados de acordo com os sistemas construtivos mais utilizados no Brasil. Abaixo são apresentados:

- Planta do Edifício Referência
- Número de Pavimentos
- Pé direito
- Tipo de Cobertura
- Laje de Piso
- Ocupação Média (m^2 /pessoa)
- Carga de Equipamentos (W/m^2)
- Carga de Iluminação (W/m^2)
- Equipamento de Condicionamento de Ar
- Padrão de Uso (horas)
- Tipo de Vidro (janela)

Os parâmetros variáveis nas simulações foram:

- Orientação da Fachada Maior
- Tipo de Parede (fachada)
- Porcentagem de vidro na Fachada
- Absortância da Cobertura
- Absortância da Fachada
- Pavimento Considerado
- Renovação (trocas/h)

Para obter o consumo energético total, foram realizadas simulações no pavimento total, desprezando assim as divisórias internas, já que a interface E2-AC só simula uma zona térmica. Além disso, foram realizadas simulações apenas considerando o ambiente com condicionamento de ar, já que a prioridade deste trabalho é a análise arquitetura x consumo energético.

Ao todo foram realizadas 288 simulações, pois foi feita a combinação de todas as hipóteses.

5.6.3 Codificação dos Casos em Função dos Parâmetros Definidos

Para nomear as diferentes alternativas foram atribuídas “letras” para cada um dos parâmetros definidos, conforme a tabela 5.7. Já a tabela 5.8 mostra como foram obtidas as diferentes alternativas de simulação a partir das variáveis.

Tabela 5.7 - Códigos para Gravação dos Arquivos

Parâmetro	Variável	Código
Orientação Fachada Maior	N	A
	NE	B
	E	C
	SE	D
Tipo de Parede (Fachadas)	Tij6FurQdr 14	E
	Tij. Maciço 15	F
	Tij. Maciço 27	G
Porcentagem de Vidro Fachada	20	H
	80	I
Absortância Cobertura (%)	20	J
	80	K
Absortância Fachadas (%)	20	L
	80	M
Pavimento considerado	Intermediário	N
	Cobertura	O
Renovação de Ar (trocas/hora)	1	P
	5	Q

Tabela 5.8 - Exemplo de Codificação das Alternativas para a Etapa de Simulação

Parâmetros	Orientação				Paredes			PJF(%)		Abs. Cob (%)		Abs. Fach(%)		Pav.		Renov.	
	N	NE	E	SE	F14	M 15	M 27	20	80	20	80	20	80	Int	Cob	1	5
NOME ARQUIVO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
AEHJLNP	X				X			X		X		X		X		X	
AFHJLNP	X					X		X		X		X		X		X	
AGHJLNP	X						X	X		X		X		X		X	
BEHJLNP		X			X			X		X		X		X		X	
BFHJLNP		X				X		X		X		X		X		X	
BGHJLNP		X					X	X		X		X		X		X	
CEHJLNP			X		X			X		X		X		X		X	
CFHJLNP			X			X		X		X		X		X		X	
CGHJLNP			X				X	X		X		X		X		X	
DEHJLNP				X	X			X		X		X		X		X	
DFHJLNP				X		X		X		X		X		X		X	
DGHJLNP				X			X	X		X		X		X		X	

5.7. Análise Estatística dos Dados Simulados

Os resultados obtidos com as 288 simulações foram classificados por ordem decrescente de consumo. Para orientar as análises seguintes, as 288 alternativas foram agrupadas em dois grupos, pavimento intermediário e pavimento cobertura sendo que o primeiro possui 96 casos e o segundo 192 casos. Além disso, foram separados por consumo para resfriamento e para aquecimento.

A análise estatística das variáveis estudadas nesse trabalho foi feita através da análise estatística de regressão linear múltipla através do software Origin 6.0, com o objetivo de identificar a influência dos parâmetros tipológicos na variação do consumo energético.

A regressão linear múltipla consiste da busca de um modelo que represente adequadamente o processo de geração de um fenômeno aleatório da natureza, em um contexto em que se dispõe de uma variável, cuja média é dependente dos valores referentes a um conjunto de variáveis ditas variáveis independentes ou explicativas. Em termos matemáticos, há interesse em se estimar os parâmetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ do modelo dado por:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_p X_{pi} + e_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Onde Y_i é o valor da variável resposta para o i -ésimo indivíduo, X_{ji} é o valor da j -ésima variável independente para o i -ésimo indivíduo e e_i é o erro aleatório referente à resposta do i -ésimo indivíduo.

A estimação dos parâmetros desse modelo é feita pelo método de mínimos quadrados. Porém, para fazer essa estimação e para verificar a importância de cada variável no modelo, bem como para fazer estimativas intervalares para o valor da variável resposta, é comum que se empreguem as suposições referentes ao erro desse modelo,

Para essa análise foram utilizados os valores de consumo de energia (variável independente) obtidos a partir das simulações, e os parâmetros tipológicos (variáveis dependentes) como orientação, capacidade térmica (CT), transmitância dos materiais (U), absorvância da fachada e da cobertura, porcentagem de vidro na fachada (PJF) e renovações de ar por hora.

Como o software Origin necessita que todos os parâmetros sejam numéricos, foi considerada para as quatro orientações (norte, nordeste, leste e sudeste) a soma das irradiâncias médias da fachada considerada mais sua oposta, para o dia 15 de junho (inverno) e 15 de dezembro (verão). Foi escolhida a irradiância, pois ela quantifica a orientação. Essa estimativa foi obtida através do software Luz do Sol. Para os outros parâmetros foram considerados seus valores reais.

6. O CLIMA LOCAL

A cidade de São Carlos está localizada na região central do estado de São Paulo a 22°01' de latitude Sul e 47°53' de longitude Oeste, na região tropical ou intertropical do hemisfério Sul. Aos 145 anos, o município de São Carlos é considerado um centro regional importante no interior paulista. Limita-se ao norte com os municípios de Rincão, Luis Antonio e Santa Lúcia; ao sul com Ribeirão Bonito, Brotas e Itirapina; a oeste com Ibaté, Araraquara e Américo Brasiliense e a leste com Descalvado e Analândia. Possui relevo acidentado e está a 856 m de altitude, sendo a maior altitude dos municípios circunvizinhos. A população atual da cidade chega a 213.314 habitantes, com 95,1% da população vive na área urbana (PREFEITURA MUNICIPAL, 2002).

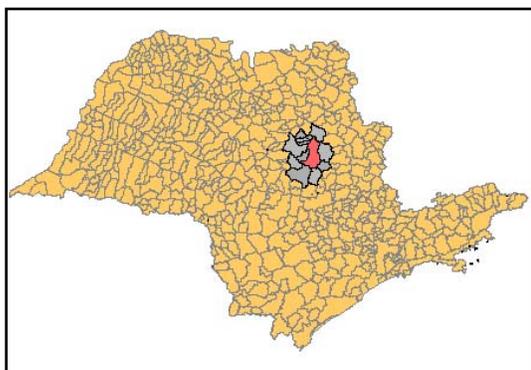


Figura 6.32 - Localização no Estado de São Paulo



Figura 6.33 - São Carlos e Municípios Vizinhos

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL, 2002

O clima da cidade de São Carlos é considerado como tropical de altitude, que, segundo a classificação de Koeppen, é o Cwa, clima quente com inverno seco, no qual a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. O total das chuvas do mês mais seco não atinge 30 mm e do mês mais chuvoso atinge valores 10 vezes maiores (EMBRAPA, 1994).

Os ventos predominantes sopram de nordeste (30,2% em fevereiro e março), sudeste (19,4%, de abril e setembro a novembro), leste (14,8%, de maio a julho) e norte (12,3%, em janeiro), com médias de velocidades, respectivamente de 3,5, 4,0, 3,1 e 3,1 m s⁻¹. Os ventos menos freqüentes sopram de noroeste (8,2%), oeste (5,9%), sul (4,7%) e sudoeste (5,9%), com médias de velocidades de 3,3, 3,0, 3,3 e 2,9 m s⁻¹, respectivamente (TOLENTINO, 1967).

Em relação à umidade relativa do ar da cidade, dados do Ministério da Agricultura (1940-1990) mostraram que a média diária variou entre 30% e 100%, com médias mensais entre 53% e 89%, e médias anuais entre 71% e 77%.

As temperaturas extremas da cidade com mínimas de -0,3°C ocorreram em 27 de junho de 1994, enquanto que as temperaturas máximas de 35,8°C ocorreram em 26 de novembro de 1991. Já as médias das amplitudes térmicas diárias variaram entre 0,8 e 30,8°C e as médias mensais entre 6,0 a 17,6°C (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1940-1990). Estatísticas realizadas com dados de temperaturas médias anuais de 1970 a 2001, agrupadas em blocos de quatro anos, mostraram um aumento anual de 0,02°C, provavelmente pela redução de áreas verdes permanentes, através do desmatamento intenso e aumento da emissão de gases de efeito estufa. (EMBRAPA, 2006).

As figuras 6.34 e 6.35 apresentam dados mensais de temperatura máxima, mínima e média (Tmax, Tmin e Tmed) e umidade relativa do ar (UR) da cidade de São Carlos do ano de 2005.

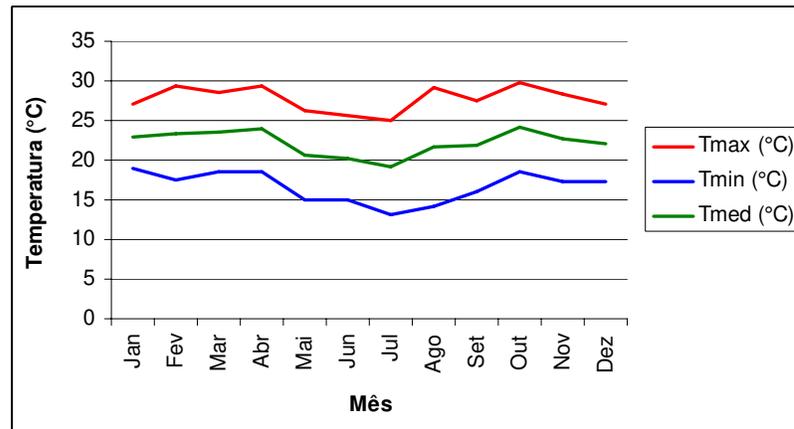


Figura 6.34 - Dados Mensais de Temperatura do Ano de 2005
 Fonte: Embrapa, 2006

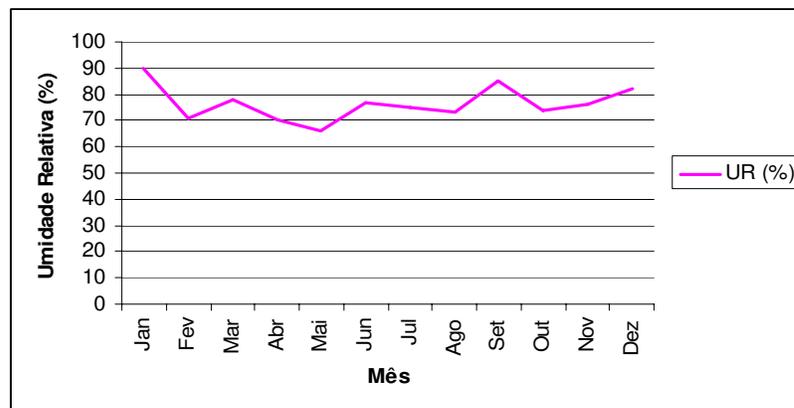


Figura 6.35 - Dados Mensais de Umidade do Ar do Ano de 2005
 Fonte: Embrapa, 2006

O conhecimento dos dados climáticos da cidade em estudo é muito importante para se obter diretrizes de projeto para uma arquitetura vinculada à bioclimatologia. Existem algumas normas que fornecem algumas diretrizes iniciais de projeto, como a Norma 15220-3 da ABNT, 2005. Essa Norma para habitações de interesse social, além de fornecer parâmetros de projeto, propõe a divisão do território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima (fig. 6.36), sendo que a cidade de São Carlos se insere na zona bioclimática 4 (fig. 6.37).

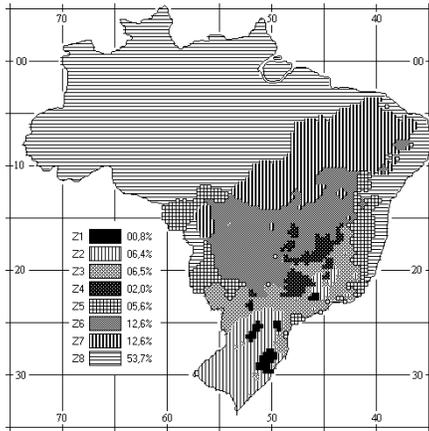


Figura 6.36 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

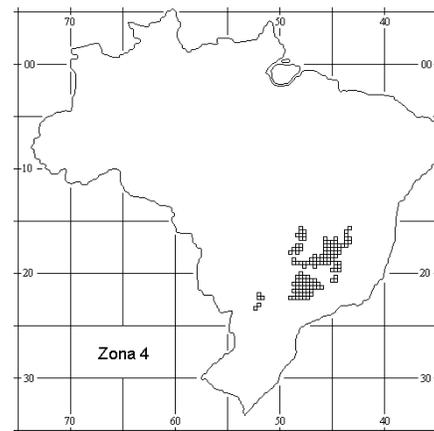


Figura 6.37 - Zona Bioclimática 4

Fonte: ABNT, 2005

A referida Norma apresenta para cada uma das zonas um conjunto de recomendações construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. Abaixo são apresentadas as recomendações para a zona 4. Vale ressaltar que essas recomendações são para habitações de interesse social.

Tabela 6.9 - Aberturas para Ventilação e Sombreamento das Aberturas para a Zona Bioclimática 4
Fonte: ABNT, 2005

Aberturas para Ventilação A (em % da área de piso)	Sombreamento das Aberturas
Médias: $15\% < A < 25\%$	Sombrear Aberturas

Tabela 6.10 - Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator de Calor Solar Admissíveis para Vedações Externas para a Zona Bioclimática 4
Fonte: ABNT, 2005

Vedações Externas	Transmitância Térmica U	Atraso Térmico ϕ	Fator de Calor Solar FCS
	W/m ² .K	Horas	%
Parede: Pesada	$U \leq 2,20$	$j \geq 6,5$	$FCS \leq 3,5$
Cobertura: Leve Isolada	$U \leq 2,00$	$j \leq 3,3$	$FCS \leq 6,5$

Tabela 6.11 - Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo para a Zona Bioclimática 4
Fonte: ABNT, 2005

Estação	Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil

7. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS

7.1 Identificação dos Edifícios de Escritórios

A primeira etapa desse trabalho foi o levantamento do número de edifícios de escritórios presentes em São Carlos. Essas informações foram obtidas junto a Prefeitura Municipal da cidade, chegando a seis edifícios de escritórios que atendiam ao critério mais de quatro pavimentos, restrição que garantia a presença de elevadores. Com esses dados, o próximo passo foram as visitas *in loco* e as informações construtivas conseguidas através de plantas do arquivo da Prefeitura e de algumas Construtoras. Os resultados foram organizados em tabelas que descrevem as características construtivas de cada edificação, apresentadas a seguir.

Tabela 7.12 - Edifício Bandeirantes

Edifício 1 – Bandeirantes

R: Conde do Pinhal, 2185 São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado na região central da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada

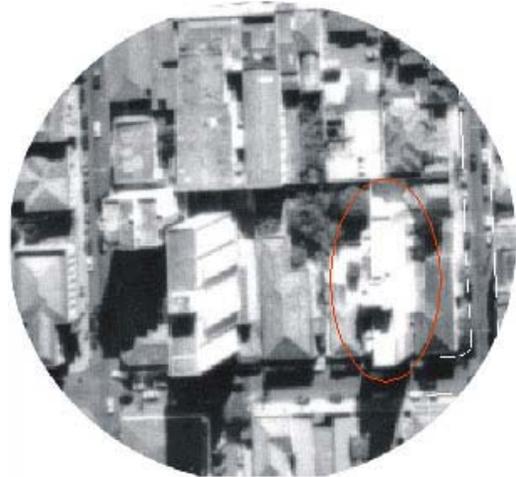


Foto Aérea

Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 – Características Gerais

Projetista: Aparecida Zivieri	Número de pavimentos-tipo: 8
Construtora: Construtora Coninter	Número de salas por pavimento tipo: 4
Ano de início de ocupação: 1998	Número de escritórios de advocacia: 29
Número total de pavimentos: 9	Número de salas vazias: 3

3- Tipologia arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

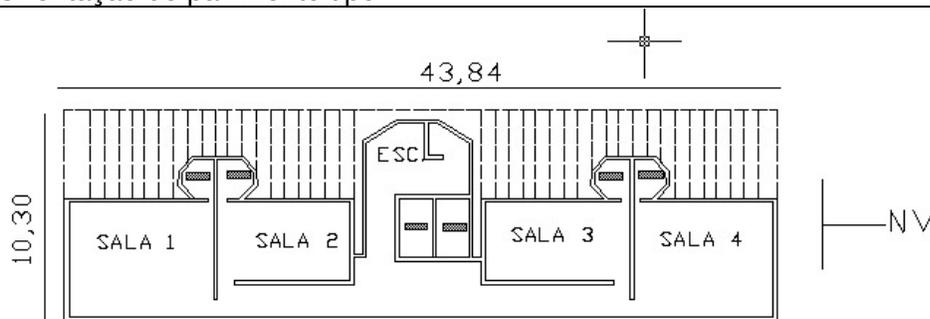


Tabela 7.12.1 - Características Construtivas

4- Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto com espessura de 10 cm. Laje dos pavimentos tipo: revestimento da laje com massa fina sobre a laje maciça, com espessura acabada de 15 cm. Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada com proteção termomecânica.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 27 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor preta com vidro transparente de 6 mm (basculante)

Tabela 7.12.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
Nº total de pavimentos: 9		Área total do edifício: 2.566,40m ²
Nº de pavimentos-tipo: 8	Pé-direito: 2,70m	Área de cada pavimento: 229,30m ²
Nº total de salas: 32		Área média de cada sala: 31,00 m ²
Nº de salas por pavimento tipo: 4		

Tabela 7.12.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas							
Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	0°	10,30	2,70	-	-	-	-
Fachada 2	270°	43,84	2,70	-	-	-	-
Fachada 3	180°	10,30	2,70	-	-	-	-
Fachada 4	90°	43,84	2,70	19,72	14,00	11,72	sim

Tabela 7.13 - Edifício Conde do Pinhal

Edifício 2 - Conde do Pinhal

R: Major Jose Inácio, São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado na região central da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada

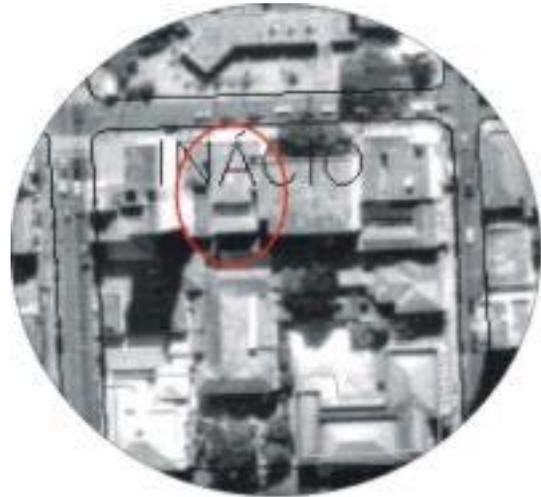


Foto Aérea
Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 - Características Gerais

Projetista: Maurício Kogan

Número de pavimentos-tipo: 6

Construtora: Não consta

Número de salas por pavimento tipo: 4

Ano de início de ocupação: 1961

Número de escritórios de advocacia: 19

Número total de pavimentos: 10

Número de salas vazias: 5

3- Tipologia arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

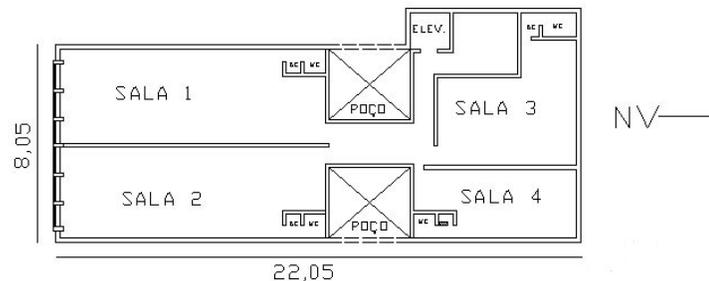


Tabela 7.13.1 - Características Construtivas

4- Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto. Laje dos pavimentos tipo: Forro de estuque de cimento, cal e areia, sob laje de concreto armado. Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 20 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor preta com vidro transparente de 6 mm (basculante e guilhotina)

Tabela 7.13.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
N° total de pavimentos: 10		Área total do edifício: 1.873,00m ²
N° de pavimentos-tipo: 6	Pé-direito: 2,70m	Área de cada pavimento: 194,20m ²
N° total de salas: 40		Área média de cada sala: 46,00 m ² / 32,00 m ² / 27,00 m ²
N° de salas por pavimento tipo: 4		

Tabela 7.13.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas							
Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	0°	8,05	2,70	15,70	14,76	4,98	sim
Fachada 2	90°	22,05	2,70	-	-	-	-
Fachada 3	180°	8,05	2,70	16,60	15,30	6,52	não
Fachada 4	270°	22,05	2,70	-	-	-	-

Além das fachadas envidraçadas citadas acima, há também na orientação leste e oeste um poço composto por três paredes envidraçadas sem aberturas. Esse poço é fechado por uma parede de concreto com elementos vazados, tornando o recebimento de radiação solar menor do que receberiam se estivessem na fachada.

Tabela 7.14 - Edifício Racz Center

Edifício 3 - Racz Center

Av. São Carlos, São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado na região central da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada

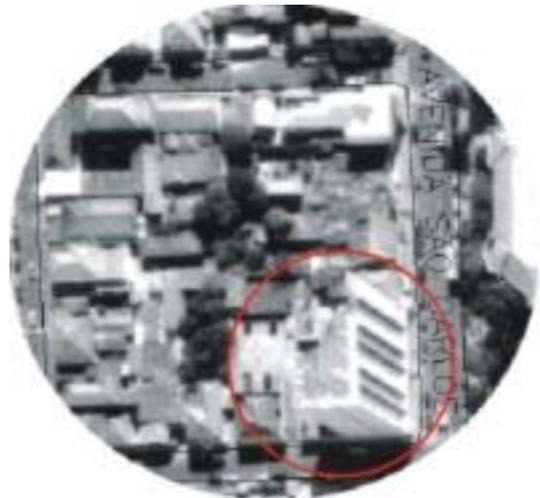


Foto Aérea

Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 - Características Gerais

Projetista: Anibal Fernandes	Número de pavimentos-tipo: 10
Construtora: Racz Construtora S.A.	Número de salas por pavimento tipo: 10
Ano de início de ocupação: 1975	Número de escritórios de advocacia: 80
Número total de pavimentos: 11	Número de salas vazias: 20

3- Tipologia arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

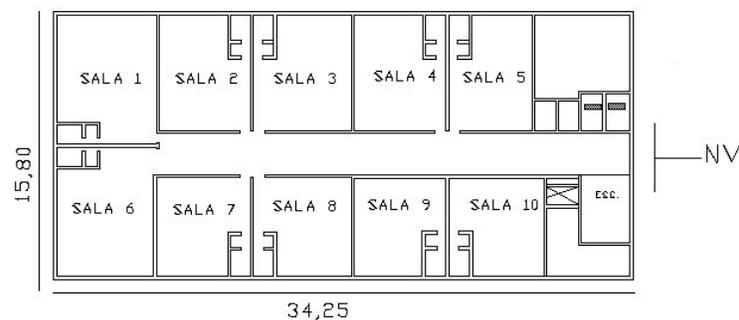


Tabela 7.14.1 - Características Construtivas

4- Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto. Laje dos pavimentos tipo: maciça de concreto. Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 27 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor branca com vidro transparente de 6 mm (basculante)

Tabela 7.14.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
Nº total de pavimentos: 11		Área total do edifício: 5.728,50m ²
Nº de pavimentos-tipo: 10	Pé-direito: 3,10m	Área de cada pavimento: 495,00m ²
Nº total de salas: 100		Área média de cada sala: 34,60 m ²
Nº de salas por pavimento tipo: 10		

Tabela 7.14.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas							
Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	0°	15,80	3,10	-	-	-	-
Fachada 2	270°	34,25	3,10	56,50	44,50	25,70	não
Fachada 3	180°	15,80	3,10	-	-	-	-
Fachada 4	90°	34,25	3,10	56,50	44,50	25,70	não

Tabela 7.15 - Edifício Rotary Club

Edifício 4-Rotary Club

R: Conde do Pinhal, 2265 – São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado na região central da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada



Foto Aérea

Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 - Características Gerais

Projetista: Mauro Eduardo Rossit	Número de pavimentos-tipo: 6
Construtora: Proposta Engenharia	Número de salas por pavimento tipo: 6
Ano de início de ocupação: 1990	Número de escritórios de advocacia: 35
Número total de pavimentos: 7	Número de salas vazias: 1

3- Tipologia arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

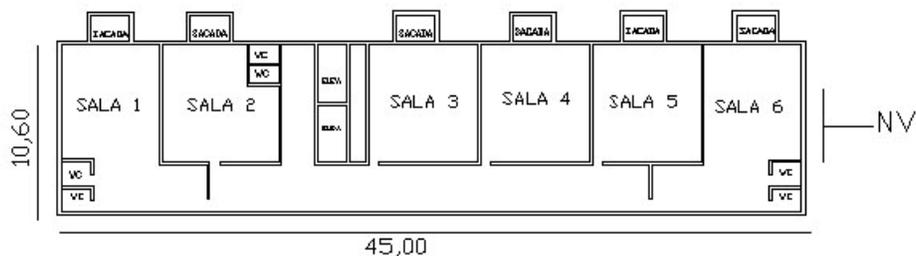


Tabela 7.15.1 - Características Construtivas

4 - Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto. Laje dos pavimentos tipo: Laje de concreto simples moldada <i>in loco</i> . Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 20 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor branca com vidro transparente de 6 mm (basculante e porta de correr – sacada)

Tabela 7.15.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
Nº total de pavimentos: 7		Área total do edifício: 3.179,20m ²
Nº de pavimentos-tipo: 6	Pé-direito: 2,80m	Área de cada pavimento: 311,30m ²
Nº total de salas: 36		Área média de cada sala: 40,00 m ²
Nº de salas por pavimento tipo: 6		

Tabela 7.15.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas							
Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	0°	10,60	2,80	0,90	0,63	0,51	não
Fachada 2	270°	45,00	2,80	-	-	-	-
Fachada 3	180°	10,60	2,80	1,22	0,84	0,70	não
Fachada 4	90°	45,00	2,80	40,80	34,14	19,13	não

Tabela 7.16 - Edifício Luciano Zanollo

Edifício 5 - Luciano Zanollo

R: Dona Alexandrina, 966 São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado na região central da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada



Foto Aérea

Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 - Características Gerais

Projetista: Denise Laudissi	Número de pavimentos-tipo: 7
Construtora: B.S. Engenharia e Construções	Número de salas por pavimento tipo: 4
Ano de início de ocupação: 1986	Número de escritórios de advocacia: 24
Número total de pavimentos: 8	Número de salas vazias: 4

3- Tipologia Arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

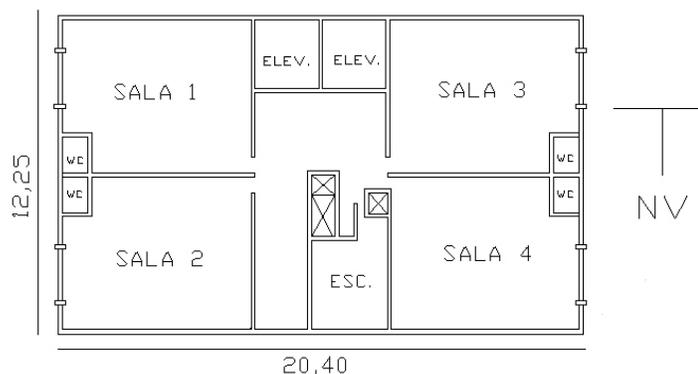


Tabela 7.16.1 - Características Construtivas

4 - Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto. Laje dos pavimentos tipo: Laje de concreto simples moldada <i>in loco</i> . Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada com aditivo.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 22 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor preta com vidro transparente de 6 mm (basculante)

Tabela 7.16.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
Nº total de pavimentos: 8		Área total do edifício: 1.565,10m ²
Nº de pavimentos-tipo: 7	Pé-direito: 2,80m	Área de cada pavimento: 108,10m ²
Nº total de salas: 28		Área média de cada sala: 44,00 m ²
Nº de salas por pavimento tipo: 4		

Tabela 7.16.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas							
Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	0°	20,40	2,80	-	-	-	-
Fachada 2	90°	12,25	2,80	10,67	8,00	8,90	sim
Fachada 3	180°	20,40	2,80	-	-	-	-
Fachada 4	270°	12,25	2,80	10,67	8,00	8,90	sim

Tabela 7.17 - Edifício Centro Médico

Edifício 6 - Centro Médico

R: Maria Jacinta, São Carlos SP

1- Características do entorno urbano

O edifício está implantado numa região afastada do centro da cidade de São Carlos. O entorno urbano concentra usos comerciais e de serviços.



Foto da Fachada

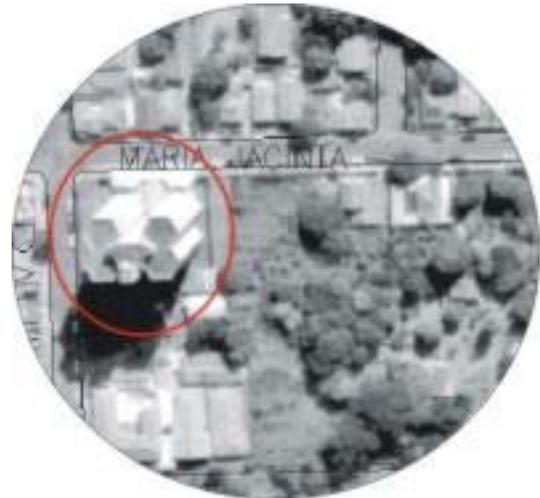


Foto Aérea

Fonte: Prefeitura Municipal, 2002

2 - Características Gerais

Projetista: Ivo César Nicoletti

Número de pavimentos-tipo: 10

Construtora: Construtora Bianco

Número de salas por pavimento tipo: 4

Ano de início de ocupação: 1995

Número de escritórios de medicina: 40

Número total de pavimentos: 11

Número de salas vazias: 0

3- Tipologia arquitetônica

Planta e Orientação do pavimento tipo

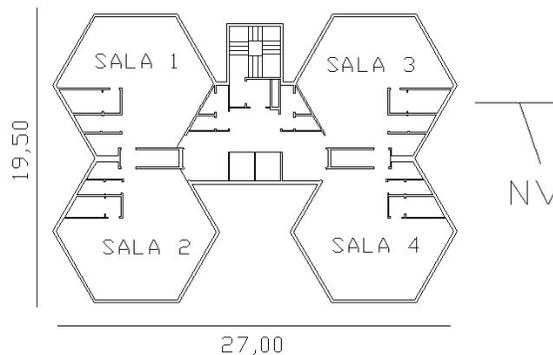


Tabela 7.17.1 - Características Construtivas

4 - Características Construtivas	
Estrutura	Concreto armado
Laje	Laje maciça de concreto. Laje dos pavimentos tipo: Laje de concreto. Laje de cobertura: maciça de concreto impermeabilizada com proteção mecânica.
Parede externa	Bloco cerâmico tipo tijolo baiano com espessura de 20 cm.
Revestimento	Reboco e pintura
Esquadrias	Esquadrias de ferro na cor metálica com vidro transparente de 6 mm (basculante)

Tabela 7.17.2 - Características dos Pavimentos

5- Características dos Pavimentos		
Nº total de pavimentos: 11		Área total do edifício: 4.054,10m ²
Nº de pavimentos-tipo: 10	Pé-direito: 3,00m	Área de cada pavimento: 420,00m ²
Nº total de salas: 40		Área média de cada sala: 77,35 m ²
Nº de salas por pavimento tipo: 4		

Tabela 7.17.3 - Características da Fachada do Pavimento Tipo

6- Características das Fachadas

Fachadas	Azimute	Largura (m)	Altura (m)	Área janela (m ²)	Área vidro (m ²)	Área ventilação (m ²)	Brise
Fachada 1	11°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 2	71°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 3	131°	4,0	3,00	5,62	4,16	3,78	-
Fachada 4	71°	6,0	3,00	5,62	4,16	3,78	-
Fachada 5	131°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 6	191°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 7	251°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 8	191°	5,5	3,00	0,89	0,75	0,59	-
Fachada 9	131°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 10	191°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 11	251°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 12	311°	6,0	3,00	5,62	4,16	3,78	-
Fachada 13	251°	4,0	3,00	5,62	4,16	3,78	-
Fachada 14	311°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 15	11°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 16	71°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-
Fachada 17	131°	4,0	3,00	-	-	-	-
Fachada 18	11°	9,5	3,00	1,78	1,5	1,18	-
Fachada 19	251°	4,0	3,00	-	-	-	-
Fachada 20	311°	5,5	3,00	9,70	8,50	3,36	-

Abaixo são apresentadas as tabelas com o resumo das características construtivas dos edifícios levantados.

Tabela 7.18 - Características Gerais

	nome	nº pav. tipo	nº salas	nº salas vagas	ano ocupação	área pav. tipo (m ²)	área salas (m ²)
ed1	Bandeirantes	8	32	3	1998	229,30	31,00
ed2	Conde do Pinhal	6	24	5	1961	194,26	31,00
ed3	Ràcz Center	10	100	20	1975	495,00	34,63
ed4	Rotary Club	6	36	10	1990	311,38	40,00
ed5	Luciano Zanollo	7	28	4	1986	108,08	44,00
ed6	Centro Médico	10	40	0	1995	420,00	77,35

Tabela 7.19 - Sistemas Construtivos

	paredes externas					estrutura		paredes internas		Sist. condicion.	
	material	espes.	revest.	cor	absort.	pilar	laje	espes.	material	tipo	% salas
ed1	TF	27	RT	cinza	0.4	C	C	15	TF	SCAJ	12,5
ed2	TF	20	RT	rosa	0.4	C	C	15	TF	SCAJ	50
ed3	TF	27	RRC	branco e cinza	0.6	C	C	15	TF	SCAJ	39
ed4	TF	20	RT	branco	0.3	C	C	14	TF	SCAJ	13,9
ed5	TF	22	RT	branco	0.2	C	C	15	TF	SCAJ	50
ed6	TF	20	RT	azul	0.6	C	C	15	TF	SCAJ	85

Onde:

TF = tijolo cerâmico furado (baiano)

RT = reboco + camada de tinta

RRC = reboco + revestimento cerâmico

C = concreto

SCAJ = sistema de condicionamento de ar de janela

Tabela 7.20 - Características da Implantação dos Edifícios

	nome	altura (m)	largura (m)	comprimento (m)	área fach1 (m ²)	área fach2 (m ²)
ed1	Bandeirantes	24,3	10,30	43,84	1.065,31	250,29
ed2	Conde do Pinhal	27	8,05	22,05	217,35	595,35
ed3	Ràcz Center	34,10	34,25	15,80	1.167,92	538,78
ed4	Rotary Club	19,6	10,60	45,00	882,00	207,76
ed5	Luciano Zanollo	22,4	12,25	20,40	456,96	274,40
ed6	Centro Médico	33	27,00	19,50	891,00	643,50

Tabela 7.21 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Bandeirantes

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
360°	27,81	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
270°	118,7	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
180°	27,81	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
90°	118,7	14	5,72	11,72	ferro	0,9	6	não	sim	0,12	0,09

Tabela 7.22 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Conde do Pinhal

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
360°	21,73	14,76	0,94	4,98	ferro	0,9	6	sim	sim	0,67	0,22
90°	59,53	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
180°	21,73	15,30	1,30	6,52	ferro	0,9	6	-	-	0,70	0,30
270°	59,53	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0

Tabela 7.23 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Ràcz Center

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
360°	48,98	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
270°	106,2	44,5	12	25,7	ferro	0,9	6	não	não	0,42	0,24
180°	48,98	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
90°	106,2	44,5	12	25,7	ferro	0,9	6	não	não	0,42	0,24

Tabela 7.24 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Rotary Club

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
360°	29,68	0,63	0,27	0,51	ferro	0,2	6	não	não	0,02	0,01
270°	126	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
180°	29,68	0,84	0,38	0,70	ferro	0,2	6	não	não	0,03	0,02
90°	126	34,14	6,66	19,13	ferro	0,2	6	não	não	0,27	0,15

Tabela 7.25 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Luciano Zanollo

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
360°	57,12	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
90°	34,3	8	2,67	5,9	ferro	0,9	6	sim	não	0,23	0,17
180°	57,12	0	0	0	-	0	0	-	-	0	0
270°	34,3	8	2,67	5,9	ferro	0,9	6	sim	não	0,23	0,17

Tabela 7.26 - Características das Fachadas do Pavimento Tipo - Centro Médico

azim.	área fachada (m ²)	área janelas (m ²)			esquadria		espes. vidro	proteção solar		relações	
		L	E	V	mater.	absort.		mm	vert.	horiz.	L/A
11°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
71°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
131°	12,00	4,16	1,46	3,78	ferro	0,2	6	não	não	0,35	0,32
71°	18,00	4,16	1,46	3,78	ferro	0,2	6	não	não	0,23	0,21
131°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
191°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
251°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
191°	16,50	0,75	0,14	0,59	ferro	0,2	6	não	não	0,05	0,04
131°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
191°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
251°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
311°	18,00	4,16	1,46	3,78	ferro	0,2	6	não	não	0,23	0,21
251°	12,00	4,16	1,46	3,78	ferro	0,2	6	não	não	0,35	0,32
311°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
11°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
71°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20
131°	12,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11°	28,50	1,50	0,28	1,18	ferro	0,2	6	não	não	0,05	0,04
251°	12,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
311°	16,50	8,50	1,20	3,36	ferro	0,2	6	não	não	0,52	0,20

Onde:

A = área fachada

Absort = absortância

L = área envidraçada

L/A = relação entre área envidraçada e fachada

E = área esquadria

V/A = relação entre área de ventilação e fachada

V = área ventilação

7.2 Escolha das Tipologias

Para definir as edificações para estudo, levaram-se em consideração alguns indicadores: presença e ausência de brise, maior e menor área de vidro na fachada, edifícios com diferentes orientações, salas com maior e menor uso de ar condicionado e principalmente facilidade de acesso. Os edifícios escolhidos foram Conde do Pinhal, Luciano Zanollo e Centro Médico. As tabelas 7.22, 7.25 e 7.26 mostram esses indicadores.

7.3 Características do Padrão de Uso e Ocupação das Edificações

Para se obter o padrão de uso e ocupação dos três edifícios foram escolhidas algumas salas em cada uma das edificações, totalizando mais de 50% das salas existentes, como mostra a tabela 7.27. Essas salas foram selecionadas aleatoriamente, devido a dificuldade de acesso a elas. A partir de um questionário (Apêndice B) pôde-se obter resultados quanto ao uso e ocupação de cada edificação. Esse questionário foi aplicado apenas para uma pessoa em cada sala selecionada.

Tabela 7.27 - Salas Analisadas

Edifício	Salas detalhadas	Salas monitoradas
Conde do Pinhal 50% de salas detalhadas	202, 204, 303, 401, 402, 404, 501, 502, 603, 604, 701, 703	202 e 401
Luciano Zanollo 71% de salas detalhadas	11, 12, 13, 14, 41, 42, 51, 52, 53, 54, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72	31 e 51
Centro Médico 50% de salas detalhadas	23, 24, 31, 32, 33, 34, 43, 44, 53, 54, 61, 62, 71, 72, 73, 74, 80, 81, 102, 104	61 e 62

O perfil das atividades encontradas nos três edifícios selecionados para esta pesquisa, mostra que a maior participação percentual foi a de advocacia, representando 56,5% e a segunda maior atividade foi a de medicina, representando 43,5% do total. Dos três edifícios escolhidos, dois deles possuem apenas salas de advocacia e o outro, apenas consultórios médicos. Isso mostra que na cidade de São Carlos existe uma predominância dessas atividades em edifícios de escritórios.

7.3.1 Padrão de Uso e Ocupação das Atividades de Advocacia e Medicina

O levantamento de uso e ocupação das 52 salas de advocacia e medicina foi realizado a partir de um questionário pela dificuldade de acesso aos escritórios e consultórios. Abaixo são apresentados os resultados obtidos.

- **Advocacia**

A partir dos levantamentos realizados nas 32 salas de advocacia visitadas nos edifícios Conde do Pinhal e Luciano Zanollo, obteve-se os seguintes resultados:

a) Uso

A tabela 7.28 mostra o percentual de salas que possuem equipamentos como computador, impressora, cafeteira, ar condicionado e outros. Os dois primeiros estão presentes em 100% dos escritórios e o ar condicionado está presente em apenas 50%. Já a figura 7.38, apresenta o número de horas de uso desses equipamentos.

Tabela 7.28 - Nº Equipamentos em Salas de Advocacia

Equipamentos	Nº de escritórios
Computador e Impressora	100%
Fax	81,25%
Telefone s/ fio	31,25%
Cafeteira	40,6%
Bebedouro	34,4%
Ar Condicionado	50%
Frigobar / geladeira	40,6%
Ventilador	56,25%

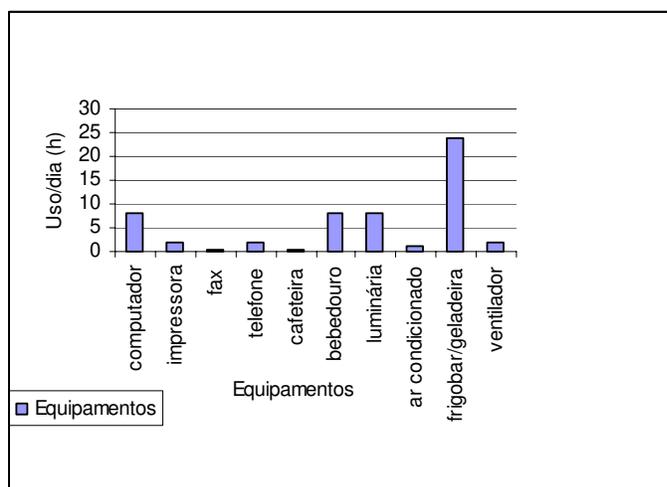


Figura 7.38 - Tempo de Uso de Equipamentos

b) Ocupação

O gráfico a seguir mostra o padrão de ocupação das salas de advocacia levantadas nos edifícios. Os itens analisados são: fluxo de pessoas, número de funcionários e percentual de salas que trabalham aos sábados.

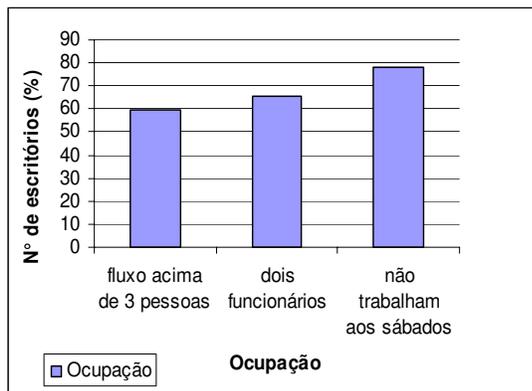


Figura 7.39 - Ocupação

- **Medicina**

Os levantamentos realizados nas 20 salas de medicina do edifício Centro Médico mostram os seguintes resultados:

a) Uso

A tabela 7.29 mostra o percentual de salas de medicina que possuem equipamentos elétricos. Ao contrário das salas de advocacia, a maioria dos consultórios possui ar condicionado, chegando a 85%. Quanto ao número de horas de uso por dia desses equipamentos, a figura 7.40 mostra que o menor uso está relacionado ao fax e o maior ao frigobar, que fica ligado 24 horas por dia.

Tabela 7.29 - Nº Equipamentos em Salas de Medicina

Equipamentos	Nº de escritórios
Computador e Impressora	90%
Fax	60%
Telefone s/ fio	75%
Cafeteira	85%
Bebedouro	70%
Ar Condicionado	85%
Frigobar/geladeira	90%
Ventilador	80%
Máquina Unimed	100%

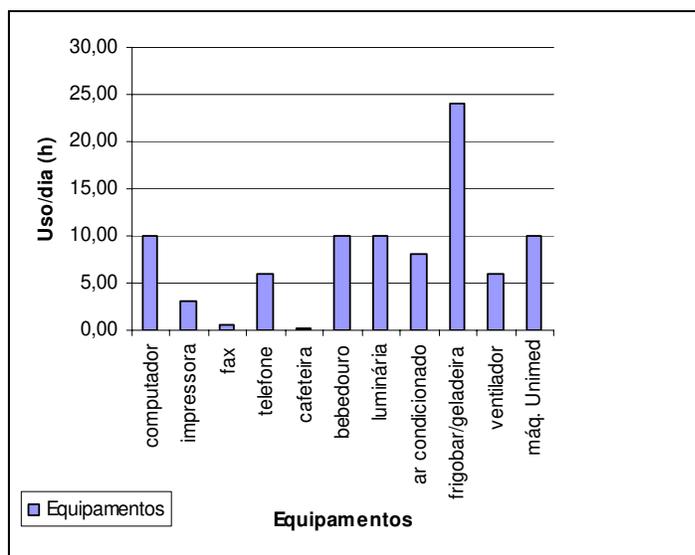


Figura 7.40 - Tempo de Uso de Equipamentos

b) Ocupação

A figura 7.41 mostra o padrão de ocupação das salas de medicina que difere, nos três itens analisados, do padrão das salas de advocacia.

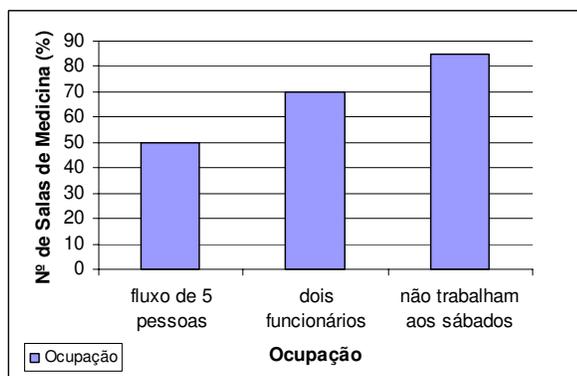


Figura 7.41 - Ocupação

7.4 Medições de Inverno e Verão - Temperatura e Umidade do Ar

Para a realização das medições de temperatura e umidade relativa do ar interna e externamente as edificações, foram escolhidas duas salas em cada um dos edifícios. Essas salas foram selecionadas pela facilidade de acesso e pela permissão para a realização das medições, que foram feitas no inverno no período de 21 a 30 de julho de 2005 e no verão no período de 23 de março a 01 de abril de 2006.

O aparelho Hobo ficou em todos os casos na fachada externa sul das edificações, para os resultados não sofrerem alterações da incidência solar direta e foi preso na janela na posição vertical. Internamente, o aparelho também foi posicionado na vertical numa altura de aproximadamente 2m. Os dados dessas medições foram utilizados posteriormente para análise climática.

A seguir são apresentadas as plantas dos respectivos edifícios com o posicionamento dos aparelhos.

- **Edifício Conde do Pinhal (Escritórios de Advocacia)**
 - Sala 1 (sala 401) - 4º andar
O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 360º e 90º.
 - Sala 4 (sala 202) - 2º andar
O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 180º e 270º.

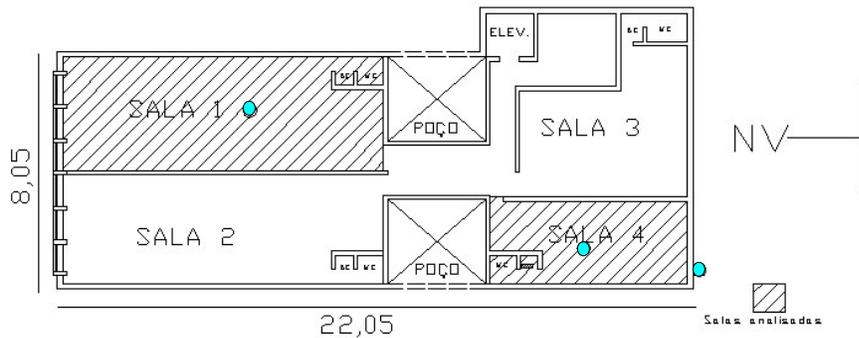


Figura 7.42 - Croqui do Edifício Conde do Pinhal

- **Edifício Luciano Zanollo (Escritórios de Advocacia)**

- Sala 2 (sala 51) - 5º andar

O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 90º e 360º.

- Sala 3 (sala 31) - 3º andar

O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 270º e 180º.

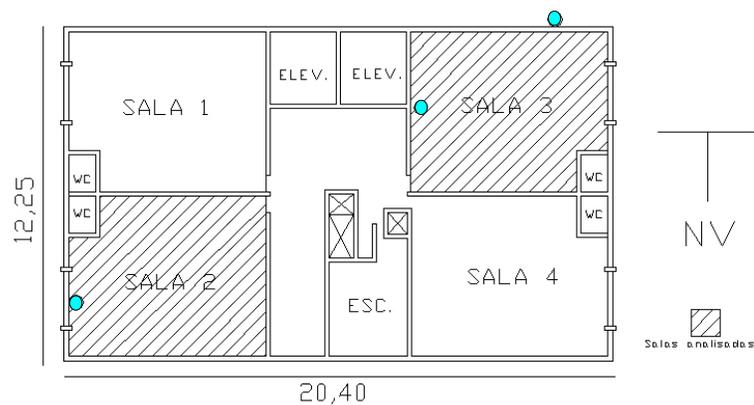


Figura 7.43 - Croqui do Edifício Luciano Zanollo

- **Edifício Centro Médico (Consultórios Médicos)**

- Sala 1 (sala 61) - 6º andar

O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 71°, 131°, 191° e 251°.

- Sala 2 (sala 62) - 6º andar

O aparelho foi posicionado internamente na sala que corresponde aos azimutes 251°, 311°, 11°, 71° e 131°.

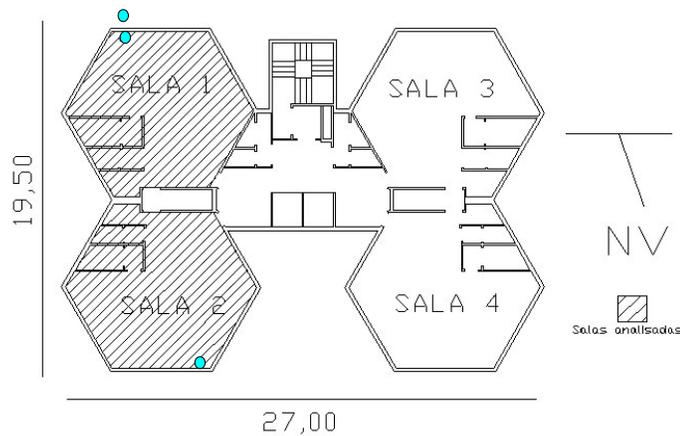


Figura 7.44 - Croqui do Edifício Centro Médico

A seguir são apresentados os gráficos com temperatura e umidade relativa do ar, obtidas através das medições nas seis salas analisadas, durante o período de inverno e de verão.

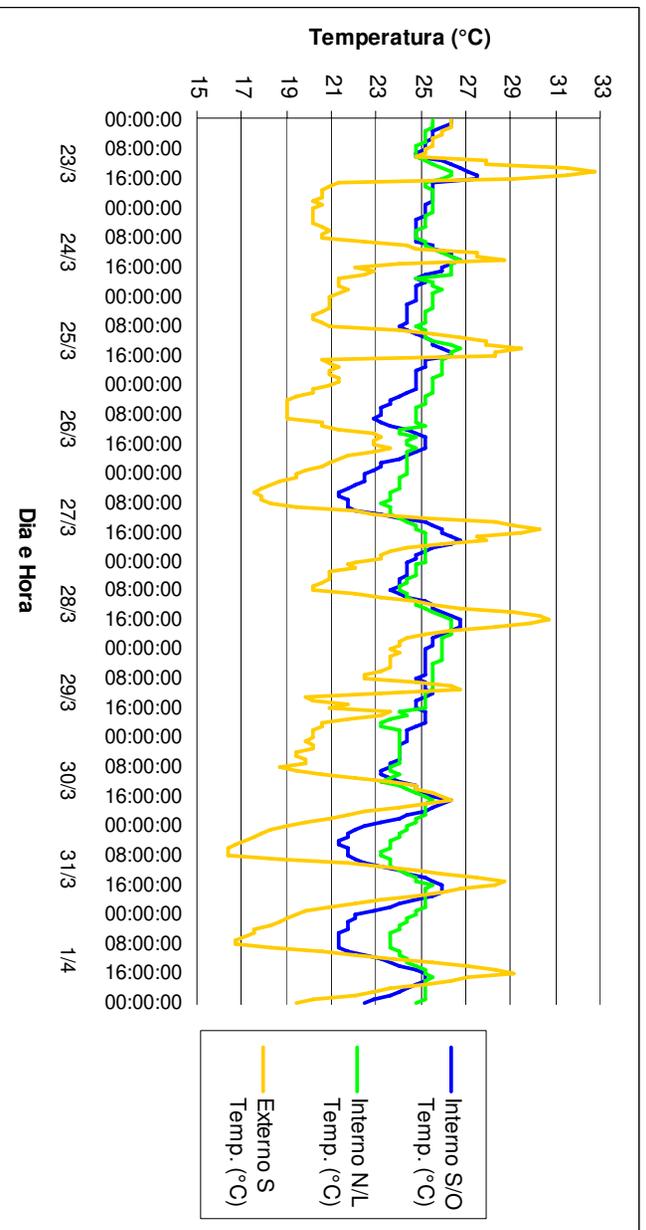


Figura 7.47 - Temperatura do Ar no Edifício Conde do Pinhal (verão)

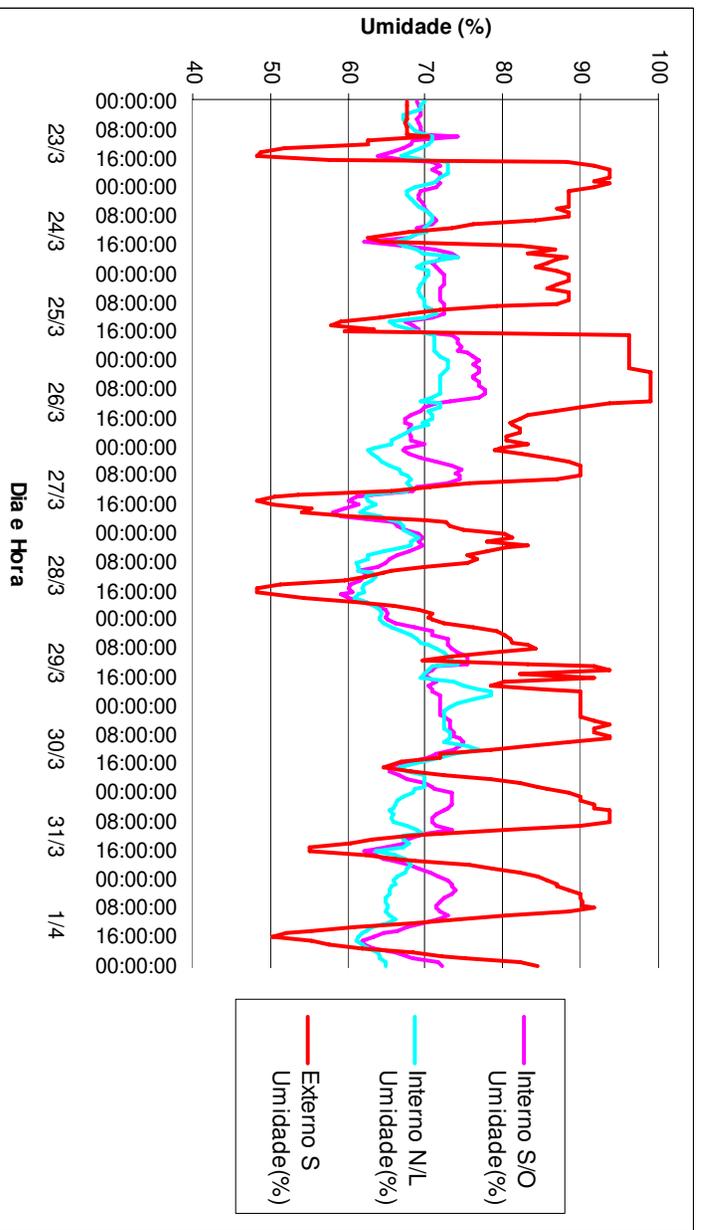


Figura 7.48 - Umidade Relativa no Edifício Conde do Pinhal (verão)

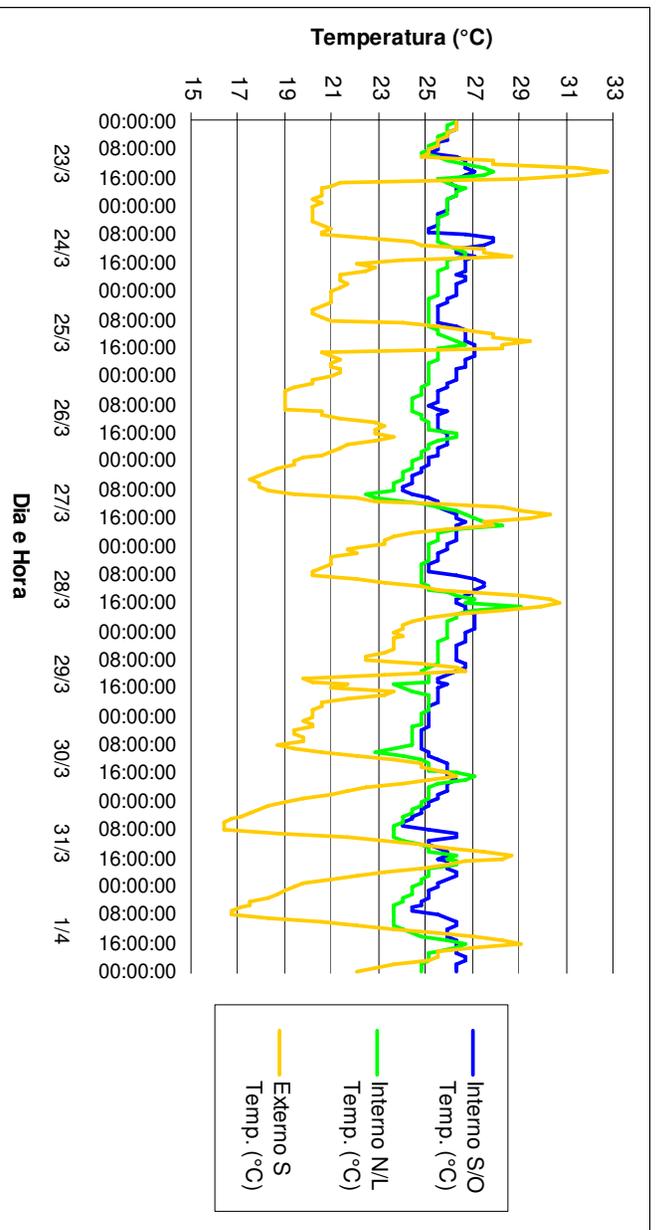


Figura 7.51 - Temperatura do Ar no Edifício Luciano Zanollo (verão)

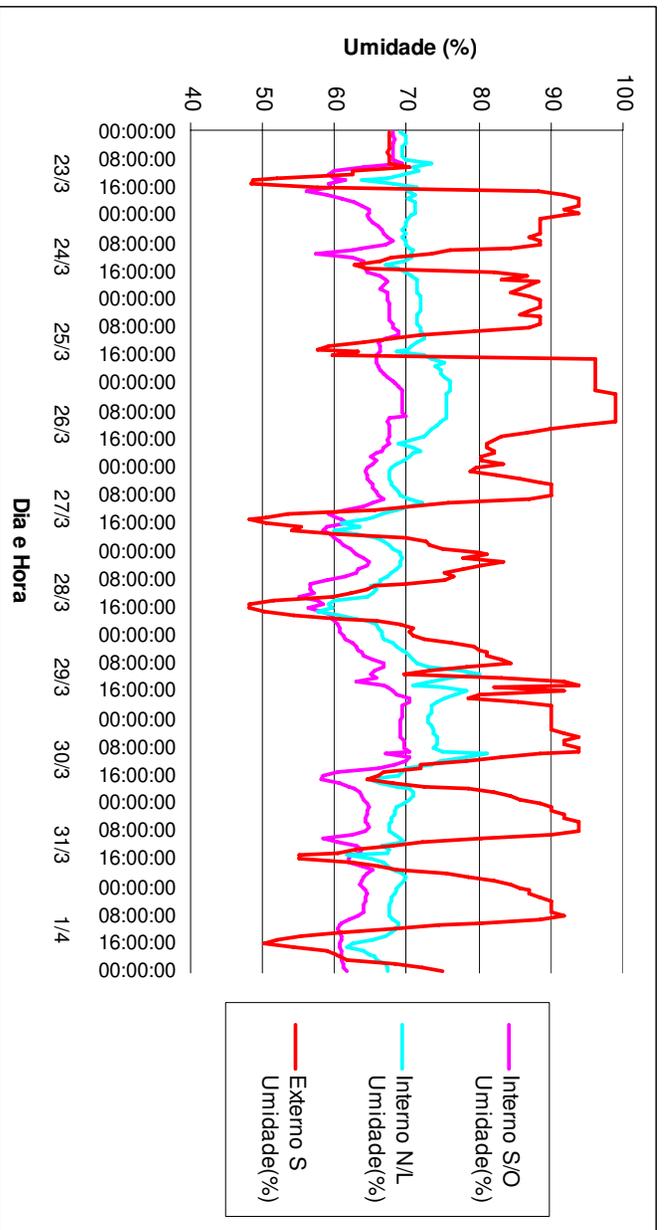


Figura 7.52 - Umidade Relativa no Edifício Luciano Zanollo (verão)

7.5 Análise Climática Segundo a Norma Ashrae 55-2004

A análise climática dos dados de temperatura obtidos através das medições nas três salas selecionadas foi feita a partir do cálculo de graus-hora de frio e de calor segundo a Norma Ashrae 55-2004. Essa Norma sugere a seguinte equação para o cálculo das temperaturas confortáveis do ar em ambientes ventilados naturalmente:

$$T_c = 17.9 + 0.31 T_{med} \quad [\text{Eq. 7.1}]$$

Sendo:

T_c = Temperatura confortável do ar interior (°C)

T_{med} = Média mensal da temperatura do ar exterior (°C)

Essa equação é recomendada para T_{med} entre 10.0 e 33.5 °C. Em torno da temperatura confortável, a norma estabelece dois níveis de tolerância:

Tolerância para aceitabilidade de 90% = 2.4°C

Tolerância para aceitabilidade de 80% = 3.4°C

No caso desse trabalho foi considerada tolerância para aceitabilidade de 90%. A figura 7.57 ilustra as temperaturas internas confortáveis em função das médias mensais das temperaturas externas.

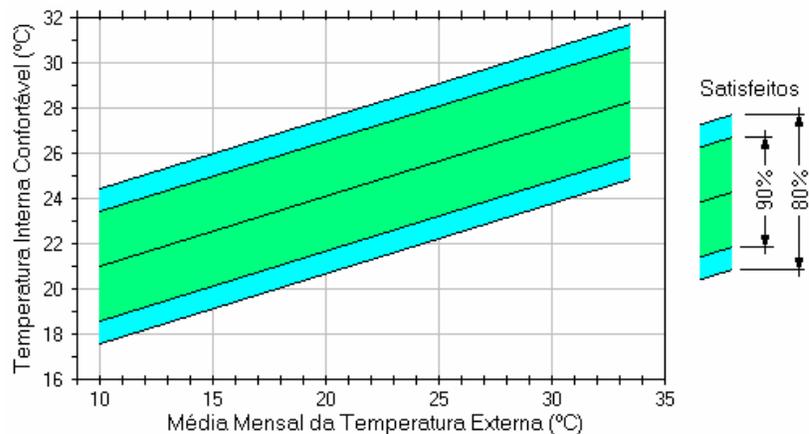


Figura 7.57 - Temperaturas Internas Confortáveis em Função das Médias Mensais das Temperaturas Externas
Fonte: ASHRAE, 2004

A tabela 7.30 mostra a aplicação do modelo para a cidade de São Carlos.

Tabela 7.30 - Aplicação do Modelo para a Cidade de São Carlos

	Tmed (°C)	Tc (°C)	TcMin90 (°C)	TcMax90 (°C)
Jan	21.6	24.60	22.20	27.00
Fev	21.9	24.69	22.29	27.09
Mar	21.7	24.63	22.23	27.03
Abr	20.2	24.16	21.76	26.56
Mai	18.1	23.51	21.11	25.91
Jun	16.7	23.08	20.68	25.48
Jul	16	22.86	20.46	25.26
Ago	17.8	23.42	21.02	25.82
Set	19.6	23.98	21.58	26.38
Out	19.7	24.01	21.61	26.41
Nov	21.1	24.44	22.04	26.84
Dez	21.4	24.53	22.13	26.93

Onde:

Tmed = Temperaturas Médias Mensais (Normais 1961-1990)

Tc = Temperatura interna confortável

TcMin90 = Temperatura mínima de conforto para 90% de satisfeitos ($Tc - 2.4$)

TcMax90 = Temperatura máxima de conforto para 90% de satisfeitos ($Tc + 2.4$)

Pelo fato das medições terem acontecido no mês de março, período de verão, e no mês de julho, período de inverno, a temperatura confortável (Tc) para frio foi de 22.86 °C e para calor de 24.63 °C. Acrescentando 2.4 °C de tolerância, a Tcmax de verão foi para 27.03°C e a Tcmin de inverno para 20.46°C (tabela 7.30).

Como as medições foram realizadas 10 dias em março e 10 dias em julho, optou-se por calcular os graus-hora de frio e de calor para um dia médio de cada mês monitorado. Para isso foram tiradas as médias horárias de cada dia (Apêndice D).

A seguir são apresentados os resultados da análise climática dos edifícios em estudo.

No período de verão, as duas salas do edifício Centro Médico apresentaram uma média de oscilação de temperatura de 3°C internamente e 9°C externamente. Quando a temperatura externa chegou a 29,5°C, internamente na sala 1 (L/SE/S/O) chegou a 24°C e na sala 2 (O/NO/N/L/SE) a 29,1°C (28/03). Sendo que essa última foi a única de todos os edifícios analisados que apresentou desconforto por calor, chegando a 18 graus-hora de desconforto por mês (figura 7.58). Isso deve ter ocorrido pelo fato desse prédio possuir formato hexagonal com 20 fachadas externas, sendo 18 envidraçadas sem proteção solar e por possuir a maior absorvância das paredes externas (0,60), o que acarreta em ganhos extras de calor, gerando desconforto térmico aos ocupantes. No caso específico dessa sala, ela possui cinco fachadas, sendo quatro envidraçadas.

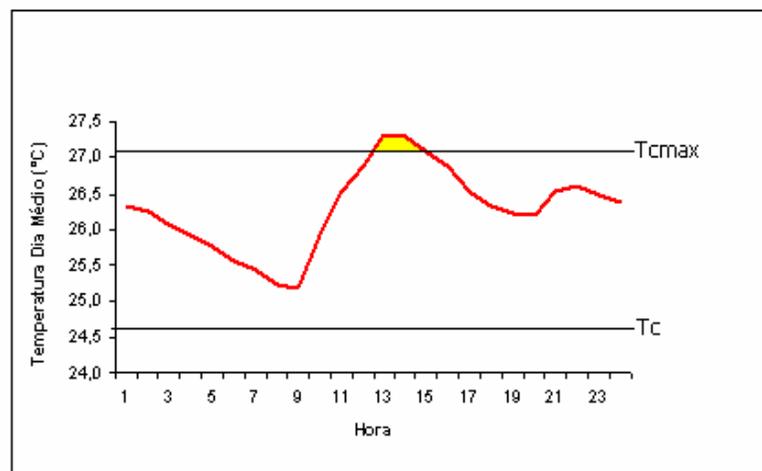


Figura 7.58 - Graus-Hora de Desconforto por Calor no Edifício Centro Médico

Já no período de inverno as temperaturas internas na sala 1 chegaram a ter oscilações de 2°C e na sala 2 de 5°C. Em um dia em que a temperatura externa mínima chegou a 12,16°C, a interna na sala 1 chegou a 19°C e na sala 2 a 20°C (26/07). Nesse caso a sala 1 apresentou desconforto por frio no período de inverno, chegando 58,8 graus-hora de desconforto por mês (figura 7.59). O que provavelmente provocou esse desconforto por frio foi a perda de calor através dos vidros.

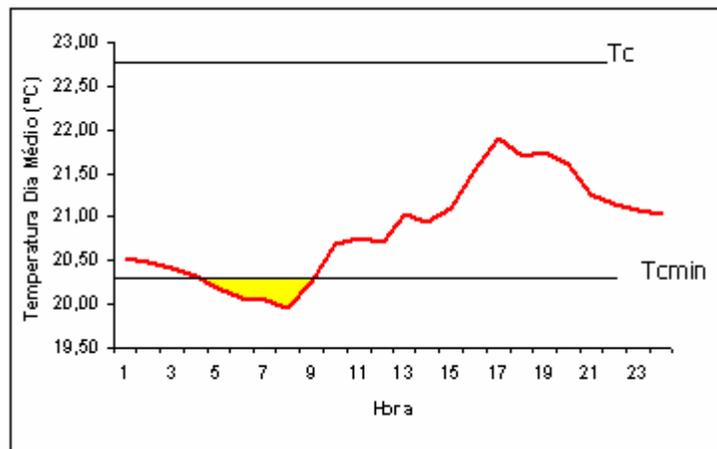


Figura 7.59 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Centro Médico (L/SE/S/O)

Para o período de verão no edifício Conde do Pinhal, as temperaturas internas nas salas N/L e S/O apresentaram uma variação média de 3°C, enquanto as temperaturas externas chegaram a ter oscilações de 10°C. Nesse período quando a temperatura externa chegou a 32°C, internamente chegou a 27°C nas duas salas (23/03). Apesar de nenhuma dessas salas apresentarem desconforto por calor, esse amortecimento poderia ser ainda mais significativo se o sistema construtivo apresentasse maior inércia térmica. No período de inverno as oscilações de temperatura foram as mesmas do período de verão. Num dia em que a temperatura mínima externa chegou a 9,82°C, internamente ela não ultrapassou os 19,4°C na sala S/O e os 17,14°C na N/L (dia 26/07). O fato da sala de orientação S/O apresentar maiores temperaturas em relação a sala de orientação N/L no período de inverno, se dá pela presença de protetores solares verticais e horizontais na fachada norte da sala em estudo. A sala N/L foi a única sala do edifício Conde do Pinhal que apresentou desconforto por frio, chegando a 77,70 de desconforto por mês (figura 7.60). Isso pode ter ocorrido pelo mau dimensionamento dos protetores solares.

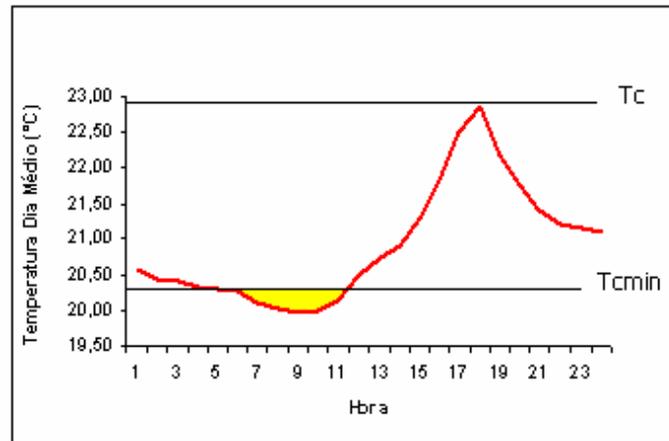


Figura 7.60 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Conde do Pinhal (N/L)

No período de verão no edifício Luciano Zanollo, as temperaturas internas nas salas S/O e N/L apresentaram uma variação média de 3°C, enquanto as temperaturas externas chegaram a ter oscilações de 9°C. Quando a temperatura externa máxima chegou a 32°C, internamente não ultrapassou os 27°C nas salas S/O e N/L (23/03). Pelo fato do sistema construtivo desse prédio ser composto por tijolo baiano de 22 cm, seu comportamento é bem semelhante ao do edifício Conde do Pinhal, obtendo também um bom amortecimento interno, mas com temperaturas internas mais elevadas. Nesse período nenhuma das duas salas apresentou desconforto por calor. Já no período de inverno a temperatura também não sofreu grandes oscilações, obtendo uma média de 3°C nas duas salas e 10°C na temperatura externa. No dia em que a temperatura mínima externa chegou a 9,82°C, a interna nas salas S/O e N/L não ultrapassou os 19°C (dia 26/07). As duas salas do edifício Luciano Zanollo apresentaram o pior desempenho térmico no período de inverno, com 28,02 graus-hora de desconforto por dia na sala de orientação S/O (fig. 7.60) e 0,79 graus-hora de desconforto por dia na sala de orientação N/L (fig. 7.61). Isso pode ter ocorrido pelo fato desse prédio possuir as áreas envidraçadas voltadas para as menores fachadas (L e O) com proteção solar, enquanto que as maiores fachadas estão voltadas para norte e sul, sendo que a orientação sul não recebe radiação solar direta nessa época do ano. Além disso, possui a menor porcentagem de área de vidro (23%), enquanto que Mahoney recomenda um limite de 25% a 40% para a cidade de São Carlos.

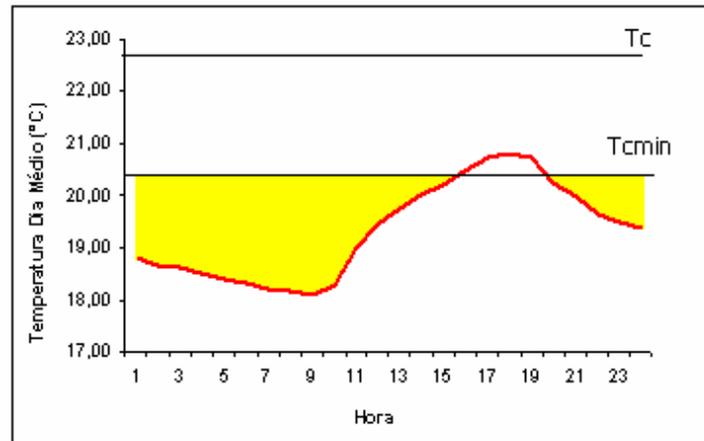


Figura 7.61 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Luciano Zanollo (S/O)

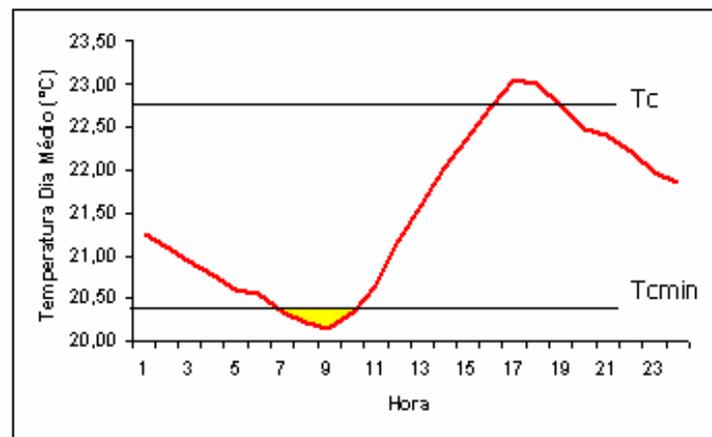


Figura 7.62 - Graus-Hora de Desconforto por Frio no Edifício Luciano Zanollo (N/L)

Com a análise realizada acima pode-se concluir que as decisões arquitetônicas interferem significativamente nas variações de temperatura no interior dos ambientes. Nessa análise, deve-se levar em conta que cada parâmetro pode interferir nos outros. Em muitos casos, uma somatória de fatores é necessária para indicar as tendências de variações de temperatura. Alguns fatores são mais facilmente identificados, outros dependem de mais estudo para serem diagnosticados.

8. SIMULAÇÕES TERMO-ENERGÉTICAS

8.1 TRY de São Carlos

O método utilizado para selecionar o ano climático típico da cidade de São Carlos para inserção no programa Energy Plus, foi o TRY (Test Reference Year). O procedimento consiste em eliminar-se da base de dados os anos que apresentem valores extremos em suas médias mensais de temperatura.

A base de dados utilizada corresponde ao período entre 1999 e 2004, contendo valores horários registrados na estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, conforme a tabela 8.31.

Tabela 8.31 - Médias Mensais de Temperatura em São Carlos (1999 a 2004)

Fonte: RORIZ, 2006

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1999	23.6	21.8	21.4	19.3	16.3	15.5	17.2	17.3	19.7	20.9	21.0	21.0
2000	22.8	21.7	21.5	22.2	19.4	19.3	17.1	19.3	21.5	25.2	23.1	24.1
2004	23.8	22.7	22.6	21.9	17.9	16.6	17.2	19.1	20.7	20.3	22.0	22.2
2003	25.6	24.6	23.8	23.4	18.1	18.6	18.1	18.3	21.4	23.0	22.4	23.8
2001	25.0	24.2	24.7	23.1	18.9	17.3	17.4	19.0	21.9	21.7	23.4	22.7
2002	23.5	23.6	25.2	23.8	20.4	19.9	17.7	21.6	20.5	25.8	25.6	25.2
Média	24.1	23.1	23.2	22.3	18.5	17.9	17.5	19.1	21.0	22.8	22.9	23.2
Ordem	1	7	5	12	6	4	2	8	10	11	9	3
Ano	2003	2003	2002	1999	1999	1999	2000	1999	1999	2002	2002	2002

A tabela 8.32 apresenta a seqüência de eliminação dos anos e a tabela 8.33 a eliminação e o ano correspondente ao TRY.

Tabela 8.32 - Seqüência de Eliminação dos Anos
Fonte: RORIZ, 2006

Ordem	Mês	Ano	Ordem	Mês	Ano
1º mês mais quente	JAN	2003	4º mês mais quente	FEV	2003
1º mês mais frio	JUL	2000	4º mês mais frio	AGO	1999
2º mês mais quente	DEZ	2002	5º mês mais quente	NOV	2002
2º mês mais frio	JUN	1999	5º mês mais frio	SET	1999
3º mês mais quente	MAR	2002	6º mês mais quente	OUT	2002
3º mês mais frio	MAI	1999	6º mês mais frio	ABR	1999

Tabela 8.33 - Eliminação dos Anos
Fonte: RORIZ, 2006

Ordem de Eliminação dos Anos	Mês	Ano
1	JAN	2003
2	JUL	2000
3	DEZ	2002
4	JUN	1999
5	MAR	2001
TRY		2004

O quinto ano da seqüência seria 2002. Como este já fora descartado, procurou-se entre os anos ainda não eliminados, qual apresentava o mês de março mais quente, sendo identificado o ano de 2001. Sobrou, então, o ano de 2004, adotado como TRY da cidade (RORIZ, 2006).

Embora um período de apenas 6 anos seja relativamente curto para a identificação de um ano típico, o mesmo ano de 2004 foi obtido considerando-se as médias mensais registradas ao longo de 13 anos, entre 1992 e 2004, pela Estação Climatológica da Embrapa de São Carlos.

A seguir, a figura 8.63 mostra dados de temperatura e umidade relativa do ar ao longo do ano de 2004.

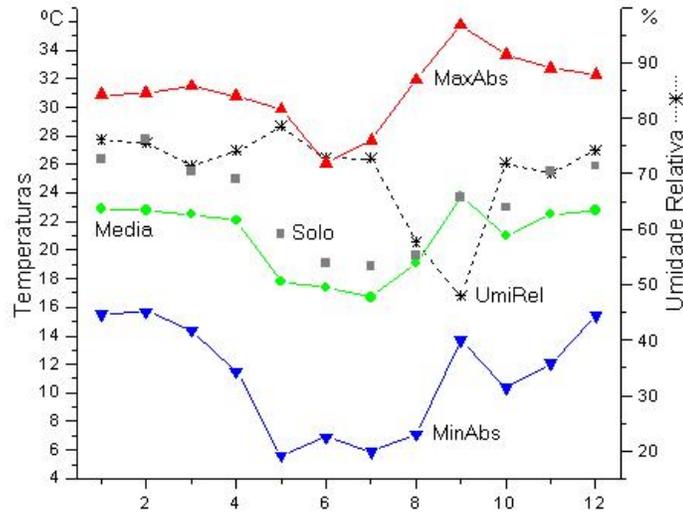


Figura 8.63 - Temperaturas e Umidade Relativa ao Longo do Ano
Fonte: RORIZ, 2006

A figura 8.64 mostra a classificação bioclimática do ano típico (2004) de São Carlos conforme o modelo de Givoni e apresenta algumas estratégias.

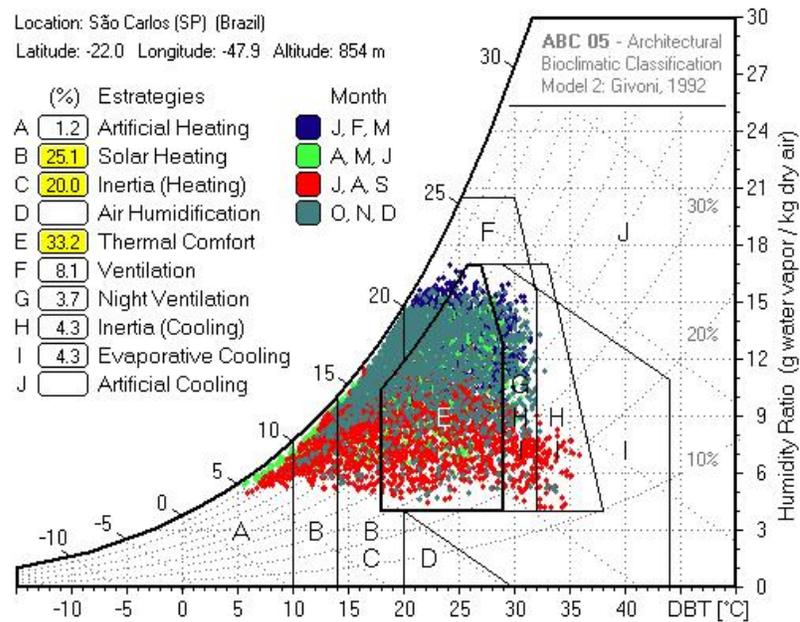


Figura 8.64 - Classificação Bioclimática do Ano Típico, Conforme Modelo de Givoni
Fonte: RORIZ, 2006

As figuras 8.65, 8.66, 8.67 e 8.68 mostram os períodos característicos do ano de 2004.

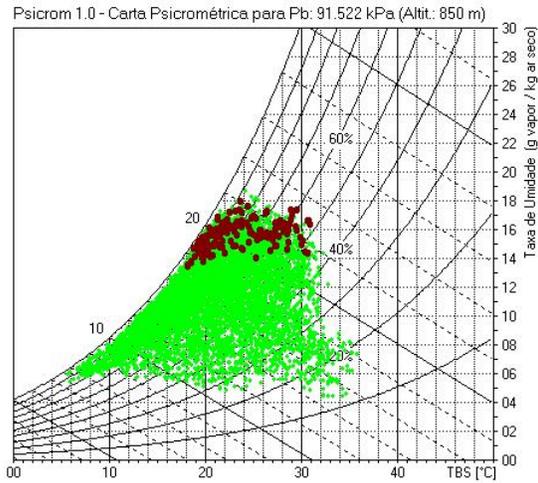


Figura 8.65 - Clima úmido: 8 a 14 janeiro

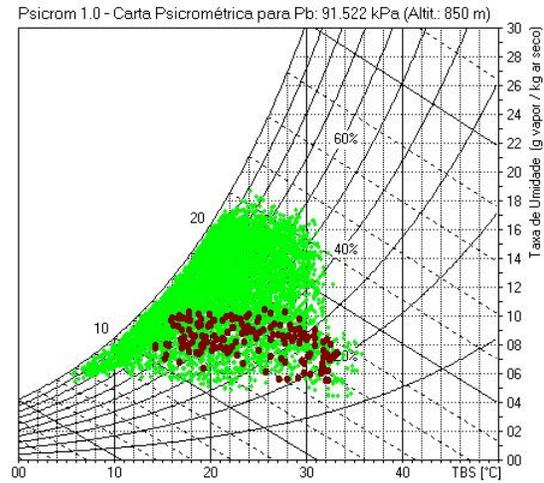


Figura 8.66 - Clima seco: 1 a 7 setembro

Fonte: RORIZ, 2006

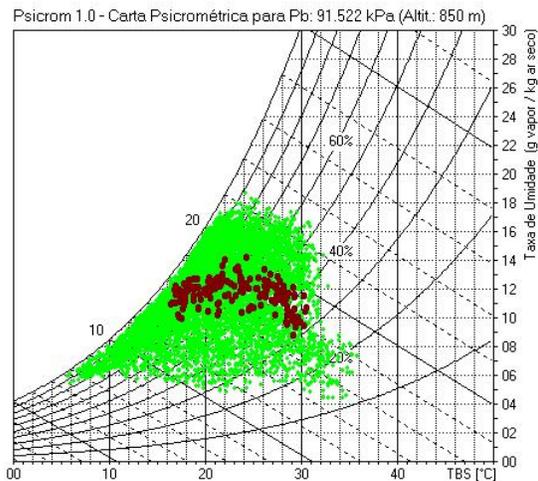


Figura 8.67 - Clima ameno: 28 março a 3 abril

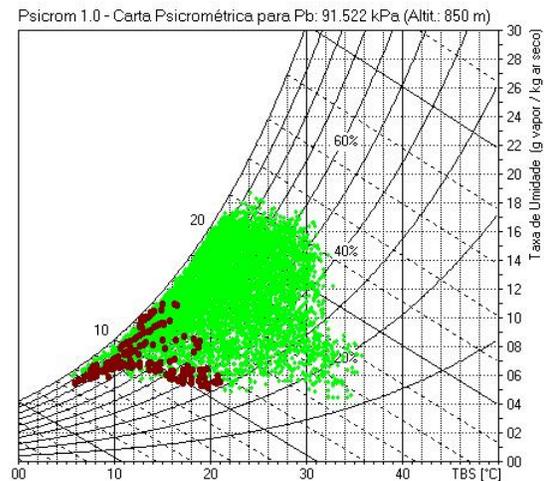


Figura 8.68 - Clima frio: 19 a 25 julho

Fonte: RORIZ, 2006

A tabela 8.34 apresenta dados de T_{bs} mínima, máxima e média, umidade relativa média e temperatura do solo. Já a tabela 8.35 mostra os dados climáticos de 2004, nos períodos de verão e inverno. Essas duas tabelas foram utilizadas para a inserção do ano climático típico no programa Energy Plus.

Tabela 8.34 - Dados de Temperatura e Umidade do Ano de 2004
Fonte: RORIZ, 2006

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TbsMinAbs	15.5	15.7	14.4	11.5	5.6	6.9	5.9	7.1	13.7	10.4	12.1	15.4
TbsMed	22.9	22.8	22.5	22.1	17.8	17.4	16.7	19.1	23.8	21.0	22.5	22.8
TbsMaxAbs	30.9	31.0	31.5	30.8	29.9	26.1	27.7	31.9	35.8	33.7	32.7	32.3
URmed (%)	76.1	75.5	71.4	74.0	78.5	72.8	72.7	57.6	48.0	71.9	70.0	74.2
Temp. Solo	26.4	27.8	25.5	25.0	21.1	19.1	18.9	19.6	23.7	23.0	25.5	25.9

Tabela 8.35 - Dados de Temperatura e Umidade dos Períodos de Verão e Inverno de 2004
Fonte: RORIZ, 2006

	Verão	Inverno
TBS Max (°C)	28.2	23.3
TBU Coincidente (°C)	24.4	19.8
Amplitude	9.9	11.0
Pressão	93.078.8	93.777.2
Velocidade do Vento	0.84	0.30
Direção do Vento	145	142

8.2 Caracterização do Edifício de Referência

Para as simulações realizadas, foi estipulado um edifício de referência, que foi simulado com o clima da cidade de São Carlos. Esse edifício possui alguns parâmetros variáveis e outros fixos que foram adotados através dos sistemas construtivos mais utilizados no Brasil. A seguir são apresentados estes parâmetros:

- Planta do edifício de referência:

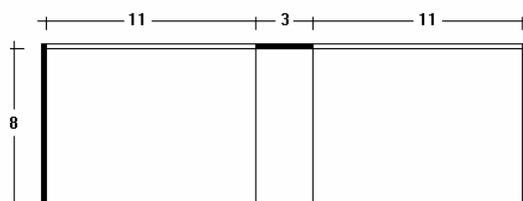


Figura 8.69 - Planta do Edifício de Referência

Esse pavimento tipo possui quatro escritórios, sendo dois de cada lado do hall central e as aberturas estão posicionadas em lados opostos, nas duas maiores fachadas. Vale ressaltar que não foram consideradas as divisórias internas nas simulações (fig. 8.69), obtendo assim o consumo energético total do pavimento, já que a interface E2-AC simula apenas uma zona térmica. Além disso, foi simulado o pavimento tipo e o pavimento cobertura, obtendo dados para analisar o edifício inteiro.

- Número de Pavimentos: 10
- Pé Direito: 3 m
- Tipo de Cobertura: Telha fibra + Laje mista
- Laje de Piso: Laje mista + Piso cerâmico
- Ocupação média (m^2 /pessoa): 15
- Carga Iluminação (W/m^2): 6.4
- Carga Equipamentos (W/m^2): 9.7
- Equipamento Condicionador de Ar: Tipo aparelho de janela (na interface E2-AC foi optado pelo autodimensionamento da capacidade de refrigeração e como Set-Point foi adotado $18^\circ C$ para aquecimento e $24^\circ C$ para resfriamento)
- Padrão de Uso (horas) - 8 horas (a interface considera: 8 às 12 e 14 às 18)
- Tipo de vidro (janela) - Simples de 6 mm

Vale ressaltar que todas as simulações foram realizadas considerando apenas os espaços condicionados, já que a prioridade deste trabalho é analisar a arquitetura x consumo energético.

Além desses parâmetros fixos, foram considerados outros parâmetros com algumas variações, como mostra a tabela 8.36.

Tabela 8.36 - Parâmetros Variáveis nas Simulações

	Parâmetros Variáveis nas Simulações				Quant.	
1	Orientação Fachada Maior	N	NE	E	SE	4
2	Tipo de Parede (Fachadas)	Tij. 6 Fur. Qdr. 14	Tij. Maciço 15	Tij. Maciço 27		3
3	Porcentagem de Vidro na Fachada	20	80			2
4	Absortância Cobertura (%)	20	80			2
5	Absortância Fachada (%)	20	80			2
6	Pavimento considerado	Intermediário	Cobertura			2
7	Renovações de Ar (trocas/h)	1	5			2

Cabe salientar que a interface E2-AC considera as duas fachadas opostas, ou seja, ao simular o prédio com orientação norte, ela considera norte e sul. O mesmo acontece com todas as outras orientações.

Ao todo foram 288 simulações, pois cada variável foi simulada alterando todas as outras, podendo assim analisar individualmente a influência de cada uma no conforto térmico e no consumo de energia desta edificação, e assim, estipular as mais adequadas para o clima da cidade de São Carlos.

9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

9.1 Tratamento dos Dados

Os dados obtidos com as simulações no programa Energy Plus, foram analisados estatisticamente através da regressão linear múltipla no software Origin 6.0.

Pelo fato desse software aceitar apenas parâmetros numéricos, foi considerada para as orientações a soma das irradiâncias médias da fachada considerada mais sua oposta, para o dia 15 de junho (inverno) e 15 de dezembro (verão). Essa estimativa foi obtida através do software Luz do Sol, que calcula a irradiância em função da latitude, data e azimute das fachadas envidraçadas (tabela 9.37).

Tabela 9.37 - Orientação Solar

Orientação	Irradiância média para 15 de junho (Wh/m ²)	Irradiância média para 15 de dezembro (Wh/m ²)
Norte/Sul	10147	4879
Nordeste/Sudeste	8233	10007
Sudeste/Nordeste	8233	10007
Leste/Oeste	7774	13220

Para a absorvância da fachada e da cobertura, porcentagem de vidro na fachada (PJF) e para o número de renovações foram considerados seus valores reais, ou seja, absorvância da fachada 20 e 80, absorvância da cobertura 20 e 80, porcentagem de vidro na fachada 20 e 80, e número de renovações 1 e 5.

Já para a Capacidade Térmica (CT) e Transmitância dos Materiais (U), os valores foram obtidos através da interface E2-AC. A tabela abaixo mostra os resultados.

Tabela 9.38 - Capacidade Térmica e Transmitância dos Materiais

Sistema Construtivo	Capacidade Térmica (J/m².K)	Transmitância Térmica (W/m².K)
Tijolo 6 fur. quadr. de 14 cm	159	2,47
Tijolo maciço de 15 cm	256	3,12
Tijolo maciço de 27 cm	445	2,25

Vale ressaltar que a Capacidade Térmica e Transmitância do sistema de cobertura não foram desconsideradas na análise estatística do pavimento cobertura, pois o sistema construtivo utilizado nas simulações é único para todos os casos.

9.2 Regressão Linear Múltipla

Para a realização da análise estatística através da regressão linear múltipla os casos simulados foram separados em dois grupos: pavimento intermediário e pavimento cobertura. Além disso, esses modelos foram divididos por consumo para aquecimento e consumo para resfriamento, sendo que foram considerados para análise estatística apenas o consumo total acumulado dos meses de junho e de dezembro.

Foram realizadas duas análises de regressão para cada modelo estudado. Uma com os valores reais utilizados nas simulações, ou seja, em escalas diferentes e outra com os valores na mesma escala, permitindo comparação entre si. Para isso foi adotado o maior valor de cada parâmetro como sendo o máximo teórico, estabelecendo assim uma escala percentual para cada variável, tornando a irradiância, a renovação de ar e a Capacidade Térmica em irradiância relativa (Irrad*), renovação relativa (Renov*) e Capacidade Térmica relativa (CT*). A PjF e a absorvância da fachada e cobertura foram mantidas em suas escalas percentuais.

As tabelas 9.39 e 9.40 mostram os parâmetros utilizados na análise de regressão, a primeira com os valores em escalas diferentes e a segunda com os valores em escala percentual.

Tabela 9.39 - Valores em Escalas Diferentes

Parâmetros	Número de Variáveis	Valores – Junho	Valores - Dezembro
Irradiância	3	10147 / 8233 / 7774	13220 / 10007 / 4879
PJF	2	20 / 80	20 / 80
AbsFach	2	20 / 80	20 / 80
AbsCob	2	20 / 80	20 / 80
Renov	2	1 / 5	1 / 5
CT	3	159 / 256 / 445	159 / 256 / 445

Tabela 9.40 - Valores em Escalas Uniformizadas

Parâmetros	Número de Variáveis	Valores - Junho	Valores - Dezembro
Irrad*	3	100% / 81% / 77%	100% / 76% / 37%
PJF	2	20% / 80%	20% / 80%
AbsFach	2	20% / 80%	20% / 80%
AbsCob	2	20% / 80%	20% / 80%
Renov*	2	20% / 100%	20% / 100%
CT*	3	36% / 57% / 100%	36% / 57% / 100%

Apesar de o parâmetro orientação apresentar quatro variáveis (norte, nordeste, sudeste e leste) a análise estatística está considerando apenas três, isso porque as orientações nordeste e sudeste possuem a mesma irradiância média. Além disso, a transmitância da parede (U) também não será considerada nessa análise, porque seu comportamento é igual ao da capacidade térmica, ou seja, elas influenciam da mesma maneira no consumo de energia.

9.2.1 Pavimento Intermediário - Mês de Junho

9.2.1.1 Consumo para Resfriamento

A tabela 9.41 mostra os resultados da regressão para os parâmetros de escalas diferentes. Pelo fato dos resultados da $\text{Prob}>|t|$ serem muito menores que 0,05, que é o valor crítico, pode-se aceitar esse modelo com mais de 99% de confiança. Além disso, a figura 9.70 mostra a relação entre o consumo estimado pela regressão e o consumo simulado. Como pode-se verificar o consumo estimado aumenta junto com o simulado, obtendo um coeficiente de correlação de 0.93 e um desvio padrão de 7.8. O coeficiente de correlação é uma medida de correlação entre duas variáveis, se esse coeficiente estiver entre -1 e 1 significa que uma variável pode explicar a outra. No caso dessa regressão com coeficiente de correlação de 0.93, significa que as variáveis são muito correlacionadas. Já o desvio padrão é uma medida de variabilidade. Um desvio padrão de 7.8 significa que os valores das variáveis se distanciam 7.8 unidades para mais ou para menos da média, mas especificamente na regressão o desvio padrão costuma não ter muita relevância.

Tabela 9.41 - Consumo para Resfriamento (Escalas Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-56.19395	8.99426	-6.3507	<0.0001
Irrad	0.62814	0.09839	6.38414	<0.0001
PJF	0.40656	0.02937	13.84304	<0.0001
AbFach	0.47049	0.02937	16.02009	<0.0001
Renov	0.10398	0.02203	4.72083	<0.0001
CT	-0.27704	0.03308	-8.37573	<0.0001

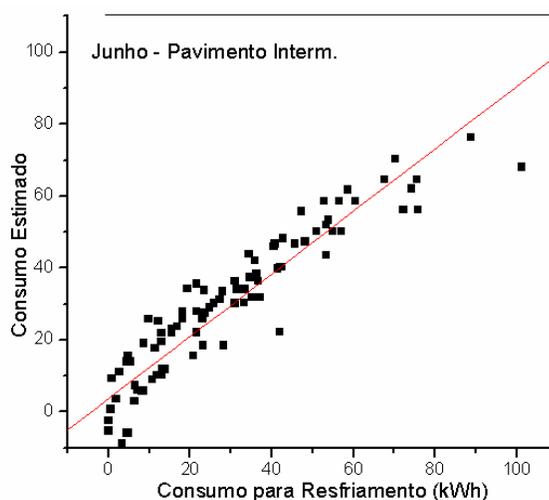


Figura 9.70 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

Para os valores serem comparados entre si, foi necessário colocá-los numa mesma escala percentual. A tabela 9.42 mostra os resultados da regressão para essa situação.

Tabela 9.42 - Consumo para Resfriamento (Escala Uniformizadas)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-57.08241	8.89474	-6.41755	<0.0001
Irrad*	0.61115	0.09771	6.25444	<0.0001
PJF	0.40656	0.02921	13.91726	<0.0001
AbFach	0.47049	0.02921	16.10598	<0.0001
Renov*	0.10724	0.02189	4.89814	<0.0001
CT*	-0.27347	0.03284	-8.32835	<0.0001

Os resultados acima mostram que os parâmetros irradiância, PJF, absorvência da fachada e renovação de ar influenciam proporcionalmente no consumo de energia para resfriamento. Sendo que a irradiância influencia 470% a mais no consumo em relação a renovação, parâmetro de menor influência, a absorvência da fachada 339% e a PJF 270%, também em relação a renovação de ar. Já com a CT (capacidade térmica do material) isso ocorre inversamente, ou seja, quanto maior for a CT menor será o consumo para resfriamento do edifício analisado.

A tabela 9.43 mostra as três situações que provocam maior consumo de resfriamento no mês de junho e as três situações com o melhor desempenho térmico no mesmo mês.

Tabela 9.43 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	CT (J/m².K)
101.16	10147	80	80	1	159
88.84	10147	80	80	5	159
75.83	8233	80	80	1	159
0	7774	20	20	1	256
0	7774	20	20	1	445
0	8233	20	20	1	445

Analisando as três situações com o pior desempenho térmico, pode-se verificar que a PJF e a absorvância da fachada tem grande influência no consumo de energia quando a irradiância na fachada também é intensa, ou seja, uma fachada com 80% de absorvância com uma irradiância de 10147 Wh/m², influência 28.47 kWh a mais no consumo, se comparada com uma irradiância de 7774 Wh/m². Isso pode ser observado nas figuras 9.71 e 9.72, que mostram o comportamento de algumas variáveis de absorvância de fachada e PJF em função da irradiância. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (10147 Wh/m²) e para a menor (7774 Wh/m²), obtendo um total de 395.88 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Em relação a CT, a tabela 9.43 comprova os resultados da regressão, ou seja, quanto maior for a Capacidade Térmica do material menor será o consumo de energia para resfriamento. Isso mostra que para uma cidade com o clima como o de São Carlos, materiais de maior inércia térmica são os mais eficientes.

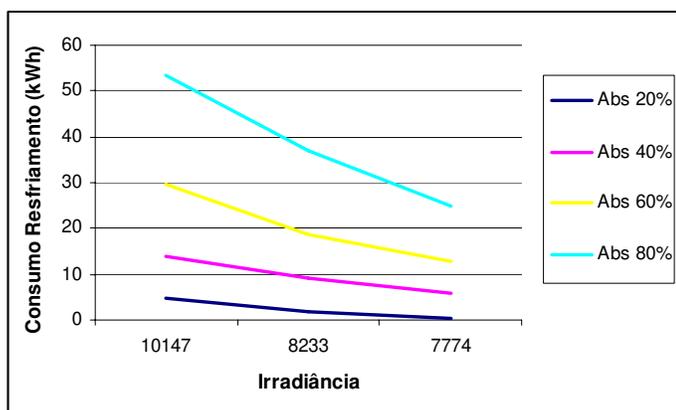


Figura 9.71 - Relação entre Absortância da Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

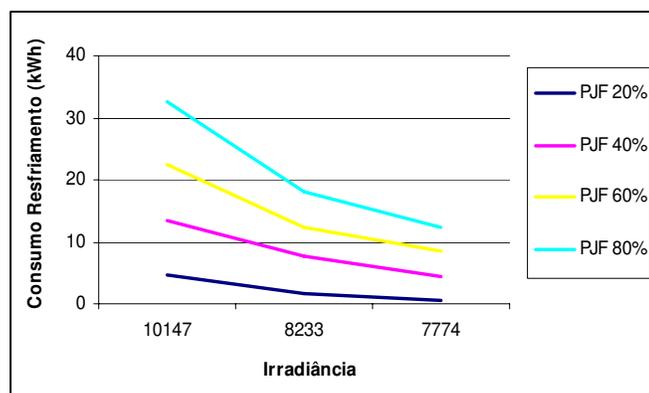


Figura 9.72 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

Vale ressaltar que para as figuras acima foram considerados alguns parâmetros fixos como PjF 20% (fig.9.71), absortância fachada 20% (fig.9.72), 1 renovação de ar e sistema construtivo constituído por tijolo de 6 furos de 14 cm com CT de $159 \text{ J/m}^2 \cdot \text{K}$.

A seguir é apresentada a diferença de consumo para os parâmetros PjF, absortância de fachada, CT e número de renovações de ar, quando somados os consumos para resfriamento de todas as combinações adotadas para as menores e maiores variáveis:

- somando o consumo de todas as combinações para PjF de 80% e 20%, chegou-se a um total de 151% a mais no consumo de resfriamento no mês de junho para as situações com maior PjF;
- para a absorvância da fachada de 80%, esse consumo total chegou a 198% a mais em relação as situações com absorvância de 20%;
- já as combinações com o sistema construtivo de CT 159 J/m².K obtiveram 96% a mais no consumo, se comparado com o consumo das situações de CT 445 J/m².K;
- o número de renovações foi o parâmetro que obteve a menor diferença entre suas variáveis, chegando a 34% a mais de consumo para a variável 5 infiltrações.

9.2.1.2 Consumo para Aquecimento

No caso da regressão para o consumo de aquecimento, os parâmetros irradiância e PjF não foram considerados, isso porque a Prob>|t| deu maior que 0,05 (valor crítico). Isso significa que não há correlação na variável dependente, que nesse caso é o consumo de energia.

A tabela 9.44 apresenta os resultados da regressão para os valores de escalas diferentes. Já a figura 9.73 mostra a relação entre o consumo simulado e o consumo estimado, onde a grande influência da renovação de ar dividiu os casos em dois grupos de consumo, um de menor consumo (1 renovação) e o outro de maior consumo (5 renovações). Além disso, esse gráfico nos dá um coeficiente de correlação de 0.99 e um desvio padrão de 2.57.

Tabela 9.44 - Consumo para Aquecimento (Escalas Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	10.32256	1.34926	7.65051	<0.0001
AbsFach	-0.04681	0.01306	-3.58318	5.45195E-4
Renov	7.23417	0.19594	36.9206	<0.0001
CT	-0.02437	0.0033	-7.38468	<0.0001

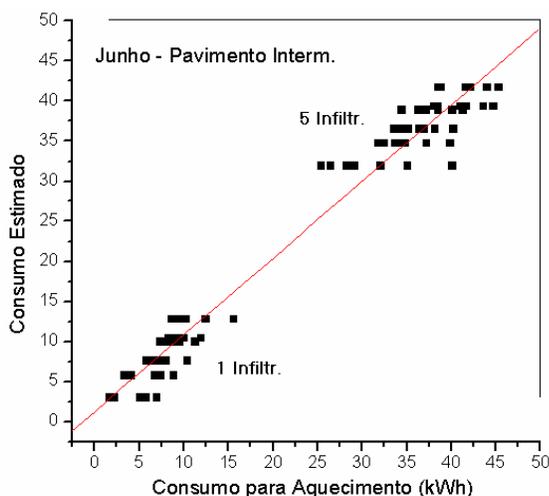


Figura 9.73 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

A tabela 9.45 apresenta os resultados da regressão para os valores de mesma escala.

Tabela 9.45 - Consumo para Aquecimento (Escala Uniformizada)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	10.33079	1.34906	7.65776	<0.0001
AbsFach	-0.04681	0.01306	-3.58461	5.42585E-4
Renov*	0.36171	0.00979	36.93532	<0.0001
CT*	-0.10871	0.01471	-7.39259	<0.0001

O único parâmetro que influenciou positivamente no consumo de energia para aquecimento no período de inverno, foi a renovação de ar, ou seja, quanto maior for o número de renovações maior será o consumo de aquecimento do prédio. Isso também pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações adotadas nesse trabalho para a variável 5 renovações e 1 renovação, chegando a um total de 1.388,96 kWh de consumo a mais para as situações de maior renovação. Deve-se ressaltar que a renovação do ar pode ajudar ou atrapalhar o desempenho energético do edifício, dependendo da temperatura interna e da temperatura externa. Já a absorvância da fachada e a CT influenciaram inversamente, quanto maiores elas forem menor será o consumo para aquecimento. Isso também pode ser observado na tabela 9.46, que

mostra as três situações com o pior e o melhor desempenho térmico para o consumo de energia de aquecimento no mês de junho.

Tabela 9.46 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho

Aquecimento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	CT (J/m ² .K)
45.42	8233	20	20	5	159
45.24	8233	80	20	5	159
44.8	8233	20	20	5	256
2.17	7774	20	80	1	445
1.9	8233	20	80	1	445
1.67	10147	20	80	1	445

9.2.2 Pavimento Intermediário - Mês de Dezembro

9.2.2.1 Consumo para Resfriamento

Para a realização da regressão linear múltipla para esse modelo foram considerados todos os parâmetros. A tabela 9.47 mostra os resultados da regressão para valores de escalas diferentes, e a figura 9.74 a relação entre o consumo simulado pelo Energy Plus e o estimado pelo Origin, com coeficiente de correlação de 0.97 e desvio padrão de 38.

Tabela 9.47 - Consumo para Resfriamento (Escalas Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	198.34138	20.69503	9.58401	<0.0001
Irrad	0.0203	0.00139	14.59724	<0.0001
PJF	2.84863	0.13851	20.5661	<0.0001
AbsFach	3.65638	0.13851	26.39777	<0.0001
Renov	45.5637	2.07766	21.93026	<0.0001
CT	-0.20784	0.03499	-5.93981	<0.0001

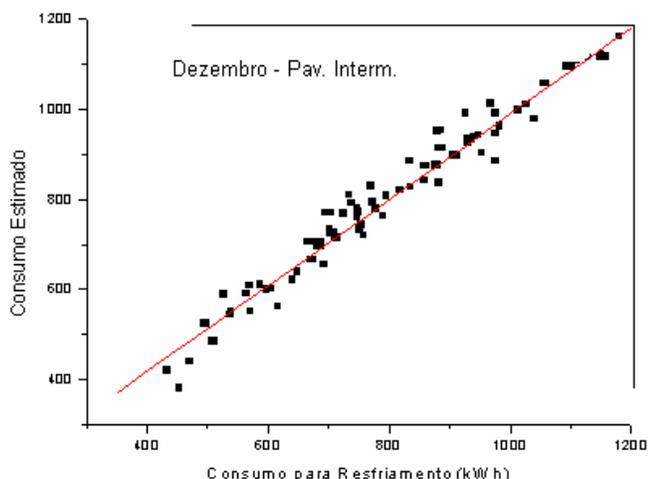


Figura 9.74 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

A tabela 9.48 apresenta os resultados da análise de regressão para os valores de mesma escala.

Tabela 9.48 - Consumo para Resfriamento (Escala Uniformizadas)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	197.43974	20.74692	9.51658	<0.0001
Irrad*	2.68629	0.18418	14.58488	<0.0001
PJF	2.84863	0.13867	20.54199	<0.0001
AbsFach	3.65638	0.13867	26.36682	<0.0001
Renov*	2.27818	0.10401	21.90455	<0.0001
CT*	-0.92197	0.15618	-5.90332	<0.0001

Os resultados acima mostram que a absorvância da fachada influencia 60% a mais no consumo de energia para resfriamento no mês de dezembro em relação a renovação de ar, parâmetro de menor influência. A PJF e a irradiância influenciam respectivamente 25% e 18% também em relação a renovação. Já a CT apresenta um comportamento semelhante ao do mesmo modelo para o período de inverno, ou seja, quanto maior ela for menor será o consumo para resfriamento.

Tabela 9.49 - Desempenho Térmico das Variáveis em Dezembro

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	CT (J/m ² .K)
1247.54	13220	80	80	5	159
1180.41	13220	80	80	5	256
1158.84	10007	80	80	5	159
470.21	4879	20	20	1	159
453.7	4879	20	20	1	445
434.01	4879	20	20	1	256

A tabela 9.49 apresenta três situações extremas de desempenho térmico para consumo de resfriamento no mês de dezembro. As três piores situações nos mostram que a influência da PJF e da absorvância da fachada é maior quando a irradiância também é maior, ou seja, se um prédio possui 80% de PJF e 80% de absorvância de fachada e a irradiância incidente for pequena, a influência desses dois parâmetros será menor. Isso também pode ser observado nas figuras 9.75 e 9.76, que mostram o comportamento de algumas variáveis de absorvância de fachada e PJF em função da irradiância.

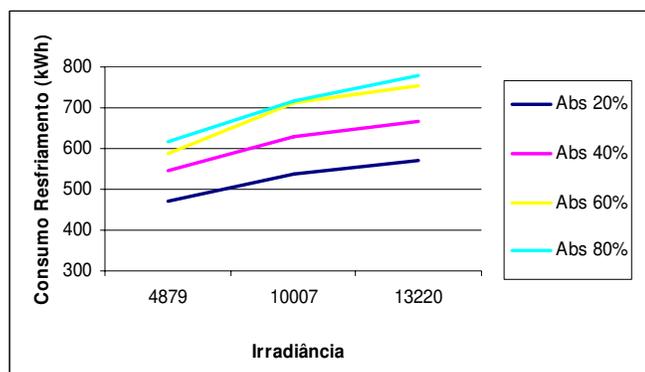


Figura 9.75 - Relação entre Absorvância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

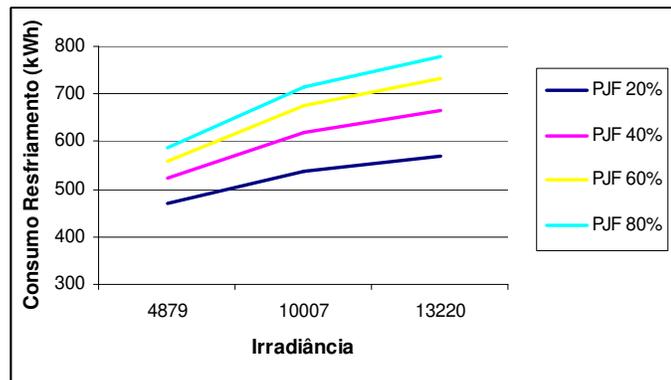


Figura 9.76 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

Com a figura acima pode-se perceber que uma fachada com 80% de PjF com uma irradiância de 13220 Wh/m², influencia no consumo de resfriamento do edifício 192 kWh a mais se comparada com a irradiância de 4879 Wh/m². Vale ressaltar que para as figuras 9.74 e 9.75 foram considerados alguns parâmetros fixos como PjF 20% (fig. 9.74), absorvância da fachada 20% (fig.9.75), 1 renovação de ar e sistema construtivo constituído por tijolo de 6 furos de 14 cm com CT 159 J/m².K. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (13220 Wh/m²) e para a menor (4879 Wh/m²), obtendo um total de 4.025,60 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Abaixo é apresentada a diferença de consumo para os parâmetros PjF, absorvância de fachada, CT e número de renovações de ar, quando somados os consumos de todas as combinações adotadas para as menores e maiores variáveis:

- somando os consumos de todas as combinações para PjF de 80% e 20%, chegou-se a um total de 24% de consumo a mais para as situações de maior PjF;
- para a absorvância da fachada de 80%, esse consumo total chegou a 32% a mais, se comparado com o consumo das mesmas situações com absorvância de 20%;

- já em relação ao sistema construtivo, as combinações com o tijolo de 6 furos de 14 cm chegaram a 8% a mais de consumo para resfriamento, comparando com as situações de tijolo maciço de 27 cm;
- a variável 5 renovações obteve um consumo total de 26% a mais, se comparada com as situações de 1 renovação de ar.

9.2.3 Pavimento Cobertura - Mês de Junho

9.2.3.1 Consumo para Resfriamento

No caso da regressão para esse modelo, o parâmetro renovação de ar foi desconsiderado, isso porque a $\text{Prob}>|t|$ deu maior que 0,05 (valor crítico). Isso significa que não há correlação desse parâmetro no consumo de energia.

A tabela 9.50 mostra os resultados da análise estatística para valores de escalas diferentes. Já a figura 9.77 mostra a relação do consumo simulado com o estimado para esse modelo de regressão, com coeficiente de correlação de 0.93 e desvio padrão de 15.

Tabela 9.50 - Consumo para Resfriamento (Escalas Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-96.82087	12.38789	-7.81577	<0.0001
Irrad	0.00738	0.00133	5.54676	<0.0001
PJF	0.79132	0.04058	19.49993	<0.0001
AbsFach	0.40163	0.04058	9.89701	<0.0001
AbsCob	1.04452	0.04058	25.7392	<0.0001
CT	-0.08096	0.01025	-7.89734	<0.0001

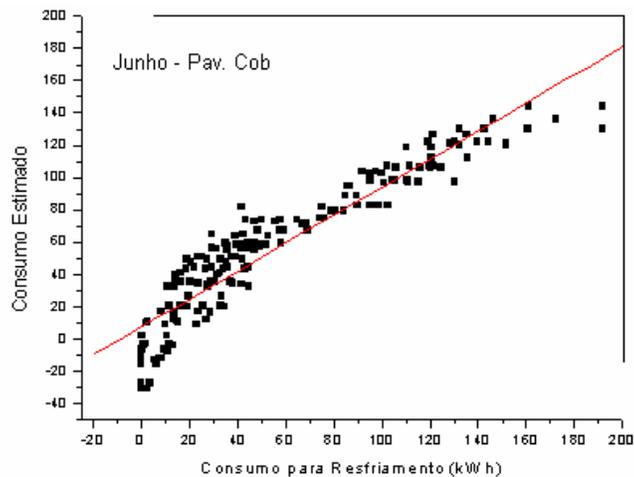


Figura 9.77 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

A tabela 9.51 apresenta os resultados da regressão para os valores de mesma escala.

Tabela 9.51 - Consumo para Resfriamento (Escala Uniformizadas)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-96.78637	12.48121	-7.75457	<0.0001
Irrad*	0.74838	0.13619	5.49506	<0.0001
PJF	0.79132	0.04065	19.46575	<0.0001
AbsFach	0.40163	0.04065	9.87966	<0.0001
AbsCob	1.04452	0.04065	25.69408	<0.0001
CT*	-0.36039	0.04578	-7.87154	<0.0001

Os resultados acima mostram que o consumo no pavimento cobertura é bem maior em relação ao consumo de resfriamento no pavimento intermediário. Onde a absorvância da cobertura influencia 160% a mais no consumo de energia em relação a absorvância da fachada, parâmetro de menor influência, a PJF 97% e a irradiância 86%, também em relação a absorvância da fachada. Enquanto que a CT influenciou inversamente no consumo de energia.

A tabela 9.52 apresenta as três piores situações de desempenho térmico e as três melhores. Da mesma forma que ocorreram nos outros modelos de resfriamento, a PJF e absorvância da fachada apresentam maior influência quando a irradiância é mais intensa, nesse caso isso ocorreu também com a absorvância da cobertura, onde um

edifício com 80% de absorvância de cobertura e irradiância incidente de 10147 Wh/m², influencia no consumo de resfriamento 11.58 kWh a mais se comparada com uma irradiância de 7774 Wh/m². Isso também pode ser observado nas figuras 9.78, 9.79 e 9.80 que mostram o comportamento de algumas variáveis de absorvância de fachada, cobertura e PJF. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (10147 Wh/m²) e para a menor (7774 Wh/m²), obtendo um total de 4.025,60 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Tabela 9.52 - Desempenho Térmico das Variáveis em Junho

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	Ab. Cob.(%)	CT (J/m ² .K)
191.88	10147	80	80	1	80	159
191.88	8233	80	80	1	80	159
172.43	10147	80	80	1	80	256
0	7774	20	20	1	20	445
0	8233	20	20	1	20	256
0	8233	20	20	1	20	445

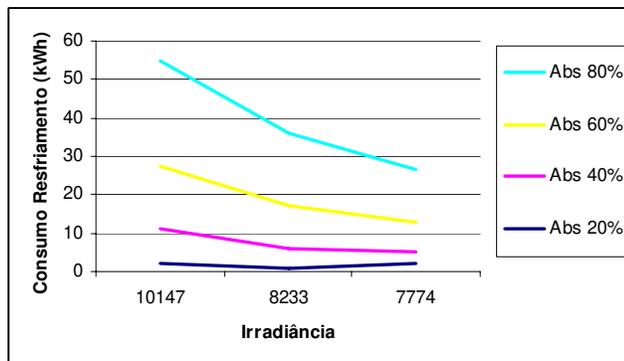


Figura 9.78 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

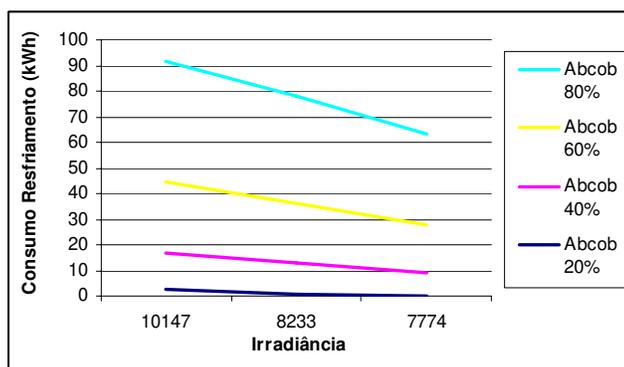


Figura 9.79 – Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

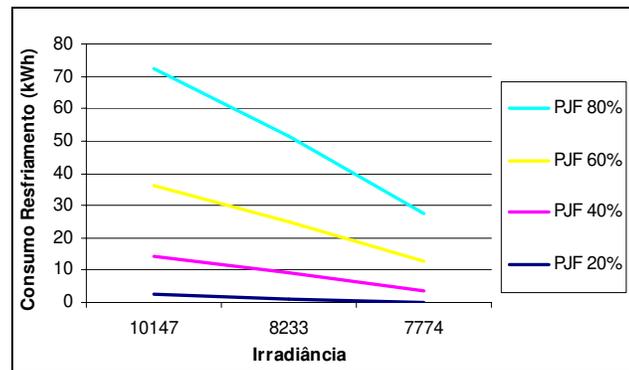


Figura 9.80 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

Vale ressaltar que para as figuras 9.78, 9.79 e 9.80 foram considerados alguns parâmetros fixos como PjF de 20%, absorvância de fachada e cobertura de 20%, 1 renovação de ar e sistema construtivo constituído por tijolo de 6 furos de 14 cm.

Abaixo é apresentada a diferença de consumo para os parâmetros PjF, absorvância de fachada e cobertura, CT e número de renovações de ar, quando somados os consumos de resfriamento para o mês de junho de todas as combinações adotadas para as menores e maiores variáveis:

- somando o consumo de todas as combinações adotadas nesse trabalho para PjF de 80% e 20%, chegou-se num total de 150% a mais de consumo para as situações de maior PjF;
- o consumo total das combinações com absorvância de fachada 80%, chegou a 56% a mais de consumo em relação as combinações com absorvância de 20%;
- já as situações com absorvância da cobertura de 80%, obtiveram 261% a mais de consumo, se comparado com as combinações de absorvância 20%;
- em relação ao sistema construtivo, o consumo total das combinações com CT 159 J/m².K chegou a 55% a mais, em relação as combinações com CT 445 J/m².K;
- quanto ao número de renovações, as combinações com a variável 5 renovações chegaram a 7% a mais de consumo para resfriamento, comparando com as

combinações de variável 1 renovação de ar. Esse parâmetro foi o que apresentou a menor diferença de consumo entre as duas variáveis.

9.2.3.2 Consumo para Aquecimento

Para a realização da regressão linear múltipla para esse modelo o parâmetro irradiância foi desconsiderado, isso porque a $\text{Prob}>|t|$ deu maior que 0,05 (valor crítico). Isso significa que não há correlação na variável dependente, que neste caso é o consumo de energia.

A tabela 9.53 mostra os resultados da regressão para valores de escalas diferentes e a figura 9.81 a relação entre o consumo estimado e o simulado, com coeficiente de correlação de 0,96 e desvio padrão de 4.7.

Tabela 9.53 - Consumo para Aquecimento (Escalas Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	47.31243	1.4959	31.62817	<0.0001
PJF	-0.09488	0.01195	-7.93976	<0.0001
AbsFach	-0.06879	0.01195	-5.75622	<0.0001
Renov	8.03839	0.17925	44.8437	<0.0001
AbsCob	-0.13197	0.01195	-11.0432	<0.0001
CT	-0.041	0.00302	-13.58274	<0.0001

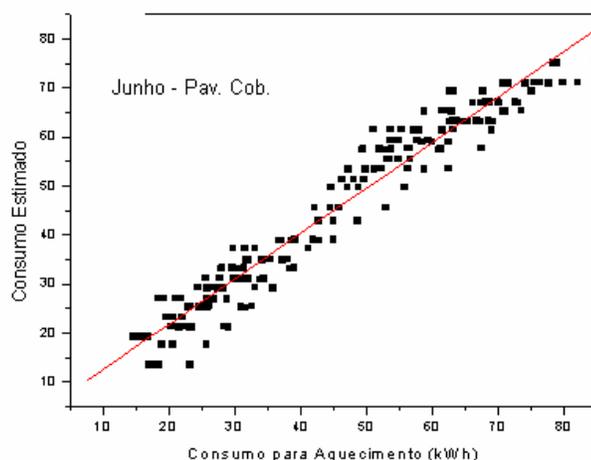


Figura 9.81 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

A tabela 9.54 apresenta os resultados da regressão para os valores de mesma escala.

Tabela 9.54 - Consumo para Aquecimento (Escala Uniformizadas)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	47.33581	1.49395	31.68508	<0.0001
PJF	-0.09488	0.01193	-7.95147	<0.0001
AbsFach	-0.06879	0.01193	-5.76471	<0.0001
Renov*	0.40192	0.00895	44.9098	<0.0001
AbsCob	-0.13197	0.01193	-11.05948	<0.0001
CT*	-0.18308	0.01344	-13.62292	<0.0001

Nesse caso o único parâmetro que influenciou positivamente no consumo para aquecimento desse modelo foi a renovação de ar, ou seja, quanto maior for o número de renovações maior será o consumo. Isso também pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações adotadas nesse trabalho para as variáveis 1 renovação e 5 renovações de ar, chegando a 3.086,74 kWh a mais de consumo para as combinações de maior número de renovações. Já a PJF, absorvância da fachada, absorvância da cobertura e a CT, influenciaram inversamente, isto é, quanto maiores elas forem menor será o consumo para aquecimento. Isso também pode ser observado na tabela 9.55 que apresenta três extremos de desempenho térmico para esse modelo.

Tabela 9.55 Desempenho Térmico das Variáveis em Junho

Aquecimento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	Ab. Cob.(%)	CT (J/m ² .K)
84.79	8233	20	20	5	20	159
82.01	8233	20	20	5	20	256
79.78	7774	20	20	5	20	256
15.72	7774	80	80	1	80	445
14.85	8233	80	80	1	80	445
14.72	10147	80	80	1	80	445

9.2.4 Pavimento Cobertura - Mês de Dezembro

9.2.4.1 Consumo para Resfriamento

Para a realização da regressão linear múltipla para esse modelo foram considerados todos os parâmetros. A tabela 9.6 mostra os resultados da regressão e a figura 9.82 a relação do consumo simulado pelo Energy Plus e o estimado pelo software Origin, com coeficiente de correlação de 0.98 e desvio padrão de 59.

Tabela 9.56 - Consumo para Resfriamento (Escala Diferentes)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-86.64851	23.21114	-3.73306	2.51659E-4
Irrad	0.02443	0.00148	16.5151	<0.0001
PJF	4.9381	0.14732	33.51933	<0.0001
AbsFach	2.38161	0.14732	16.16612	<0.0001
Renov	61.91862	2.20981	28.01986	<0.0001
AbsCob	8.06577	0.14732	54.74971	<0.0001
CT	-0.19898	0.03722	-5.34656	<0.0001

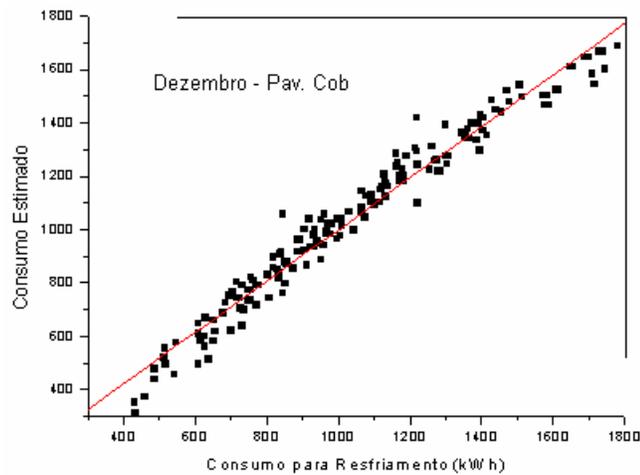


Figura 9.82 - Relação entre Consumo Estimado e Consumo Simulado

Já a tabela 9.57 mostra os resultados para os valores de mesma escala.

Tabela 9.57 - Consumo para Resfriamento (Escala Uniformizadas)

Parâmetros	Consumo (kWh)	Erro	t-Value	Prob> t
Y-Intercept	-87.47125	23.24162	-3.76356	2.24778E-4
Irrad*	3.23198	0.19569	16.51578	<0.0001
PJF	4.9381	0.14734	33.51549	<0.0001
AbsFach	2.38161	0.14734	16.16426	<0.0001
Renov*	3.09593	0.1105	28.01664	<0.0001
AbsCob	8.06577	0.14734	54.74343	<0.0001
CT*	-0.88511	0.16594	-5.33403	<0.0001

Os dados acima mostram que o parâmetro de maior influência nesse modelo é a absorvância da cobertura, influenciando 239% a mais no consumo de energia em relação a absorvância da fachada. Já a PJF, a irradiância e a renovação do ar, influenciaram respectivamente 107%, 36% e 30% a mais no consumo também em relação a absorvância da fachada. Vale ressaltar que todos esses parâmetros influenciaram proporcionalmente no consumo. Como em todos os outros modelos, a CT permaneceu influenciando inversamente no consumo de energia.

A tabela 9.58 apresenta as três situações com o pior e melhor desempenho térmico para esse modelo. Como em todos os outros casos de consumo para resfriamento, a PJF, absorvância da fachada e absorvância da cobertura apresentam um peso maior no consumo de energia quando a irradiância também é maior. Isso também pode ser observado nas figuras 9.83, 9.84 e 9.85 que mostram o comportamento de algumas variáveis de PJF, absorvância de fachada e cobertura em função da irradiância. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (13220 Wh/m²) e para a menor (4879 Wh/m²), obtendo um total de 9.734,65 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Tabela 9.58 Desempenho Térmico das Variáveis em Dezembro

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	Ab. Cob.(%)	CT (J/m ² .K)
1857.4	13220	80	80	5	80	159
1814.81	13220	80	80	5	80	256
1780.37	13220	80	80	5	80	445
459.21	4879	20	20	1	20	159
433.59	4879	20	20	1	20	445
429.82	4879	20	20	1	20	256

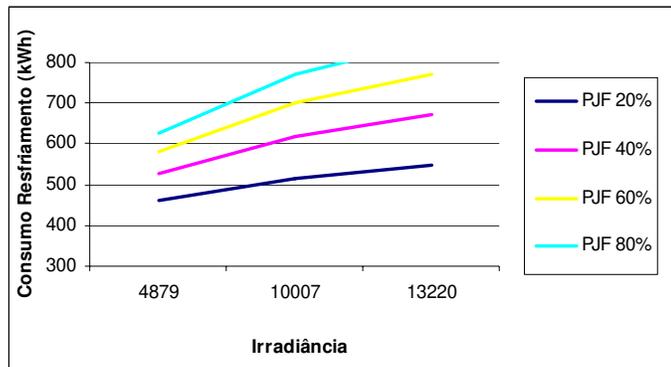


Figura 9.83 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

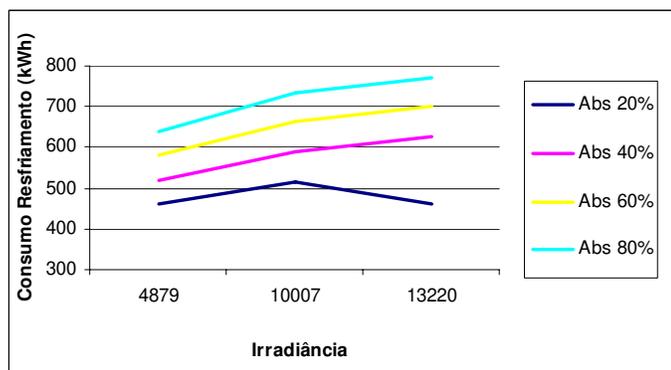


Figura 9.84 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância com o Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

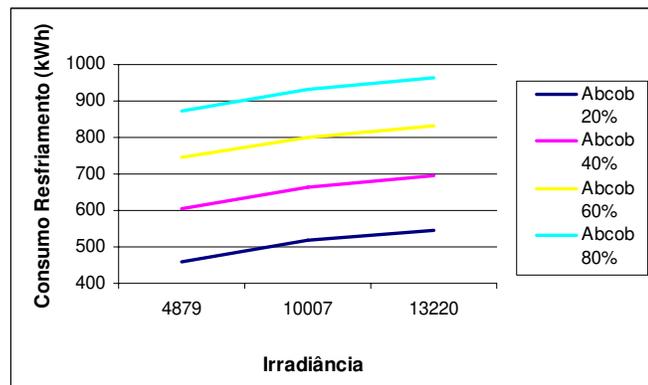


Figura 9.85 - Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

A figura 9.85 mostra que um edifício com 80% de absorptância de cobertura e irradiância incidente de 13220 Wh/m², influencia 87.85 kWh a mais no consumo de energia para resfriamento se comparada com uma irradiância de 4879 Wh/m². Vale

ressaltar que para as figuras acima os parâmetros fixos considerados foram os mesmos do modelo cobertura para o mês de junho.

A seguir é apresentada a diferença de consumo para os parâmetros PJF, absorvência de fachada e cobertura, CT e número de renovações de ar, quando somados os consumos de resfriamento para o mês de dezembro de todas as combinações adotadas para as menores e maiores variáveis:

- somados o consumo de todas as combinações adotadas para PJF de 80% e 20%, chegou-se a 33% a mais de consumo para as combinações com maior PJF;
- o consumo total das combinações para absorvência de fachada de 80%, resultou em 15% a mais de consumo, comparando com as combinações de absorvência 20%;
- já as situações com absorvência de cobertura de 80%, obtiveram um consumo a mais de 60%, se comparado com as situações de absorvência 20%;
- em relação ao sistema construtivo as situações com tijolo de 6 furos de 14 cm, chegaram a um consumo de 6% a mais, comparando com o consumo das situações com tijolo maciço de 27 cm;
- quanto ao número de renovações, as combinações com a variável 5 renovações, obtiveram um consumo de 27% a mais, em relação as combinações com menor número de renovações de ar.

Os resultados acima mostram que o pavimento cobertura e o mês de dezembro (verão) possuem o maior consumo de energia para resfriamento, sendo que no pavimento cobertura todos os parâmetros apresentaram maior contribuição para o aumento desse consumo, onde a absorvência da cobertura foi a maior influência, chegando a 1.04452 kWh no mês de junho e 8.06577 kWh no mês de dezembro. Ambas apresentaram maior influência em relação a todos os outros parâmetros, tanto no pavimento intermediário quanto no pavimento cobertura.

A PJF (porcentagem de janela na fachada) está em segundo lugar de importância no aumento do consumo para resfriamento, com um total de 8.98461 kWh de consumo, em terceiro está a irradiância com 7.2778 kWh, em quarto a absorvância da fachada com 6.91011 kWh e em quinto lugar a renovação de ar, com 5.48135 kWh de consumo.

Já o consumo para aquecimento só ocorreu no mês de junho (inverno) onde a renovação de ar foi o único parâmetro que influenciou positivamente no aumento desse consumo. Enquanto que a CT influenciou inversamente no consumo em todos os casos, ou seja, quanto maior ela for menor será o consumo de energia para resfriamento e aquecimento tanto no mês de junho quanto no mês de dezembro.

10. CONCLUSÃO

De acordo com a revisão bibliográfica, pode-se dizer que no âmbito da arquitetura, grande parte do consumo de energia do país é atribuído às variáveis arquitetônicas e construtivas, principalmente dos edifícios comerciais e públicos, que são grandes consumidores. Isso demonstra a grande responsabilidade dos profissionais da construção civil no consumo final de energia elétrica, que ainda não levam em consideração parâmetros de iluminação natural e térmica, acarretando em edifícios com baixo conforto térmico e lumínico e alto consumo de energia.

No caso da cidade de São Carlos, na primeira etapa desse trabalho, foi feito um diagnóstico da situação atual de três edifícios de escritórios em relação ao padrão de uso e ocupação e ao desempenho térmico.

A análise climática realizada nos edifícios estudados através do método de graus-hora de frio e de calor constatou que apenas uma sala do edifício Centro Médico chegou a obter desconforto por calor, chegando a 18 graus-hora de desconforto por mês. Isso deve ter ocorrido pelo fato dessa sala possuir cinco fachadas envidraçadas sem proteção solar (O/NO/N/E/SE) e por apresentar a maior absorvância das paredes externas (0,60). Já em relação ao desconforto por frio, o edifício Luciano Zanollo foi o que apresentou o pior desempenho térmico no período de inverno, com 28,02 graus-hora de desconforto por dia na sala de orientação S/O e 0,79 na sala de orientação N/E. O fato desse prédio possuir as áreas envidraçadas voltadas para as menores fachadas (E/O) com proteção solar e as maiores fachadas voltadas para norte e sul, sendo que a orientação sul não recebe radiação solar direta nessa época do ano, e pelo fato de possuir a menor porcentagem de área de vidro (23%), enquanto que Mahoney

recomenda um limite de 25% para São Carlos, fizeram com que esse edifício apresentasse o pior desempenho térmico.

Em relação ao edifício Conde do Pinhal, apenas a sala de orientação N/E apresentou desconforto por frio, enquanto que a de orientação S/O obteve conforto no período de inverno e de verão. O fato da sala de orientação S/O apresentar maiores temperaturas em relação a sala de orientação N/L no período de inverno, se dá pela presença de protetores solares verticais e horizontais na fachada norte da sala em estudo.

A segunda etapa desse trabalho apresentou as simulações termo-energéticas realizadas nos softwares Energy Plus, através da interface E2-AC.

Com a análise estatística dos casos simulados, chegou-se a conclusão que para o consumo de resfriamento no mês de junho e no mês de dezembro, o pavimento cobertura foi o que obteve as maiores influências no aumento do consumo, onde a absorvância da cobertura foi o parâmetro que mais influenciou, em segundo a PjF, em terceiro a irradiância, em quanto lugar a absorvância da fachada e por ultimo o número de renovações de ar. Enquanto que Capacidade Térmica do material influenciou em todos os casos inversamente no consumo, ou seja, quanto maior for a CT menor será o consumo para resfriamento e aquecimento do edifício analisado. Vale ressaltar que a influência da PjF e da absorvância da fachada e cobertura são maiores, quando a irradiância incidente também é maior. Isso mostra que para analisar o desempenho energético e térmico de um edifício, é preciso analisar todas as variáveis em conjunto, pois uma influencia no comportamento da outra.

Já o consumo de energia para aquecimento só ocorreu no mês de junho, onde a renovação de ar foi o parâmetro que mais influenciou no consumo de energia, ou seja, quanto maior for o número de renovações de ar maior será o consumo de aquecimento do edifício.

A partir dos resultados da análise estatística dos parâmetros considerados nesse trabalho, pôde-se levantar as condições ideais do edifício analisado para o clima de São Carlos, conforme apresentado abaixo.

- Para o consumo de resfriamento no período de inverno (junho) e verão (dezembro), as condições ideais do edifício é que ele tenha uma orientação em que a irradiância incidente seja a menor possível. No caso desse trabalho as menores irradiâncias consideradas foram 7774 (junho) e 4879 (dezembro). Menor porcentagem de janela na fachada (20%), menor absorvância de fachada e de cobertura (20%), apenas 1 renovação de ar e sistema construtivo de grande capacidade térmica. Nesse trabalho o sistema construtivo considerado de maior CT foi o tijolo maciço de 27 cm.
- Para o consumo de aquecimento no período de inverno (junho), o número de renovações de ar foi o único parâmetro que influenciou no aumento do consumo, portanto um edifício na cidade de São Carlos com 1 número de renovação de ar, é a situação ideal para um menor consumo de energia para aquecimento.

10.1 Limitações do Trabalho

Pelo fato da cidade de São Carlos apresentar apenas seis edifícios de escritórios que atendia a restrição de presença de elevadores, não foi possível obter uma tipologia representativa da cidade, pois a amostra foi muito pequena. Com isso foram escolhidos três edifícios para as análises. A escolha desses prédios se deu principalmente pela facilidade de acesso e permissão para os monitoramentos de temperatura e umidade.

Além disso, houve grande dificuldade em obter informações com os usuários sobre a ocupação e o uso de equipamentos, sendo que em alguns casos os dados fornecidos não eram muito confiáveis.

Os dados de densidade de carga interna não foram possíveis coletar, pela dificuldade de medição dos aparelhos.

Em relação as simulações, pela fato da interface E2-AC estar em fase de desenvolvimento, ela apresenta algumas deficiências que impossibilitaram simular os edifícios levantados em São Carlos com suas características construtivas, isso porque a interface analisa apenas uma zona térmica, apenas formatos ortogonais e não simula protetores solares (brise). Por isso, foi adotado por todas as equipes um edifício de referência que foi simulado com o clima de cada cidade.

10.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Como sugestão para futuros trabalhos acerca do tema influência de parâmetros construtivos no desempenho térmico e energético de edifícios de escritórios, pode-se citar:

- Analisar uma amostra maior de edificações, chegando a uma tipologia representativa;
- Realização de mais monitoramentos nos escritórios, a fim de compreender os usos de energia e o padrão de ocupação nesse tipo de edificação;
- Simulação real da tipologia representativa levantada na cidade em análise;
- Simular situações sem a utilização do sistema de ar condicionado;
- Estudo mais profundo do desempenho térmico e lumínico do edifício em função do consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 3: Zoneamento Bioclimático** : Projeto 02:136.01-001/1. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE. **Energy conservation in new building design**. ASHRAE Standard 90-1975. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1975.

ASHRAE. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Ashrae Standard 55-2004. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. California, 2004.

BECCALI, M.; FERRARI, S. Energy saving and comfort in office building: performances off different combinations of window technologies and lighting control strategies. *In*: 20th CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2003, Santiago. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2004?]. 1 CD. Acesso em: 8 abr. 2006.

BEN. **Resenha energética brasileira, exercício de 2006**. São Paulo, 2007.

BULLA, L. A.; LAMBERTS, R. Simulação paramétrica de um edifício comercial. *In*: I ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1994, São Paulo. **Anais**. Documento Eletrônico.

CABRAL, M. A onda verde chegou aos escritórios : **Exame, 72, fevereiro 2007**.

CARLO, J.; GHISI, E.; LAMBERTS, R.; MASCARENHAS, A. Energy efficiency building code of Salvador, Brazil *In*: 20th CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2003, Santiago. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2004?]. 1 CD. Acesso em: 10 jan. 2006.

CARLO, J., PEREIRA, F., LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o Código de Obras do Recife *In*: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 100 ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. **Anais**. Documento Eletrônico.

CGEE. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**, 2001 Disponível em:
<http://www.mct.gov.br/fontes/fundos/Documentos/CTEnerg/ctenerg_estudo003_02.pdf
> Acesso em: 02 abr. 2006.

CHICHIERCHIO, C. L. Vivemos numa situação em que a casa é pobre e o edifício comercial é rico : **Finestra** , **37**, abril 2003.

COSTA, G. **Iluminação econômica - Cálculo e avaliação** 3ª ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2005. 561 p. (Engenharia 5.)

CRAWLEY D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W.F.; HUANG, Y. J.; PETERSEN, C. O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; WITTE, M.; GLASER, J. **Energy Plus: creating a new-generation building energy simulation program. Energy and Buildings**, v. 33/4, p.443-457, 2001.

CRESESB. **Energia eólica - princípios e aplicações** Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>> Acesso em: 01 abr. 2006a.

CRESESB. **Energia solar - princípios e aplicações** Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>> Acesso em: 01 abr. 2006b.

DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA - Ministério da Economia. **Eficiência energética nos edifícios**. Portugal, 2002.

DOE. **Energy Plus Simulation Software**. Disponível em:
<www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> Acesso em 10 jan. 2006.

DORNELLES, K. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP** São Carlos, 2004. 150 f. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.

EMBRAPA. **Atlas do meio ambiente do Brasil** Brasília: EMBRAPA-SPI, Ed.Terra Viva, 1994. 130 p.

EMBRAPA Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br>> Acesso em: 02 jan. 2006.

EUROPEAN COMMISSION. **Daylight in buildings**, Dir. General XVII for energy, Energy Research Group, School of Architecture University College, Dublin, 1994.

EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY. **Designing healthy energy efficient office buildings**. A Thermie programme action, 1995.

ESTADÃO. **É possível combater as mudanças climáticas, diz relatório do IPCC**, 2007 Disponível em:
<http://www.estadao.com.br/especial/global/noticias/2007/mai/04/16.htm>
> Acesso em: 16 maio 2007.

EVANS, M; SCHILLER, S. **Diseño bioambiental y arquitectura solar**. Buenos Aires: Secretaría de Extensión Universitaria de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, 1994.

FELAMINGO, J. C. **Eficiência energética em condicionamento de ar**. Workshop – Eficiência energética em edifícios, CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 1996.

GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INNE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. 1994. p. 223.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R.; SIGNOR, R. Comparação de resultados de simulação com o consumo energético medido num edifício de escritório *In: III CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE AR CONDICIONADO E REFRIGERAÇÃO*, 1995, São Paulo. **Anais**. [S.l.]: [S.n.]1 CD. Acesso em: 10 out 2004.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GOULART, S.; LAMBERTS, R. **Levantamento da experiência internacional - experiência nos Estados Unidos** Florianópolis, 2005. Relatório Técnico do LabEEE-2005 08.

HOPKINSON, R. G. **Architectural Physics** London: Lighting, Department of Scientific and Industrial Research, 1963. 360 p.

LABEEE Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>> Acesso em: 28 de abr. 2006a.

LABEEE Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/edois/e2ac.html>> Acesso em: 03 jan. 2006b.

LAMBERTS, R. **Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil**. Pesquisa financiada pelo CNPq e coordenada por Roberto Lamberts. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

LAMBERTS, R.; CARLO, J. Uma discussão sobre a regulamentação de eficiência energética em edificações *In: IV CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL*, 2004, Curitiba. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2005?]. 1 CD. Acesso em: 15 jan. 2006.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura** 1 ed. São Paulo: PW, 1997a. 188 p. v. 1.

LAMBERTS, R.; GOULART, S.; PEDRINI, A.; SILVEIRA, V. G.; CATTO, A. Eficiência energética: estudo de retrofit para um edifício comercial em Florianópolis. *In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 1997b, Salvador. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2000?]. 1 CD. Acesso em: 10 abr. 2006.

LEE, S. A.; WESTPHAL, F.; LAMBERTS, R. Verificação da eficiência energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional: estudo de caso no Departamento de Engenharia Civil da UFSC *In: VI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2001, São Pedro. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2002?]. 1 CD. Acesso em: 8 abr. 2006.

MACIEL, A. A.; LAMBERTS, R. Avaliação de estratégias passivas em edifício de escritórios em Brasília. *In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E III CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES*, 2003, Curitiba. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2000?]. 1 CD. Acesso em: 03 maio 2006.

MAGALHÃES, L. C. **Orientações gerais para conservação de energia elétrica em edificações**: Eletrobrás, 2002.

MASCARENHAS, A.; NERY, J.F.; D'ALCANTARA, A. **Conservação de Energia e Conforto Ambiental em Edificações Comerciais de Salvador**; Relatório COELBA/UFBA/PROCEL, 1988.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Boletim agroclimatológico mensal** Rio de Janeiro/Brasília, 1940-1990.

MME - Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço energético nacional**, 1990.

MME - Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço energético nacional**, 2005.

OLGYAY, V.; OLGAYAY, A. **Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: G. Gili, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL. **Processo de elaboração do plano diretor de São Carlos** São Carlos, 2002.

PROCEL. Manual de conservação de energia elétrica em edifícios comerciais e públicos Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1988.

PROCEL Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/procel/site/areadeatuacao>> Acesso em: 10 abr. 2005.

PROCEL. Disponível em: <www.eletrobras.gov.br/procel/site/seloprocel/apresentacao.asp> Acesso em: 15 jan. 2006.

ROMÉRO, M. **Arquitetura, comportamento e energia** São Paulo, 1987. Tese - FAU-USP.

ROMÉRO, M.; GONÇALVES, J. C.; DILONARDO, L. F. P. A evolução da arquitetura e dos aspectos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo *In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 1999, Fortaleza. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2000?]. 1 CD. Acesso em: 10 out 2004.

RORIZ, M. **Ano climático típico de São Carlos** UFSCar, 2006.

SALOMANI, I.; RUTHER, R. Sistema fotovoltaico integrado à edificação e interligado à rede elétrica: eficiência energética e sustentabilidade. *In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E III CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES*, 2003, Curitiba. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2000?]. 1 CD. Acesso em: 03 maio 2006.

SANTANA, V. M. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis - SC** Florianópolis, 2006. 196 f. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

SHAEFFER, R. Conservar energia minimiza efeito estufa : **O Globo/Ciência, 01 de maio 2007.**

SPITZ, C. EUA se dizem entusiasmados com parceria com Brasil para álcool : **Folha de São Paulo, 16 de fevereiro 2007.**

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C. E. Influência de características arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edifícios de escritórios de Florianópolis *In*: III ENCONTO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO AMERICANO, 1995, Gramado. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], 1995.

TOLENTINO, M. **Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos** São Carlos: Prefeitura Municipal, 1967. 78 p.

USGBC. **LEED Green Building Rating System 2.0TM, 2001**. Disponível em: <www.usgbc.org> Acesso em: 26 abr. 2006.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura** São Carlos: Virtus s/c Ltda, 2001.

WESTPHAL, S. F.; MARINOSKI, L. D.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Proposta de retrofit para o sistema de iluminação artificial da UFSC *In*: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Foz do Uguçu. **Anais**. [S.l.]: [S.n.], [2003?]. 1 CD. Acesso em: 2 fev. 2006.

Apêndice A Códigos de Eficiência Energética para Edificações Residenciais e Comerciais Adotados nos Estados Unidos

Tabela 1 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Residenciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

90-75	“Energy Conservation in New Building Design” - Primeira norma ASHRAE direcionada para projeto e construção de novos edifícios, considerando o ponto de vista da energia.
MCEC 77	“Code for Energy Conservation in New Building Construction”. Desenvolvido por BOCA, ICBO, SBCCI, e o <i>National Conference of States on Building Codes and Standards</i> ; baseado na ASHRAE 90-75.
ASHRAE 90A-1980	“Energy Conservation in New Building Design”. Atualização da ASHRAE 90-75
MEC 83	“Model Energy Code 1983 Edition” Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980.
MEC 86	“Model Energy Code 1986 Edition”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980 e MEC 83 com pequenas mudanças.
MEC 89	“Model Energy Code 1989 Edition”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980 e MEC 86 com pequenas mudanças
10 CFR 435	“Energy Conservation Voluntary Performance Standards for New Buildings; Mandatory for Federal Buildings” Inclui requerimentos para ambos edifícios: Comerciais Federais e Residenciais Federais. Para os edifícios residenciais o software “Conservation Optimization Standard for Savings in Federal Residences (COSTSAFR)” é referenciado. COSTSAFR é usado para derivar o consumo de energia pretendido para edifícios residenciais Federais.
MEC 92	“Model Energy Code 1992 Edition”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980 e MEC 89 com pequenas mudanças.
MEC 93	“Model Energy Code 1993 Edition”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980 e MEC 92 com pequenas mudanças.
ASHRAE 90.2-1993	“Energy Efficient Design of New Low-Rise Residential Buildings”. Uma revisão completa das provisões para os edifícios residenciais de baixa altura contidas na ASHRAE 90.A-1980.
MEC 95	“Model Energy Code 1995 Edition”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980 e MEC 93 com pequenas mudanças.

Tabela 1.1 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Residenciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

IECC 98	<i>“International Energy Conservation Code 1998”</i> Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Capítulo 6 “Residential Building Design by Acceptable Practice” foi consolidado no Capítulo 5 de forma re-escrita.
IECC 2000	<i>“International Energy Conservation Code 2000”</i> . Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Um novo capítulo foi acrescentado contendo 4 páginas de um método prescritivo de conformação, opcional e individual. O método pode ser usado somente em edifícios uni-familiares com área de janela menor ou igual a 15% ou edifícios multi familiares com área de janela menor ou igual a 25%.
IECC 2001	<i>“International Energy Conservation Code 2001 Supplement”</i> . Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO).
NFPA 5000	<i>“NFPA 5000, Building Code”</i> . Esta norma é planejada para ser a Associação Nacional de Proteção ao Fogo (National Fire Protection Association's). É o primeiro código de edifícios completo e irá conter a ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2001 como requerimentos de energia para residências.

Tabela 1.2 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

ASHRAE 90-75	<i>“Energy Conservation in New Building Design”</i> - Primeira norma ASHRAE direcionada para projeto e construção de novos edifícios, considerando o ponto de vista da energia.
MCEC 77	<i>“Model Code for Energy Conservation in New Building Construction”</i> . Desenvolvido por BOCA, ICBO, SBCCI, e o <i>National Conference of States on Building Codes and Standards</i> ; baseado na ASHRAE 90-75.
TITLE 24- CALIFÓRNIA 1978	<i>“Californian Building Code”</i> . faz parte de um dos 26 códigos do <i>California Code of Regulations</i> . Este código divide o clima do estado em 16 zonas climáticas e 8 grupos de atividades.
ASHRAE 90A- 1980	<i>“Energy Conservation in New Building Design”</i> . Atualização da ASHRAE 90-75

Tabela 1.3 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

MEC 83	“ <i>Model Energy Code 1983 Edition</i> ” Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
MEC 86	“ <i>Model Energy Code 1986 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
MEC 89	“ <i>Model Energy Code 1989 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A- 1980.
ASHRAE 90.1- 1989	“ <i>Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings</i> ”. Uma completa revisão da norma ASHRAE anterior para edifícios, excluindo edifícios residenciais de baixa altura.
10 CFR 435	“FEDCOM 0” “ <i>Energy Conservation Voluntary Performance Standards for New Buildings; Mandatory for Federal Buildings</i> ”. Inclui requerimentos para ambos edifícios: Comerciais Federais e Residenciais Federais.
MEC 92	“ <i>Model Energy Code 1992 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Baseada na ASHRAE 90A-1980.
MEC 93	“ <i>Model Energy Code 1993 Edition</i> ”. Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Primeira versão do MEC para atender os requerimentos do EPACT, ou seja, atender ou exceder as especificações da ASHRAE 90.1-1989 – o capítulo 7 do MEC 93 adota a 90.1-1989 por referência.
ASHRAE 90.1-1989 Code Version	“ <i>Energy Code for Commercial and High-Rise Residential Buildings</i> ” Publicado em 1993, contém uma versão em linguagem de código da ASHRAE 90.1-1989. É tecnicamente equivalente às provisões obrigatórias mínimas da 90.1-1989.
MEC 95	“ <i>Model Energy Code 1995 Edition</i> ” Mantido pelo Council of American Building Officials (CABO). Mudanças de referência da Standard 90.1-1989 para a versão codificada da 90.1-1989, publicada em 1993.

Tabela 1.4 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

IECC 98	<p><i>“International Energy Conservation Code 1998”</i> Mantido pelo International Code Council (ICC). A referência da versão codificada da 90.1-1989 foi movida do capítulo 7 para o capítulo 6. Um novo capítulo 7 foi adicionado <i>“Design by Acceptable Practice for Commercial Buildings”</i> como um método de conformidade simplificado de acordo com a 90.1, específica para edifícios com não mais que 3 andares com “razoável” área envidraçada e “simplificado” sistema mecânico (Ar condicionado).</p>
10 CFR 434 “FEDCOM I”	<p><i>“Energy Conservation Voluntary Performance Standards for New Commercial and Multi-Family High Rise Residential Buildings”</i>. Com a publicação do 10 CFR 434, os requerimentos para edifícios comerciais federais foram removidos do 10 CFR 435 (o qual é agora somente residencial) e foram atualizados para atender ou exceder a versão codificada da norma 90.1-1989.</p>
ASHRAE 90.1- 1999	<p><i>“Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings”</i>. Publicada em 1999, este documento fornece uma revisão completa da norma anterior. É escrita numa linguagem incisiva, obrigatória, adequada para adoção de códigos.</p>
IECC 2000	<p><i>“International Energy Conservation Code 2000”</i> Mantida pelo International Code Council. O capítulo 7 do IECC 98 passou a ser o capítulo 8 do IECC 2000 com várias mudanças já que o código foi ampliado para cobrir virtualmente todos os edifícios comerciais. Algumas mudanças foram feitas na seção de Iluminação para atualizar alguns valores para serem equivalentes a ASHRAE 90.1-1999.</p>
IECC 2001	<p><i>“International Energy Conservation Code 2001 Supplement”</i> Mantida pelo International Code Council.</p>
ASHRAE 90.1- 2001	<p><i>Buildings”</i> Publicado em 2001, este documento fornece uma revisão da norma anterior para incluir um adendo aprovado.</p>

Tabela 1.5 - Códigos de Eficiência Energética – Edifícios Comerciais
Fonte: GOULART & LAMBERTS, 2002

10 CFR 434 "FEDCOM II"	<i>"Energy Code for New Federal Commercial and Multi-Family High- Rise Residential Buildings"</i> . Esta é uma atualização planejada do FEDCOM I, para atualizar requerimentos para atender a norma 90.1-2001.
NFPA 5000	<i>"NFPA, 5000 Building Code"</i> Esta norma é planejada para ser a Associação Nacional de Proteção ao Fogo (National Fire Protection Association's). É o primeiro código de edifícios completo e irá conter a ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2001 como requerimentos de energia para edifícios comerciais.

Apêndice B Questionário – Padrão de Uso e Ocupação



Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil.

Esta pesquisa destina-se a diagnosticar a qualidade dos edifícios comerciais em relação ao:

- Conforto térmico dos usuários - se a sala é quente no verão e fria no inverno. Qual é a necessidade de utilização de ar condicionado, ventiladores, etc...
- Conforto Luminoso - se para exercer as atividades é necessário o uso de iluminação artificial.

Sabe-se que no Brasil a maior parte destes prédios não é confortável para seus usuários. Além disso, estes edifícios apresentam um alto consumo de energia elétrica em função da maior utilização de luz e de condicionamento artificiais. Portanto, colabore conosco respondendo algumas questões.

Edifício:..... Sala nº:..... Uso:.....

Quantas pessoas trabalham em sua sala?
 Resp:
 Quantas pessoas freqüentam sua sala por dia (clientes)?
 Resp:
 Qual o horário de funcionamento?
 Das 8:00 as 18:00 h () Das 8:00 as 22:00 h ()
 Apenas um período (especificar qual): ()
 Você utiliza a sala durante os finais de semana?
 Resp:
 Quanto aos equipamentos elétricos:

Você possui:	Qual a quantidade?	Qual o tempo de utilização?
Computador		
Impressora		
Fax		
Aparelho Telefônico (sem fio)		
Cafeteira elétrica		
Bebedouro		
Luminárias (inclusive de teto)		
Ar condicionado		
Frigobar/Geladeira		
Ventilador		
Outros		

Assinale com um **X** a figura que mais representa sua sensação, no interior de sua sala de trabalho, durante o **VERÃO** e o **INVERNO**:

						
VERÃO	()	QUENTE	()	FRIA	()	CONFORTÁVEL
INVERNO	()	QUENTE	()	FRIA	()	CONFORTÁVEL

Dados pessoais:
 Sexo () Idade () Peso () Kg.
 Se possível informe-nos também:
 Qual o valor médio das últimas contas de energia elétrica?.....
 Qual a quantidade média de consumo de kWh (especificada em sua conta de energia)?.....
 Se for necessário use o verso da folha. Muito obrigada pela sua colaboração!

Apêndice C Padrão de Uso das Edificações Estudadas

Tabela 2 - Padrão de Uso das Salas Analisada

ED CONDE	USO	P/M ²	FP/DIA	FUNC(h)	FS(h)	EQUIPAMENTOS										CONFORTO	
						COMP	I	F	APT	CE	B	LUM	AC	G	V	INV	VER
202	advocacia	0,05	3	10	1	1	1	0	2	1	0	4	1	0	0		
204	advocacia	0,05	2	10	0	1	1	1	0	0	0	9	1	1	0	F	Q
303	advocacia	0,05	5	10	2	3	2	1	0	0	1	7	0	0	0		
401	advocacia	0,07	5	10	0	1	1	1	0	1	1	5	0	1	2	F	Q
402	advocacia	0,02	6	10	1	1	2	1	0	1	1	7	1	1	0	F	Q
404	advocacia	0,05	6	10	0	1	1	0	0	1	0	5	1	0	1	F	Q
501	advocacia	0,02	2	10	0	1	1	0	1	0	0	5	1	0	1	F	Q
502	advocacia	0,05	2	10	0	1	1	1	1	1	0	7	0	0	0	F	Q
603	advocacia	0,07	5	10	1	3	4	1	0	1	0	7	0	0	1	F	C
604	advocacia	0,02	2	10	0	1	1	1	1	0	0	7	0	0	0		
701	advocacia	0,02	2	10	0	1	1	1	1	0	1	5	1	1	0	F	Q
703	advocacia	0,07	4	10	0	1	1	2	0	1	1	7	0	1	2	F	Q
ED LUCIANO	USO	P/M ²	FP/DIA	FUNC(h)	FS(h)	COMP	I	F	APT	CE	B	LUM	AC	G	V	INV	VER
11	advocacia	0,07	3	10	2	1	1	0	0	1	1	7	0	0	0	F	Q
12	advocacia	0,03	2	10	1	1	1	1	1	0	0	3	0	0	1	F	C
13	advocacia	0,11	8	10	0	2	1	1	1	1	0	4	0	1	0	F	C
14	advocacia	0,11	8	10	0	2	1	1	1	1	0	4	0	1	0	F	C
31	advocacia	0,03	3	10	1	1	1	0	1	0	0	5	1	0	1		
41	advocacia	0,07	10	10	0	2	2	1	1	1	0	5	0	1	1	F	Q
42	advocacia	0,07	5	10	0	2	2	1	1	0	1	7	1	1	2	F	Q
51	advocacia	0,03	18	10	0	2	2	0	0	0	0	5	2	0	0	F	C
52	advocacia	0,03	18	10	0	1	1	0	0	0	0	5	1	1	0	C	Q
53	advocacia	0,07	15	10	0	2	2	1	0	1	1	5	2	1	0		
54	advocacia	0,07	15	10	0	2	1	1	0	1	1	5	3	1	0		
63	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	1	5	0	1	2	C	Q
64	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	1	5	0	0	2	C	Q
65	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	0	5	1	0	1	C	Q
66	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	0	5	1	0	1	C	Q
67	advocacia	0,07	10	10	0	2	1	1	0	0	0	5	1	0	1	C	Q
68	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	0	5	0	0	2	C	Q
69	advocacia	0,07	10	10	0	1	1	1	0	0	0	5	0	0	2	C	Q
70	advocacia	0,07	10	10	0	2	1	1	0	0	0	5	0	0	1	C	Q
71	advocacia	0,07	10	10	0	2	1	1	0	0	0	5	1	0	1	C	Q
72	advocacia	0,07	10	10	0	2	1	1	0	0	0	5	1	0	1	C	Q

Tabela 2.1 - Padrão de Uso das Salas Analisadas

ED C. MÉDICO	USO	P/M2	FP/DIA	FUNC(h)	FS(h)	EQUIPAMENTOS										CONFORTO	
						COMP	I	F	APT	CE	B	LUM	AC	G	V	INV	VER
23	medicina	0,02	50	14	0	2	2	1	1	1	1	39	3	2	0	F	Q
24	medicina	0,02	30	10	0	1	1	1	0	1	1	32	2	0	1	F	Q
31	medicina	0,02	30	12,5	0	2	1	0	1	1	1	30	2	0	0	F	C
32	medicina	0,02	7	10	2	1	1	0	1	1	0	20	0	1	1	C	C
33	medicina	0,02	70	12	0	3	3	1	1	0	1	32	2	1	1	C	C
34	medicina	0,03	60	14	1	3	2	0	2	0	0	19	1	1	1	F	Q
43	medicina	0,03	30	10	0	2	2	1	0	1	1	23	3	1	2	C	C
44	medicina	0,03	20	10	0	2	2	1	0	1	1	25	3	1	2	C	C
53	medicina	0,03	35	14	0	2	2	0	1	0	1	31	3	1	2		
54	medicina	0,02	40	14	0	2	2	0	1	1	1	37	3	1	1	F	Q
61	medicina	0,02	30	10	0	1	1	1	4	1	1	15	0	1	3	C	C
62	medicina	0,02	30	10	0	1	1	1	4	1	0	13	0	1	2	C	C
71	medicina	0,02	25	10	0	0	0	1	1	1	0	23	1	1	1		
72	medicina	0,03	30	12	0	2	1	1	0	1	1	24	3	1	1	C	C
73	medicina	0,03	30	10	0	0	0	0	0	1	1	23	4	1	0		
74	medicina	0,02	30	14	0	2	1	1	0	1	1	20	2	1	3		
80	medicina	0,02	20	10	0	2	1	0	0	1	1	25	2	1	2		
81	medicina	0,02	20	10	0	1	1	0	0	1	1	32	1	1	1		
102	medicina	0,02	40	14	0	3	3	1	0	1	0	31	1	1	0	F	Q
104	medicina	0,02	25	10	2	1	1	1	1	1	0	26	2	1	2	F	Q

Sendo que:

Sigla	Significado
P/M2	Funcionários por metro quadrado
FP/dia	Fluxo de pessoas por dia
FUNC.	Horário de funcionamento
FS	Uso da sala em finais de semana: 0 = nunca / 1= esporadicamente / 2=sempre
COMP	Computador
I	Impressora
F	Fax
APT	Aparelho telefônico sem fio
CE	Cafeteira elétrica
B	Bebedouro
LUM	Luminárias
G	Geladeira ou frigobar.
V	Ventilador
Conforto no inverno	Q (quente) F (fria) C (confortável)
Conforto no verão	Q (quente) F (fria) C (confortável)

Apêndice D Cálculo de Graus-Hora de Frio e Calor

Tabela 3 - Temperatura do Dia Médio (período de medição no inverno)

Hora	Edifícios – Temperatura °C					
	Ed4 N/E	Ed4 S/O	Ed5 S/O	Ed5 N/E	Ed6 L/SE/S/O	Ed6 O/NO/N/L/SE
0	20,57	22,06	18,78	21,26	20,53	23,10
1	20,45	21,91	18,66	21,10	20,49	22,71
2	20,42	21,64	18,62	20,95	20,41	22,41
3	20,34	21,49	18,51	20,76	20,34	22,18
4	20,30	21,29	18,40	20,61	20,19	21,98
5	20,26	21,18	18,32	20,57	20,07	21,79
6	20,11	20,95	18,21	20,34	20,03	21,52
7	20,03	20,80	18,17	20,22	19,96	21,26
8	19,96	20,68	18,09	20,15	20,26	21,72
9	20,00	21,91	18,28	20,34	20,68	22,75
10	20,15	22,48	19,01	20,65	20,76	23,44
11	20,49	22,60	19,46	21,18	20,72	23,99
12	20,76	22,63	19,73	21,60	21,03	24,33
13	20,91	22,63	20,03	22,02	20,95	24,18
14	21,29	22,60	20,19	22,37	21,10	24,37
15	21,83	22,82	20,49	22,75	21,52	24,87
16	22,52	23,29	20,72	23,06	21,90	25,34
17	22,86	23,48	20,80	23,02	21,71	25,34
18	22,17	23,48	20,72	22,75	21,75	25,11
19	21,75	23,36	20,26	22,48	21,60	24,76
20	21,41	23,25	19,96	22,40	21,26	24,48
21	21,22	23,13	19,65	22,21	21,14	24,33
22	21,14	22,94	19,50	21,98	21,06	24,02
23	21,10	22,71	19,35	21,87	21,03	23,83

Tabela 4 - Cálculo de Graus-Hora de Frio

Hora	Edifícios – Temperatura °C					
	Ed4 N/E	Ed4 S/O	Ed5 S/O	Ed5 N/E	Ed6 L/SE/S/O	Ed6 O/NO/N/L/SE
0	-0,11	-1,60	1,68	-0,80	-0,07	-2,64
1	0,01	-1,45	1,80	-0,64	-0,03	-2,25
2	0,05	-1,18	1,84	-0,49	0,05	-1,95
3	0,12	-1,03	1,95	-0,30	0,12	-1,72
4	0,16	-0,83	2,06	-0,15	0,27	-1,52
5	0,20	-0,72	2,14	-0,11	0,39	-1,33
6	0,35	-0,49	2,25	0,12	0,43	-1,06
7	0,43	-0,34	2,29	0,24	0,50	-0,80
8	0,50	-0,22	2,37	0,31	0,20	-1,26
9	0,47	-1,45	2,18	0,12	-0,22	-2,29
10	0,31	-2,02	1,46	-0,18	-0,30	-2,98
11	-0,03	-2,14	1,00	-0,72	-0,26	-3,53
12	-0,30	-2,17	0,73	-1,14	-0,56	-3,87
13	-0,45	-2,17	0,43	-1,56	-0,49	-3,72
14	-0,83	-2,14	0,27	-1,91	-0,64	-3,91
15	-1,37	-2,36	-0,03	-2,29	-1,06	-4,41
16	-2,06	-2,83	-0,26	-2,60	-1,44	-4,88
17	-2,40	-3,02	-0,34	-2,56	-1,25	-4,88
18	-1,71	-3,02	-0,26	-2,29	-1,29	-4,65
19	-1,29	-2,90	0,20	-2,02	-1,14	-4,30
20	-0,95	-2,79	0,50	-1,94	-0,80	-4,02
21	-0,76	-2,67	0,81	-1,75	-0,68	-3,87
22	-0,68	-2,48	0,96	-1,52	-0,60	-3,56
23	-0,64	-2,25	1,11	-1,41	-0,57	-3,37
Frio/dia	2,59		28,02	0,79	1,96	
Frio/mês	77,70		840,60	23,70	58,80	

Sendo que a TCM_{in} é 20,46°C

Tabela 5 - Temperatura do Dia Médio (período de medição no verão)

Hora	Edifícios – Temperatura °C					
	Ed4 N/E	Ed4 S/O	Ed5 S/O	Ed5 N/E	Ed6 L/SE/S/O	Ed6 O/NO/N/L/SE
0	24,1	25,1	26,0	25,2	25,8	26,3
1	24,2	25,1	25,9	25,3	25,8	26,3
2	24,2	25,0	25,8	25,2	25,8	26,1
3	23,9	24,9	25,6	25,1	25,1	25,9
4	23,8	24,8	25,6	24,9	25,0	25,8
5	23,7	24,7	25,3	24,8	25,1	25,6
6	23,6	24,6	25,3	24,7	25,1	25,4
7	23,5	24,5	25,1	24,7	24,9	25,3
8	23,5	24,4	25,1	24,6	24,9	25,2
9	23,4	24,2	25,5	24,6	25,3	25,9
10	23,4	24,4	26,0	24,4	25,6	26,5
11	23,7	24,5	26,4	24,4	25,8	26,9
12	24,3	24,6	26,3	24,8	25,7	27,3
13	24,9	24,7	26,1	25,2	25,9	27,3
14	25,2	25,0	26,1	25,7	25,8	27,1
15	25,5	25,4	26,3	25,9	26,1	26,9
16	25,8	25,4	26,3	26,0	26,1	26,5
17	25,9	25,6	26,2	26,0	26,1	26,3
18	25,8	25,4	26,3	26,5	26,1	26,2
19	25,6	25,3	26,3	26,2	26,1	26,2
20	25,4	25,1	26,3	25,7	26,0	26,5
21	25,1	25,2	26,3	25,5	25,9	26,6
22	24,6	25,1	26,3	25,4	25,9	26,5
23	24,4	25,2	26,1	25,3	25,8	26,4

Tabela 6 - Cálculo de Graus-Hora de Calor

Hora	Edifícios – Temperatura °C					
	Ed4 N/E	Ed4 S/O	Ed5 S/O	Ed5 N/E	Ed6 L/SE/S/O	Ed6 O/NO/N/L/SE
0	-2,90	-1,93	-1,08	-1,82	-1,28	-0,69
1	-2,82	-1,93	-1,16	-1,78	-1,27	-0,77
2	-2,86	-2,05	-1,20	-1,82	-1,27	-0,96
3	-3,09	-2,13	-1,43	-1,90	-1,89	-1,12
4	-3,25	-2,25	-1,47	-2,13	-2,01	-1,27
5	-3,36	-2,36	-1,74	-2,21	-1,93	-1,47
6	-3,47	-2,48	-1,78	-2,28	-1,93	-1,58
7	-3,51	-2,55	-1,93	-2,36	-2,13	-1,78
8	-3,51	-2,67	-1,97	-2,44	-2,17	-1,86
9	-3,63	-2,78	-1,51	-2,44	-1,74	-1,12
10	-3,59	-2,59	-1,08	-2,67	-1,39	-0,49
11	-3,28	-2,51	-0,65	-2,67	-1,23	-0,14
12	-2,71	-2,40	-0,77	-2,24	-1,31	0,29
13	-2,13	-2,36	-0,96	-1,82	-1,16	0,25
14	-1,82	-2,01	-0,92	-1,35	-1,20	0,06
15	-1,51	-1,62	-0,77	-1,12	-0,92	-0,14
16	-1,23	-1,62	-0,73	-1,00	-0,89	-0,49
17	-1,12	-1,47	-0,81	-1,00	-0,92	-0,69
18	-1,28	-1,62	-0,73	-0,57	-0,92	-0,81
19	-1,39	-1,70	-0,69	-0,81	-0,96	-0,84
20	-1,66	-1,90	-0,77	-1,35	-1,08	-0,49
21	-1,97	-1,86	-0,69	-1,55	-1,12	-0,42
22	-2,40	-1,90	-0,73	-1,63	-1,12	-0,53
23	-2,59	-1,86	-0,96	-1,74	-1,20	-0,65
Calor/Dia						0,60
Calor/Mês						18,00

Sendo que a TCM_{ax} é 27,03°C

GLOSSÁRIO

BEN - Balanço Energético Nacional

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CO₂ - Dióxido de Carbono

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito

CT - Capacidade Térmica do Material

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

MME - Ministério de Minas e Energia

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

OCDE - Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico

OIE - Oferta Interna de Energia

PIB - Produto Interno Bruto

Tep - Tonelada equivalente de petróleo