

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESENHO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*

LINHA DE PESQUISA EM ERGONOMIA

**(IN)EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UNIDADES RESIDENCIAIS: DA
IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO AO PERFIL SOCIO-ECONÔMICO DO
USUÁRIO**

Marcio Luís Yamaguti

Bauru
2007

Marcio Luís Yamaguti

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial – Área de Concentração: Desenho de Produto da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Paulista “Júlio Mesquita Filho” – Campus de Bauru, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Desenho Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Léa Cristina Lucas de Souza

Bauru - SP
2007

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – BAURU**

Yamaguti, Marcio Luís.

(In)Eficiência energética em unidades residenciais: da
implantação do edifício ao perfil sócio-econômico do usuário /
Marcio Luís Yamaguti, 2007.
83 f. il.

Orientador : Léa Cristina Lucas de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007.

1. Ergonomia Urbana. 2. Planejamento urbano. 3. Habitações -
Construção. 4. Energia elétrica - Consumo. 5. Fator de visão do
céu. I –Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Arquitetura, Artes e Comunicação. II - Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo apoio e carinho

*“...podeis aprender que o homem
é sempre a melhor medida.
Mais: que a medida do homem
não é a morte mas a vida”.*

João Cabral de Melo Neto in:
Pregão Turístico no Recife

AGRADECIMENTOS

À Professora. Dr^a Léa Cristina, orientadora, amiga e exemplo singular de ser humano, cujo apoio, ensino, atenção e incentivo foram fundamentais para a realização desse trabalho;

À Vanessa Midori Takenaka, pela enorme amizade e disposição em ajudar nos momentos difíceis;

A Equipe da Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Bauru, pela gentileza com que cedeu material de pesquisa para as fases iniciais de delineação do projeto.

Ao Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara (DAAE), que nas figuras de seu Superintendente, Eng. Wellington Cyro de Almeida Leite, e de seu Diretor da Divisão de Engenharia, Eng. José Braz , pelo incentivo à continuidade de minha qualificação profissional;

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e seu Escritório de Desenvolvimento Físico (EDF), seu Diretor Ricardo Siloto da Silva e demais profissionais e amigos: Fátima, Elizabete, Rogério, Érico, Fernando, Patrícia e Dib, pela atenção e carinho dispensados;

À Fundação Pró-Memória de São Carlos (FPMSC), sua Diretora Ana Lúcia Cerávolo e demais funcionários, pelo apoio e incentivo;

À Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) que gentilmente disponibilizou os dados através das Iniciações Científicas.

Ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, que disponibilizou o software EASY NN, especialmente ao sempre atencioso Prof. Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva.

Às bolsistas de Iniciação Científica, Camila Pereira Postigo e Camila Mayumi Nakata e Alinne Prado de Oliveira.

Aos senhores Sílvio e Helder, da Secretaria de Pós-graduação da FAAC, pela paciência e gentileza no atendimento às freqüentes dúvidas;

A amizade de Roberto e Juliana e a todos profissionais que, de alguma forma, tornaram possível a realização desta pesquisa.

RESUMO

YAMAGUTI, Marcio Luís. **(In)Eficiência energética em unidades residenciais: da implantação do edifício ao perfil socioeconômico do usuário.** 2007. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Programa de Pós-Graduação *Stricto-sensu* em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

Essa pesquisa aborda as relações de variáveis de implantação do edifício com o consumo de energia elétrica de unidades residenciais. Os seguintes parâmetros construtivos são levados em consideração: orientação, altura do pavimento e fator de visão do céu (FVC). A partir de um levantamento de dados de consumo de energia elétrica e do perfil do usuário, diversas variáveis foram consideradas para desenvolvimento de um modelo de Redes Neurais Artificiais. A partir daquele modelo, foi possível determinar a importância relativa de cada variável. Os resultados mostram que apesar da orientação dos apartamentos ser a variável principal para o consumo de energia, a altura do pavimento e o fator de visão do céu são elementos que têm papel fundamental nesse consumo. Ressalta-se que acima de 24m de altura, os apartamentos não apresentam melhoria na eficiência energética e, além disso, que o incremento do FVC tem influência diferenciada conforme a orientação do apartamento.

Palavras-chave: Ergonomia Urbana, Eficiência Energética, Fator de Visão do Céu.

ABSTRACT

YAMAGUTI, Marcio Luís. **Energy (In) Efficiency in residential units: of the implantation of the building to the social economic profile of the user.** 2007. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Programa de Pós-Graduação *Stricto-sensu* em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

This research studies the relationships of building location variables with the electrical energy consumption of residential units. The following building parameters are considered: orientation, stories heights and sky view factor (FVC). Data of electrical energy consumption and users' profiles were collected and several variables were considered for the development of an Artificial Neural Network model. This model allowed the determination of the relative importance of each variable. The results show that, although the apartment orientation is the most important variable for the energy consumption, the story height and the sky view factor play a fundamental role in that consumption. We highlight that building heights above 24m do not optimize the energy efficiency of the apartments and also that the SVF increment influences the energy consumption of the apartment according to their orientation.

Key-words: Urban Ergonomics, Energy efficiency , Sky View Factor

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Aumento da temperatura na cidade.	18
Figura 2.2	Gráfico da orientação em função da radiação solar.	23
Figura 2.3	Gráfico da variação da carga térmica recebida por um edifício em função de sua forma	23

CAPÍTULO 3

Figura 3.1	A abóbada celeste e a obstrução que as edificações causam	28
Figura 3.2	Foto a partir de lentes olho-de-peixe de 3 diferentes ambientes urbanos	29
Figura 3.3	Projeção estereográfica e projeção ortográfica no plano horizontal do cenário simulado	31
Figura 3.4	Cenário simulado em superfície hemisférica 3D.	31
Figura 3.4	Exemplo de Rede Neural Multilayer, analogia a Rede Neural Biológica.	33

CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Exemplo de ficha para Caracterização do Conjunto	37
Figura 4.2	Exemplo de ficha para Caracterização da Unidade	38
Figura 4.3	Exemplo de questionário sobre o perfil do usuário	40
Figura 4.4	Fluxograma dos Conjuntos das Redes Neurais	41

CAPÍTULO 5

Figura 5.1	Localização de Bauru no território brasileiro	43
Figura 5.2	Foto aérea com os limites urbanos do bairro	45
Figura 5.3	Volumetria das edificações da Vila Universitária em Bauru gerada no SIG através da extensão 3D Analyst.	46
Figura 5.4	Bairro cidade Universitária e sua variabilidade construtiva.	47

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Gráfico 2.1	Energia Armazenada Sul e Sudeste.	8
Gráfico 2.2	Dados sobre o consumo energético mensal do brasileiro	12
Gráfico 2.3	A quantidade de consumo dos aparelhos elétricos nas residências	13

CAPÍTULO 6

Gráfico 6.1	Consumo de verão simulado por bloco para cada fachada	54
Gráfico 6.2	Consumo de inverno simulado por bloco para cada fachada	55
Gráfico 6.3	Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco A	56
Gráfico 6.4	Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco B	57
Gráfico 6.5	Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco C	58
Gráfico 6.6	Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco A	60
Gráfico 6.7	Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco B	61
Gráfico 6.8	Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco C	62
Gráfico 6.9	Consumo em função do número de moradores no bloco A	63
Gráfico 6.10	Consumo em função do número de moradores no bloco B	64
Gráfico 6.11	Consumo em função do número de moradores no bloco C	64
Gráfico 6.12	Consumo em função da renda familiar no bloco A	65
Gráfico 6.13	Consumo em função da renda familiar no bloco B	66
Gráfico 6.14	Consumo em função da renda familiar no bloco C	66
Gráfico 6.15	Consumo em função da existência de freezer no bloco A	67
Gráfico 6.16	Consumo em função da existência de freezer no bloco B	68
Gráfico 6.17	Consumo em função da existência de freezer no bloco C	68
Gráfico 6.18	Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco A	69
Gráfico 6.19	Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco B	69
Gráfico 6.20	Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco C	70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1	Produção e consumo de energia no Brasil em 1998	7
Tabela 2.2	Alterações climáticas locais produzidas pelas cidades	19
Tabela 2.3	Relação entre o consumo de energia elétrica e o comportamento da temperatura do ar	24
Tabela 2.4	Orientação das vias e o consumo de energia	24

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1	Tabela de resultados numéricos com o valor da FVC	32
------------	---	----

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1	Valores para as variáveis numéricas dos modelos	49
Tabela 5.2	Valores para as variáveis alfanuméricas dos modelos	49
Tabela 5.3	Valores para as variáveis booleanas dos modelos	50

CAPÍTULO 6

Tabela 6.1	Quadro com modelos, camadas e parâmetros.	51
Tabela 6.2	Relevância das variáveis do modelo tipo A selecionado	52
Tabela 6.3	Importância para as variáveis após remodelagem do modelo 3	53
Tabela 6.4	Quadro síntese da influência das variáveis de implantação no consumo de energia elétrica	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCE	Associação Brasileira de Concessionárias de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Agentes Comercializadores de Energia Elétrica
ABRADE	Agência Brasileira de Desenvolvimento
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANN	Artificial Neural Network
APINE	Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica
APO	Avaliação Pós-Ocupacional
BM	Building Energy Analysis Model
CBIEE	Câmara Brasileira de Investidores em Energia Elétrica
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CEU	Consumo de Energia Urbano
CM	Urban Canopy Model
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DAUP	Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo
DEM	Departamento de Estudos Energéticos e Mercado
FAAC	Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
FVC	Fator de Visão do Céu
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPMET	Instituto de Pesquisa Meteorológica
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MM	3 D Meso-escala Model
NBR	Normas Brasileiras
NUCAM	Núcleo de Conforto Ambiental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organizações das Nações Unidas
PROCEL	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
RNA	Redes Neurais Artificiais
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TEP ou TOE	Toneladas Equivalentes de Petróleo
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 JUSTIFICATIVA	01
1.2 OBJETIVO	01
1.2.1 Objetivos Específicos	02
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO	02
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1 A ESPECIALIZAÇÃO DO ESTUDO ERGONÔMICO: UMA ESCALA PARA A QUESTÃO URBANA	04
2.2 ENERGIA E O PARADIGMA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	05
2.2.1 O Consumo de Energia Elétrica no Brasil	06
2.2.2 O Papel do Edifício Residencial no Consumo de Energia	11
2.3 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O CONSUMO DE ENERGIA	14
2.4 A INFLUÊNCIA DO CLIMA URBANO NO CONSUMO DE ENERGIA	16
2.4.1.A Ilha de Calor	20
2.4.2 A Forma de Implantação e Ocupação do Edifício	22
3 FERRAMENTAS ESPECÍFICAS	27
3.1 FATOR DE VISÃO DO CÉU	27
3.1.1 A Extensão 3DSKYVIEW	30
3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	36
4.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS PARA AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS	41
5 ESTUDO DE CASO	43
5.1 RECONHECIMENTO DA REGIÃO EM ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, MORFOLOGIA NATURAL E PERFIL CLIMÁTICO.	43
5.2 RECORTE URBANO - VILA UNIVERSITÁRIA.	44
5.3 DESENVOLVIMENTO E SELEÇÃO DO MODELO	48

6 RESULTADOS	51
6.1 APRESENTAÇÃO	51
6.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS BLOCOS E ORIENTAÇÕES	53
6.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FVC SECUNDÁRIO	55
6.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DO PAVIMENTO	59
6.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE MORADORES	63
6.6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RENDA FAMILIAR	65
6.7 ANÁLISE DA PRESENÇA DE FREEZER E DE AR CONDICIONADO	67
6.8 DISCUSSÃO SOBRE AS VARIÁVEIS DE IMPLANTAÇÃO	70
7 CONCLUSÕES	73
BIBLIOGRAFIA	75

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A ergonomia seja qual for sua linha de atuação, tem como objeto de estudo o homem e seu trabalho. A realização de tarefas cotidianas e a execução de atividades do dia-a-dia acontecem muitas vezes no ambiente doméstico e, nesse sentido, a adequação do espaço construído é questão primordial para o atendimento das demandas de conforto e satisfação do usuário. Assim, torna-se essencial o estudo do produto da construção civil, ou seja, a cidade e o edifício, como forma de ser otimizada a Ergonomia Urbana, atendendo-se às questões de qualidade de vida que estão diretamente relacionadas ao consumo de energia. Estuda-se aqui a ergonomia urbana relacionando-se o planejamento da forma dos espaços urbanos e arquitetônicos no comportamento humano, por meio da análise da utilização (consumo) de energia elétrica.

1.2 OBJETIVO

Considerando que o estudo da Ergonomia Urbana é um tema de crescente relevância após as recentes discussões sobre a sustentabilidade ambiental, os limites de crescimento e o planejamento urbano, ainda hoje, são raros os trabalhos que correlacionam o consumo de energia elétrica dos edifícios e a geometria urbana, especialmente, quanto ao enfoque da contribuição do Fator de Visão do Céu.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar a Ergonomia Urbana e sua relação com o planejamento dos espaços urbanos (entorno e implantação) e arquitetônicos (características construtivas) e o comportamento humano (perfil do usuário), por meio da análise da utilização (consumo) de energia elétrica de unidades residenciais multifamiliares

em Bauru. E dessa forma, contribuir para continuidade ao Projeto CEU (Consumo de Energia Urbano) na cidade.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos destacam-se:

- Estudar a relação entre as diferentes orientações ao sol de unidades residenciais pertencentes a um mesmo edifício;
- Verificar as possíveis semelhanças de consumo entre unidades residências que tenham mesma orientação ao sol, porém pertençam a edifícios multifamiliares diferentes entre si;
- Estudar a importância do fator de visão do céu no consumo de energia em função das diferentes alturas das unidades multifamiliares;
- Verificar potencialidades da técnica de Redes Neurais Artificiais no estudo do consumo de energia das edificações;
- Colaborar com os estudos do PROJETO CEU – Consumo de Energia Urbano, pesquisa desenvolvida pelo Núcleo de Conforto Ambiental (NUCAM) no campus da UNESP de Bauru.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

Essa dissertação está dividida em sete capítulos. Os primeiros capítulos correspondem a uma revisão bibliográfica e aprofundamentos teóricos, que compõem a base para o estudo de caso proposto.

Inicialmente, faz-se uma fundamentação teórica sobre as questões climáticas, o desenho do edifício e sua influência no consumo de energia.

Em seguida, aborda-se especificamente o fator de visão do céu, por ser esta uma das ferramentas a serem utilizadas para análise das unidades residências analisadas, assim como as redes neurais artificiais.

A metodologia é apresentada no quarto capítulo, descrevendo detalhadamente as etapas metodológicas a serem adotadas.

O quinto capítulo aborda o estudo de caso e retoma os resultados já alcançados pelo PROJETO CEU. Nesse capítulo também são expostos como foram realizados o desenvolvimento e a seleção do modelo

O capítulo sexto apresenta os resultados encontrados e segue com a análise dos modelos propostos e o capítulo sete conclui a pesquisa, abordando sugestões para trabalhos futuros. Por fim, apresenta-se a relação das referências utilizadas no trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ESPECIALIZAÇÃO DO ESTUDO ERGONÔMICO: UMA ESCALA PARA A QUESTÃO URBANA

A ergonomia tratada durante o desenvolvimento desse estudo tratou da questão das boas condições ambientais para que as diversas atividades realizadas pelo homem possam ser desenvolvidas com a menor interferência possível desse meio. A vertente da ergonomia conhecida como ergonomia ambiental ou ergonomia do ambiente construído se dedica ao estudo do ambiente físico da tarefa, visto que ele pode contribuir positiva ou negativamente, no desempenho dos usuários que dele se utilizam, na consecução de suas tarefas e atividades.

De acordo com Villarouco (2002):

“(...) a ergonomia do ambiente se dedica às questões de adaptabilidade e conformidade do espaço às tarefas e atividades nele desenvolvidas. Para o alcance deste objetivo ela utiliza elementos da antropometria, da psicologia ambiental, da ergonomia cognitiva e da análise ergonômica do trabalho - AET. Alguns conceitos de conforto térmico, acústico, lumínico e cromático também, compõem o leque de preocupações contempladas na concepção de ambientes ergonomicamente adequados”.

Na escala urbana, um complexo sistema de parâmetros pode ser analisado como intervenientes nas questões ergonômicas. O estudo do consumo energético dos edifícios busca encontrar quais as melhores práticas para diminuir a dependência de sistemas complementares consumidores de energia que são introduzidos após a construção dos mesmos, para tornar possível a manutenção das condições de habitabilidade e conforto de uma edificação.

2.2 ENERGIA E O PARADIGMA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Com o inevitável processo de automação nos mais diversos setores de atuação que envolve o trabalho do homem, a demanda por fontes energia torna sua escassez cada vez mais acelerada. O desenvolvimento econômico desenfreado e poluidor de alguns países e a constatação de que fontes de energia não-renováveis estão cada vez mais caras, fez urgir a necessidade de ações voltadas para a preservação dos recursos naturais.

Assim em 1972, por meio da Conferência de Estocolmo, destacou-se o necessário cuidado com o meio ambiente, e que em 1987, desencadeou na publicação do "Relatório de Brundtland", elaborado pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, que alertava sobre a importância de se buscar um **desenvolvimento sustentável**, ou seja:

“(...) suprir as necessidades do presente, sem comprometimento das possibilidades futuras e, portanto, de as próximas gerações atenderem às suas necessidades, ou ainda, de melhorar a qualidade de vida dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas”.(SCARLATO; PONTIN, 1999).

Dessa forma, nos anos 90 aconteceram outras conferências também realizadas pelas Organizações das Nações Unidas (ONU), dentre elas: a Rio-92 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano e a Habitat II sobre Assentamentos Humanos em Istambul, 1996. Como resultado destas conferências surgiu a **Agenda 21**, que para enfrentar os problemas do século XXI, pressupunha aos 117 países signatários: promover padrões de consumo e produção que reduzam as pressões ambientais e atendam às necessidades básicas da humanidade; e desenvolver uma melhor compreensão do papel do consumo e da forma de implementar padrões de consumo mais sustentáveis (SCARLATO; PONTIN, 1999).

Complementando, Carlo et al (2003) afirmam que:

“O Balanço Energético Nacional de 2000 (MME, 2001) mostrou que o crescimento do consumo de energia no país é maior que o crescimento do PIB, Produto Interno Bruto. Isto indica que se está consumindo energia sem gerar crescimento na economia. O crescimento no consumo de energia desproporcional ao crescimento da economia denota uma necessidade de racionalizar o consumo, não somente para preservar os recursos energéticos, mas também os recursos naturais”.

Diante desta perspectiva e das projeções futuras para o consumo de energia, motivos ambientais, econômicos e políticos levam à busca crescente por alternativas

sustentáveis de geração de energia, principalmente, por parte dos setores políticos e tecnológicos.

Além das conferências ambientais, existem também acordos basicamente econômicos que se preocupam com a questão ambiental, como o **Protocolo de Kyoto**, que foi assinado no Japão, em 1997, por 111 países, com o objetivo de reduzir a quantidade de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, causadores do **aquecimento global**, em pelo menos 5% até 2012, em relação aos níveis de 1999 (GREENPEACE, 2005).

Para Nakamatsu (2003), além do dióxido de carbono, principal causador do aquecimento global e consequentemente da ilha de calor, as estruturas urbanas e o clima frequentemente causam um aumento no consumo de energia.

Nesse contexto, a arquitetura apresenta-se como uma das responsáveis pelo **uso racional da energia** nas edificações, a partir do aprofundamento dos conhecimentos relativos à adaptação climática do edifício e à interferência do urbanismo na eficiência energética do mesmo (SOUZA et al, 2005).

“(...) construir com o clima não é mais uma posição ecológica, idealista ou contestatória. É uma necessidade quando se analisa o panorama mundial e local da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia.”
(MASCARÓ, 1985)

Dessa forma, torna-se essencial o estudo do produto da construção civil, ou seja, a cidade e o edifício, como forma de ser otimizada a **Ergonomia Urbana**, atendendo-se às questões de qualidade de vida que estão diretamente relacionadas ao consumo de energia. Estuda-se aqui a Ergonomia Urbana relacionando-se o planejamento da forma dos espaços urbanos e arquitetônicos no comportamento humano, por meio da análise da utilização (consumo) de energia elétrica.

2.2.1 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

No caso brasileiro, grande parte da energia consumida no país provém de **fontes renováveis** como a biomassa e a hidráulica, conforme Tabela 2.1:

TABELA 2.1 Produção e consumo de energia no Brasil em 1998

	Oferta interna de energia x10 ³ TEP		Produção de energia primária x10 ³ TEP		Fração de energia produzida internamente (%)	
Energia não renovável	104.477(42%)		62.080		57,3	
Petróleo		84.016		49.571		59,0
Gás Natural		6.645		10.443		100,0
Carvão		12.322		2.043		16,6
Urânio		1.494		23		1,5
Energia renovável	145.611(58%)		134.112		92,0	
Hidroeletricidade		95.925		84.498		88,1
Lenha e carvão vegetal		21.238		21.233		100,0
Derivados de cana-de-açúcar		25.063		27.996		99,7
Outras fontes renováveis		3.385		3.385		100,0
Total	250.088 (100%)		196.192		78,5	

Fonte: CBIEE, 2005

Por outro lado, a grande demanda de consumo de fontes não-renováveis também está presente, segundo a Secretaria de Transportes do Rio de Janeiro (2005). Em 1996, o consumo final de energia foi estimado em 197 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP ou TOE), sendo o setor de transportes um dos grandes responsáveis por esse consumo.

Cabe ressaltar que as cidades brasileiras vêm sofrendo com o aumento pela demanda de energia e já consomem 11% de toda a energia produzida, segundo estimativas da Eletrobrás. Um mercado de 47,2 milhões de unidades consumidoras está concentrado na Região Sul e Sudeste (mais industrializadas), enquanto a Região Norte é atendida intensivamente por pequenas fontes geradoras, sendo a maioria de termelétricas a óleo diesel.

Para a Eletrobrás, o crescimento do **consumo de energia elétrica** em 2000 foi de 5% a mais que em 1999. Esse cálculo teve como base o crescimento do consumo industrial (7,4%) e comercial (8,3%) no primeiro semestre. No entanto, o crescimento de consumo de energia elétrica no Brasil cresceu cerca de 7% ao ano.

Esse aumento no consumo elétrico exigiu uma demanda muito grande às fontes dessa energia, considerando que aproximadamente 87% dela provêm de hidrelétricas, isso requer um **alto custo de produção**, cujos impactos ambientais e sociais de construção são substanciais segundo Goldemberg (2000). Era previsto um investimento de R\$ 2,8 bilhões para 2000, e de R\$ 3,2 bilhões em 2001 para que fosse evitada a escassez de energia elétrica no país (Eletrobrás, 2002). No entanto, os reservatórios brasileiros não conseguiram encher o suficiente (Gráfico 2.1), não por causa das secas seguidas, mas porque o número de usinas instaladas não acompanhou o crescimento desse consumo, e a isso, somaram-se, os problemas com o desperdício de energia.

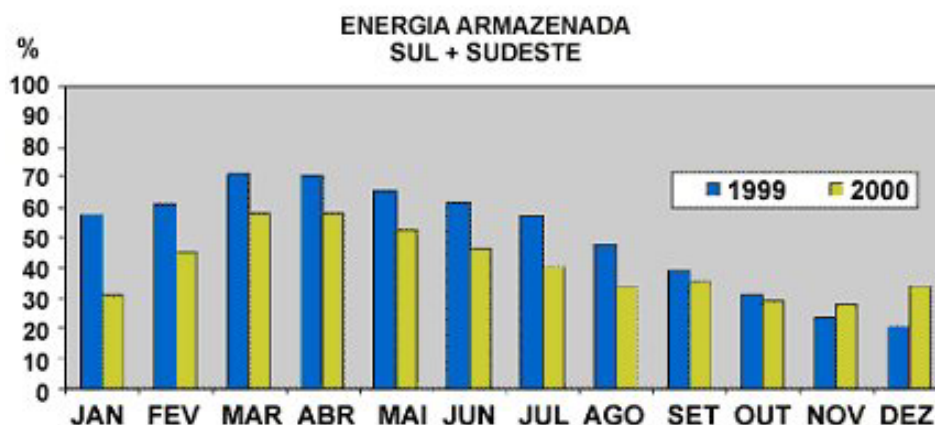


Gráfico 2.1 Energia Armazenada Sul e Sudeste.

Fonte: site FIEC (2005)

Diante desse contexto energético e aliado a um baixo índice de pluviosidade, em 2001, o Brasil vivenciou problemas de abastecimento satisfatório de energia, a **“crise do apagão”**:

“A crise surgiu pela falta de investimento no setor, aliada ao então aumento gradativo do consumo de energia elétrica”.(VOGT, 2001)

Como saída à crise, o Governo Federal impôs a redução do consumo de energia elétrica de todos os setores da sociedade por meio da **Medida Provisória nº 2.152-2**, de 1º de Junho de 2001. Esta Medida Provisória determinava, de maneira geral, que a meta a ser atingida pelo usuário que consumisse uma média dos últimos três meses superior a 100kWh deveria ter seu consumo reduzido em 80% de tal média, sob risco de ser suspenso o fornecimento de energia elétrica em até 48 horas, caso não houvesse o seu cumprimento.

Cabe ressaltar que no setor residencial, algumas medidas tomadas pela população para alcançar esta meta de redução do consumo foram muitas vezes excessivas. O estudo

de TAVARES et al (2002) demonstrou que tais medidas não só prejudicaram o conforto humano, mas a própria saúde do usuário, como a troca de lâmpada incandescente de 100W por 25W, comprometendo a qualidade das tarefas visuais.

Mas por outro lado, medidas adotadas pelo Governo Federal para minimização do consumo de energia elétrica no país aconteceram antes da crise do “apagão”. Usualmente, tem-se empregado o **horário de verão**, que visa proporcionar o maior aproveitamento da luminosidade natural, resultando em economia de energia elétrica. Na realidade, o horário de verão foi adotado pela primeira vez no Brasil em 1931 e tornou-se parte da rotina da população a partir de 1985. A idéia surgiu durante a I Guerra Mundial, com o objetivo de poupar o escasso óleo e outros combustíveis que formavam a base da produção de energia nos países desenvolvidos. Assim, o horário de verão ocorre no hemisfério sul entre os meses de outubro a março e no hemisfério norte, a mudança de horário é aplicada entre abril e outubro.

Segundo informações da CPFL, com o horário de verão de 2003, por exemplo, foi economizado 1,07% no consumo de energia elétrica e reduzidos 4,9% a demanda no período de pico (faixa crítica de consumo por saturação do sistema), representando uma economia de 64.138 MWh, sendo o suficiente para abastecer a cidade de Bauru-SP por pelo menos 38 dias. Sendo que neste ano, segundo o site da Câmara Brasileira de Investidores em Energia Elétrica (CBIEE), o consumo de energia no Brasil cresceu 5% de janeiro a julho, o equivalente a 174,053 gigawatts (GWh), com base em levantamento do Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM) da Eletrobrás (matéria de 07/10/2003): o segmento comercial cresceu 7,1% no ano, o residencial expandiu para 11,7%, e em compensação, o consumo da indústria caiu no Sudeste, passando a 1,9% em julho de 2003.

Por outro lado, cabe ressaltar que, devido aos **hábitos da população**, o horário de verão brasileiro apresenta controvérsias quanto a real capacidade de economizar energia. No segmento residencial, os gastos de energia com iluminação e chuveiro elétrico na parte da manhã, durante o horário de verão, são muitas vezes maiores do que se economiza na parte da tarde. A economia defendida pelo governo é computada a partir da diferença entre o consumo-pico do horário normal e o consumo-pico do horário de verão. Assim, segundo reportagem televisiva (Jornal Nacional, de 22 de fevereiro de 2005), o Brasil consome basicamente o mesmo que consumia na época anterior à crise do “apagão”.

Com base nos dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o consumo de energia elétrica em janeiro de 2006 foi recorde no país, atingindo 47.968 megawatts (MW) médios diários, que significou um acréscimo de 5,23% em relação a janeiro do ano anterior. Hoje, o mercado de energia elétrica cresce na ordem de 4,5% ao ano, com uma

estimativa de ultrapassar os 100.000 MW em 2008. O plano do governo em médio prazo prevê investimentos de R\$ 6 a 7 bilhões anuais na expansão da matriz energética brasileira para se atender à forte demanda de nosso mercado consumidor crescente.

Apesar da área de pesquisa em eficiência energética ainda ser recente no Brasil, com a necessidade de **racionalização do consumo de energia**, ela se tornou mais atuante:

“O consumo e as necessidades energéticas nos edifícios é um tema que hoje passou do debate ao estudo de suas origens e formas de diminuí-los.”
(MASCARÓ, 1985)

Desde então, com a conscientização de que existe uma dependência direta de mais investimentos no setor elétrico e não só de mais chuvas regulares, outras ações estão sendo tomadas para melhorias neste setor, como as campanhas de conscientização, que tiveram mais destaque da própria imprensa em diversos meios de divulgação.

Um exemplo disso são os programas educativos, como o **PROCEL** – Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, criado em 1985. Seu objetivo principal é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. Divulgações como o fornecimento de prospectos e materiais que citam quais os aparelhos que consomem mais e campanhas de substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescente (que economizam de 65 a 75% em relação à outra) são algumas das ações eficientes.

Nesta linha, Mascaró (1985) elaborou um guia de estratégias para concretizar a redução do consumo de energia nas edificações. Para tanto, explorou a modalidade do **uso passivo de energia**, por meio da aplicação dos princípios da arquitetura bioclimática, ou seja, priorizando técnicas construtivas (uso passivo de energia) a instalações (uso ativo de energia).

Já nos anos 90, o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) desenvolveram um manual para elaboração de Código de Obras para os Municípios. O objetivo era conscientizar as cidades brasileiras quanto à importância de integrar nas aprovações das edificações, entre outros conceitos, o de **conservação de energia**, propondo condições energeticamente mais eficientes, sem comprometer a qualidade de uso do espaço:

“Assim, conservação de energia nas edificações corresponde à utilização dos recursos naturais disponíveis para tornar mais eficientes os serviços de iluminação, ventilação, refrigeração ou aquecimento, mantendo-se o padrão requerido com menor consumo energético.” (BAHIA, 1997)

Conforme Carlo et al (2003), a Prefeitura Municipal de Salvador foi a primeira a iniciar a inclusão de **parâmetros de eficiência energética** em seu Código de Obras, principalmente, por causa da aprovação da **Lei Federal nº 10295/01**, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Esta lei, segundo o mesmo autor, foi sancionada por causa da “crise do apagão” em 2001 e foi regulamentada pelo **Decreto Federal nº 4059/01**, que estabeleceu: níveis máximos de consumo de energia; níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia, fabricados ou comercializados no país; e a criação de um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia das Edificações no País”, responsável pela forma de **regulamentar as edificações** visando o uso racional de energia elétrica.

Dessa forma, pensando em alternativas sustentáveis, as **políticas efetivas** são aquelas que estimulam uma qualidade de vida igual, ou até mesmo melhor, com um consumo de energia menor, combatendo os desperdícios e aumentando a eficiência dos aparelhos.

2.2.2 O PAPEL DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL NO CONSUMO DE ENERGIA

A fase de maior consumo da construção civil, conforme mencionam Mascaró & Mascaró (1992), é a própria utilização do produto dela, ou seja, o consumo energético é muito maior durante a vida útil do edifício do que em sua construção. A vida útil de um edifício é muito longa e o suficiente para consumir energia em quantidade significativa.

No Brasil, apesar de grande parte da energia elétrica ser consumida por indústrias, há que se considerar que, de acordo com Dutra et al (1998), 42% da energia total gerada no país é consumida por edifícios públicos, residenciais e comerciais. Esta relação é bem aproximada à que ocorre em outros países como mostra Barbosa (1997): em 1992, no relatório do Projeto de Conservação de Energia em Edifícios nos países do Sudeste Asiático, o consumo de eletricidade cresceu de 20 para 101 bilhões de kWh entre 1970 e 1987, dos quais os edifícios residenciais e comerciais são responsáveis por 45% do consumo de eletricidade.

No entanto, dados mais recentes estimam que o consumo no setor residencial e comercial representa apenas 18% da energia consumida no país:

“Estima-se que a energia consumida pelos edifícios dos setores residencial e comercial chega a 40% do total consumido na Europa e 36% nos EUA, enquanto no Brasil, nesses mesmos setores chega-se a um consumo total de 18%, quase a metade do total consumido no setor industrial, segundo dados do Balanço Energético Nacional em 2003”.(ASSIS, 2005).

Ainda assim, **o setor residencial** merece destaque em pesquisas científicas, uma vez que foi o que mais cresceu em consumo de energia elétrica nos últimos anos (DUTRA et al,1998). Assim, podemos ver conforme o Gráfico 2.2:

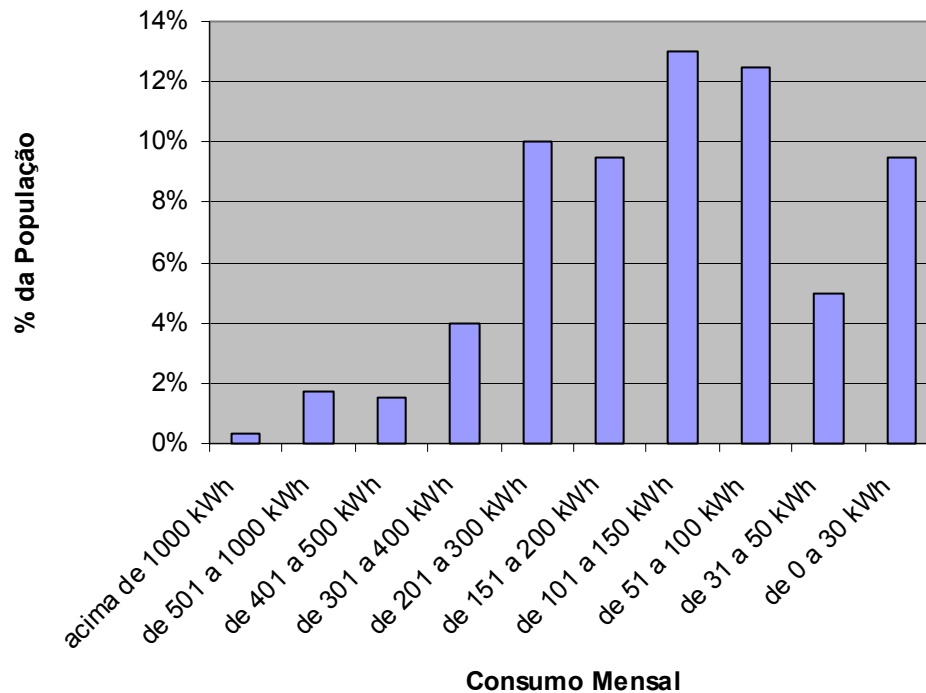


Gráfico 2.2 Dados sobre o consumo energético mensal do brasileiro

Fonte: ANEEL (2006)

Dessa energia consumida em edifícios residenciais, conforme Dutra et al (1998), 33% é referente ao uso de geladeiras, 23% ao uso de chuveiros elétricos, 12% ao consumo por iluminação, 7% por ar condicionado, e enquanto 3% pela utilização de televisores. Cabe ressaltar que para Lamberts et al (1997), o aparelho de ar condicionado não representa um equipamento de alto consumo de energia, apesar de o país apresentar um clima tropical, por não haver uso intensivo deste aparelho, já que somente 6% da população o possuem; assim, grande parte dessa energia consumida tem o chuveiro, a geladeira e as lâmpadas como os principais consumidores.

Dados recentes, expostos no Gráfico 2.3, mostram que a geladeira, o chuveiro elétrico e a iluminação continuam sendo os grandes responsáveis pelo consumo doméstico de energia elétrica. No entanto, acrescenta-se a este consumo a utilização de freezer, ferro elétrico e máquina de lavar, além da maior utilização de televisores.

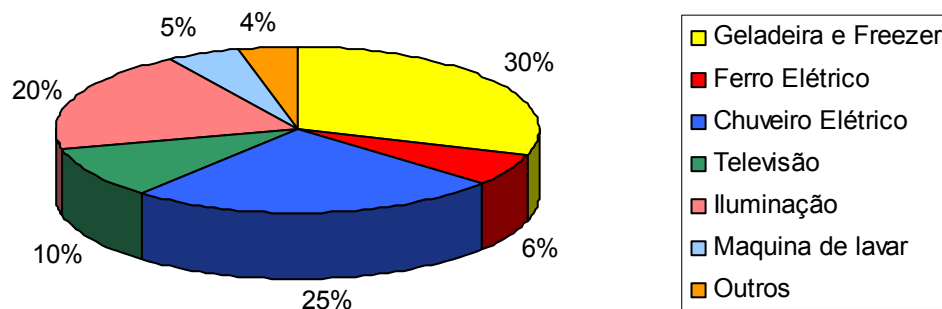


Gráfico 2.3 A quantidade de consumo dos aparelhos elétricos nas residências

Fonte: ANEEL (2006)

Por outro lado, apesar da demanda de consumo energético neste setor estar, visivelmente, relacionada à utilização de equipamentos e iluminação artificial, exigindo grande cooperação da população na contenção de desperdícios, ressalta-se que o próprio **projeto arquitetônico do edifício** apresenta influência direta na forma de utilização desses acessórios (LAMBERTS, 1996).

Assim, no contexto energético, o edifício é um produto consumidor de energia, não só pelo uso, ou ainda pela renda familiar do morador, ou número de usuários, ou número e tipo de equipamentos elétricos e eletro-eletrônicos, mas também, pelo seu próprio desenho e implantação:

“Um projeto de edificação mal executado, se mal elaborado, não consegue ser alterado com tanta facilidade como um eletrodoméstico. Depois de executado, ele tem poucas chances de reversão, o que leva para soluções alternativas não passíveis, principalmente a adoção de sistemas de refrigeração e aeração mecânica e iluminação artificial”.(PIMENTA; KRAUSE, 2001)

Sabe-se que as atividades humanas exercidas nos ambientes internos acabam por determinar o desempenho energético do edifício, assim, as questões do desenho do edifício demonstram-se primordiais para que se alcance a eficiência energética na construção civil. Por outro lado, raras são as pesquisas que integram o consumo de energia do edifício com os fatores climáticos locais, inclusive com as ilhas de calor, bem como, com o próprio desenho do edifício e do seu entorno:

“(...) existe uma relação entre a distribuição espacial da ilha de calor, tanto com a redução do consumo de energia por aquecimento, como com o aumento no consumo por resfriamento”.(SANTAMOURIS et al, 2001)

Dessa forma, essa pesquisa torna-se mais relevante, uma vez que busca estudar as relações entre geometria urbana e consumo de energia elétrica na cidade de Bauru-SP, dando continuidade aos trabalhos de Souza et al (2005) no aprofundamento do Projeto CEU – Consumo de Energia Urbano.

2.3 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O CONSUMO DE ENERGIA

De maneira geral, as pesquisas sobre eficiência energética, tendo em vista a preocupação em racionalizar o uso de energia elétrica, têm ênfase na escala do edifício ou na escala da cidade. O consumo de energia na **escala do edifício** foi estudado, por exemplo, por Carrières & Roriz (2005) em edifícios de escritórios, Papa; Jota & Assis (2005) em prédios públicos, Alucci & Bueno (2005) em fachadas de edifícios, enquanto as pesquisas de Assis (2002), Brandão & Alucci (2005), Souza et al (2005) estudaram o consumo de energia tendo em vista a preocupação com a **escala da cidade**, ou seja, com a interface do clima urbano.

No trabalho de Nakamatsu; Tsutsumi & Arakawa (2003) foi estudada relação entre o consumo de energia elétrica e o clima local no campus da Universidade de Ryukyu em Okinawa, Japão. Segundo os autores, muitos métodos de conservação de energia são aplicados em vários tipos de construções, no entanto, é difícil observar tais aplicações em campus universitário, que significativamente consomem muita energia. Na universidade de Ryukyu consome-se 40MWh por semana de energia elétrica no inverno, sendo que no verão, quando se utilizam sistemas de condicionamento de ar, chegou-se a um aumento de 3,4MWh deste consumo. Esta relação foi verificada tendo em vista a temperatura do ar, que no verão era de cerca de 22°C, no entanto, nesta pesquisa não foi possível estimar os efeitos dos demais fatores meteorológicos (radiação solar, vento e precipitação) no consumo de energia.

Já em Tóquio, foi estudado o impacto dos painéis fotovoltaicos, utilizados para geração de energia elétrica em substituição aos combustíveis fósseis, reduzindo a emissão de CO₂, responsável pelo aquecimento global, em três tipos de construções: edifícios de escritórios, residências reforçadas por concreto e residências de madeira. Segundo Genchi et al (2003), apesar do material dos painéis absorverem mais radiação solar, aumentando a temperatura do ar, concluíram que o efeito na ilha de calor é desprezível. Já quanto ao consumo de energia para resfriamento, verificaram que a instalação destes painéis pode reduzir o consumo de energia para resfriamento em 2,7% nos edifícios de escritórios, em 5,2% nas residências de concreto e em 10% nas residências de madeira quando comparados com as edificações sem tal instalação.

A preocupação com o aquecimento global e o com consumo de energia, pode ser verificada no trabalho de Gonçalves; Nascimento & Maldonado (2005), em que foram apresentados alguns dos edifícios construídos em Portugal entre 2000 e 2003, que se candidaram ao “Prêmio DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios”. Conforme tais pesquisadores, este prêmio foi criado pelo Governo Português em 2002 para cumprir com o **Protocolo de Kyoto**, e incentiva a criação de um parque edificado sustentável, por fomentar a concepção de edifícios com alto grau de eficiência.

Ainda na escala do edifício, o trabalho de Mascarenhas & Nunes (2005) detectou que a redução no consumo de energia elétrica foi possível por meio de melhoramentos nas instalações elétricas, principalmente, em habitações populares com instalações precárias. Dessa forma, demonstrou-se a importância da manutenção dos equipamentos e instalações na redução do desperdício de energia.

Outro trabalho que ressalta a importância de **equipamentos eficientes** é a pesquisa de Pirró, Saraiva & Romero (2005) em edifícios de escritórios. Neste trabalho, eles chegaram ao resultado de que nestes edifícios, os equipamentos eficientes são mais determinantes na redução do consumo energético do que fachadas eficientes ou controle do ar. Para tanto, este estudo foi feito por meio da análise de projeto, aplicação de modelos teóricos, auditorias, pré e pós-ocupação e recorrendo também ao software *Energy Plus*.

Por outro lado, a qualidade do **projeto arquitetônico** também influi nas condições de conforto térmico das construções, como pode ser verificado na pesquisa de Almeida; Cabús (2005). Eles analisaram um conjunto habitacional em Maceió – AL e comprovaram que a falta de qualidade em tal projeto provocou solicitações dos usuários para a implantação de aparelhos de ar condicionado, filmes protetores nas janelas e toldos. Tais interferências, no caso de Brasília, acabam por descaracterizar os edifícios residenciais considerados “Patrimônio Nacional e Patrimônio Cultural da Humanidade” pela UNESCO (AMORIM; FLORES, 2005), além de aumentar o consumo de energia elétrica nestes edifícios residenciais.

E quanto à interface entre consumo de energia e a **ocupação do solo**, tem-se a pesquisa de Assis (2002), que analisou critérios de acessibilidade ao sol e à luz natural integrados nos chamados “envelope solar” e/ou “envelope de iluminação”. Esta pesquisa teve como objetivo viabilizar a aplicação destes instrumentos à legislação urbana, oferecendo alternativas para a demanda de consumo energético do setor residencial, que segundo a autora corresponde a mais de 70% da ocupação urbana.

Já Kikegawa et al (2003) desenvolveram um sistema de simulação com três modelos numéricos para avaliar o aquecimento urbano e o uso de energia para resfriamento na

escala da cidade: o 3 D Meso-escala Model (MM) é um modelo tridimensional das condições meteorológicas da meso-escala; o Urban Canopy Model (CM) é um modelo unidimensional das condições térmicas ao redor do edifício; e o Building Energy Analysis Model (BM) é um modelo que analisa a energia dos edifícios, sendo que o calor antropogênico é calculado baseado na temperatura do ar e na umidade ao redor do edifício. Estes modelos foram aplicados tanto no âmbito da meso-escala de Tokyo quanto de seus distritos urbanos, durante os dias ensolarados de agosto e setembro. Além disso, chegaram à conclusão de que a queda na temperatura reduz uma economia de 4 a 40% de energia consumida para resfriamento nas residências.

Na pesquisa de Brandão & Alucci (2005) foi apresentado um procedimento para previsão do impacto de uma nova edificação no acesso ao sol e à luz natural da vizinhança, permitindo estabelecer novos critérios de ocupação nas legislações urbanas.

O estudo sobre a geometria urbana também foi desenvolvido por Campos & Scheer (2005), na análise comparativa das fachadas norte e sul na ocupação do setor estrutural de Curitiba, em que demonstra que existe um contraste significativo nos índices de ocupação em relação à insolação.

Ainda nesta área de planejamento urbano de Curitiba, tem-se o trabalho de Krüger & Lima (2005), em que se procurou relacionar as diferentes características climáticas de 5 localidades da cidade com o consumo de energia das edificações, de modo a propor diretrizes urbanísticas mais adequadas a um clima urbano mais ameno.

Dessa forma, a grande crítica do trabalho de Assis (2002) sobre o clima urbano foi identificar que as políticas contemporâneas deveriam extrapolar a escala do edifício e entender o impacto da forma urbana na demanda de energia pelos edifícios. Sendo assim, segundo a autora, deveria haver mais estudos relacionando as matrizes energéticas da cidade, o estilo de vida e atividades dos habitantes e os impactos sobre o clima local.

2.4 A INFLUÊNCIA DO CLIMA URBANO NO CONSUMO DE ENERGIA

O aumento da urbanização, além de estar associado a um maior consumo de energia, gera mudanças ambientais que são percebidas especialmente por meio do clima:

“A população do Brasil aumenta, e cada vez mais as pessoas concentram-se nos centros urbanos, modificando o clima em decorrência desta urbanização interna. As grandes superfícies de pavimento e de concreto, a presença de edifícios altos localizados próximos entre si, a emissão de calor de condicionadores de ar e outras fontes de calor e de poluição contribuem

para a modificação do clima urbano. As condições atmosféricas modificadas na cidade influenciam os consumos de energia” (MASCARÓ, 1985).

O clima urbano é resultado da própria ação do homem sobre o meio. Caracteriza-se como um sistema climático específico das cidades, sendo influenciado pelas características térmicas dos materiais que compõem as superfícies urbanas. Para Bustos & Romero (2001) o clima urbano é a modificação substancial de um clima local e para Schiller (2001) as variações significativas no clima urbano são efeitos da conformação da malha urbana.

“Assim, o clima pode ser definido como a feição característica e permanente do tempo, num lugar, em meio a suas infinitas variações”.(MASCARÓ, 1985)

Para Chandler (1976), o clima urbano deve ser considerado em várias escalas: clima regional, a escala das modificações devido à orografia (relevo-altitude) e a escala das modificações provocadas por edificações ou grupos dessas. A **macroescala** está relacionada às propriedades meteorológicas da região, sendo os dados macroclimáticos descritos por insolação, temperatura, umidade, precipitações, nebulosidade e ventos, caracterizando o clima geral de toda uma região. A **mesoescala** se relaciona com as modificações provocadas pela orografia, descrevendo as modificações do macroclima ocasionadas pelos elementos topográficos do local, como vales, montanhas, massas de água, vegetação, entre outros. Já a **microescala** está voltada para as edificações, que interferem no microclima de seu entorno, ou seja, são levados em conta os efeitos que as ações humanas causam sobre o entorno, assim como também a influência que estas transformações exercem sobre o meio ambiente dos edifícios.

Muitos são os **efeitos da urbanização** capazes de influenciar o clima, sendo que os mais importantes são: uso da terra, padrões de edificação, áreas verdes e espaços abertos, morfologia e estrutura urbana, configuração vertical, densidade demográfica e de construção, intensidade de fluxo de veículos automotores e de pedestres.

Esses efeitos são, principalmente, notados por meio da distribuição térmica do ar urbano, que apresenta uma tendência de aumento de temperatura nas cidades em relação a sua periferia (rural), conforme figura 2.1. A substituição da cobertura das superfícies naturais, formada por materiais orgânicos, pela cobertura urbana, gera diferenças significativas nas condições ambientais, como “o aumento da reflexão da radiação solar, maior emissividade de radiação infravermelha, maior capacidade térmica e mais secas” (FARIA & SOUZA 2004), produzindo, em maior ou menor grau, o fenômeno da “ilha de calor”.

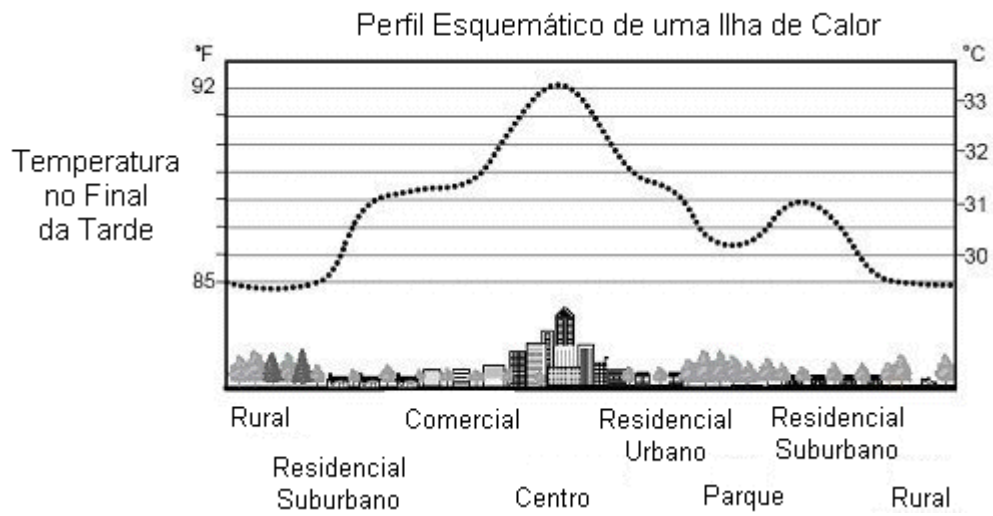


Figura 2.1 Aumento da temperatura na cidade.

Fonte: Adaptado de Technology Scanning Issues (2001)

As principais alterações climáticas produzidas pelas cidades são especificadas por Landsberg (1981), conforme tabela 2.2.

TABELA 2.2 Alterações climáticas locais produzidas pelas cidades.

ELEMENTOS	OBSERVAÇÃO	COMPARAÇÃO COM AMBIENTE RURAL
Radiação	Total sup. horizontal ultravioleta, sol baixo ultravioleta, sol alto duração insolação	10-20% menos 30% menos 5% menos 5-15% menos
Brilho sol (h)		5-10% menos
Poluentes	núcleos de condensação partículas em suspensão misturas gasosas	10 vezes mais 10 vezes mais 5-25 vezes mais
Nebulosidade	nuvens névoa (inverno) nevoa (verão)	5 a 10% mais 100% mais 30% mais
Precipitação	total dias com <5mm queda de neve, na cidade neve no limite da cidade tempestades	5 a 15% mais 10% mais 5 a 10% menos 10% mais 10 a 15% mais
Temperatura	média anual mínima de inverno máxima de verão dias uso aquecimento	0,5 a 3 C mais 1 a 2 C mais 1 a 3 C mais 10% menos
Umidade Relativa	média anual inverno verão	6% menos 2% menos 8% menos
Velocidade dos Ventos	média anual rajadas máximas calmarias	20 a 30% menos 10 a 20% menos 5 a 20% mais

Fonte: Landsberg (1981)

Por outro lado, segundo Mascaró (1985), os fatores climáticos que afetam o **desempenho térmico do edifício**, ou seja, que influem na taxa de ganhos ou perdas de calor dos edifícios são: diferença entre temperatura exterior e interior; localização, orientação, forma e altura do edifício; características do entorno natural e construído; ação da radiação solar e térmica e as características da envoltória dos edifícios; ação do vento sobre as superfícies interiores e fachadas dos edifícios; desenho e proteção das aberturas para iluminação e ventilação; e localização estratégica dos equipamentos de climatização artificial.

Assim, qualquer intervenção no meio urbano e gestão, para aperfeiçoarem o uso de energia, requerem o estudo das possíveis **interações entre o clima, a forma de implantação e ocupação do edifício**.

2.4.1 A ILHA DE CALOR

Uma das mais conhecidas conseqüências do aumento da massa construtiva que acompanha o crescimento da cidade é a formação de “**ilhas de calor**”. Para Santamouris et al. (2001) e Williamson & Erell (2001), a distribuição espacial das ilhas de calor não só reduz o consumo de energia para aquecimento, como também aumenta a carga térmica de resfriamento requerida para o condicionamento do ambiente interno.

Se por um lado, a refrigeração e o aquecimento artificiais podem trazer o conforto ao usuário, por outro, acarretam o aumento no consumo de energia. Assim, o condicionamento natural das edificações deve ser solucionado nos projetos de arquitetura considerando a configuração da malha urbana, criando dessa forma uma resposta térmica da edificação, e conseqüentemente, da forma como o usuário consome energia para alcançar o conforto interno das edificações.

“As superfícies de pedra, asfalto e concreto da cidade absorvem e armazenam muito mais calor que a vegetação e a terra. Durante o dia, essas superfícies absorvem radiação solar e, à noite, esfriam-se lentamente. Além disso, os edifícios tendem, geralmente, a reduzir as correntes de ar nos centros urbanos, diminuindo também o esfriamento das superfícies do entorno por convecção. A ilha térmica atinge temperaturas maiores nas áreas densamente povoadas e de grande industrialização, e desce gradualmente para as áreas suburbanas. A ilha térmica geralmente é pequena e pode ser detectada durante o dia, no verão. (MASCARÓ, 1985)

Segundo Oke (1972) e GIVONI (1989), as **principais causas** da ilha de calor são: acúmulo de energia solar na massa dos edifícios da cidade durante o dia e cedida para o ambiente durante a noite (não tendo índices satisfatórios de resfriamento noturno); maior geração de calor pelas atividades desenvolvidas (transporte, indústria); baixa evaporação do solo impermeável; poluição, que absorve mais ondas curtas e reflete mais ondas longas; propriedades térmicas das superfícies usuais urbanas; e, geometria e disposição dos edifícios.

Já para Landsberg (1974), o principal causador da ilha de calor é a alteração no balanço de energia, que é o resultado do movimento de radiação entre a Terra, o Sol e o ar. Representa a diferença entre as radiações recebidas e devolvidas ao espaço pela superfície terrestre, depois de sua interação com o ar. O balanço de energia é complexo, envolvendo fatores como o albedo da superfície, a radiação de ondas longas, que chegam à superfície e que a deixam, a transferência de calor entre a atmosfera e o solo, a perda de calor por evaporação ou ganho por condensação, e a produção ou descarga de calor de fontes antropogênicas.

Destaca-se aqui que o céu funciona como elemento primordial no balanço de energia, apresenta temperaturas mais baixas que a superfície terrestre e recebe as radiações longas provenientes da superfície terrestre, provocando o resfriamento dessas superfícies. Assim, obstruindo-se o horizonte de uma área urbana, perde-se a capacidade de resfriamento de tais superfícies.

Toudert & Bensalem (2001) complementam que a geometria urbana é responsável pelo clima urbano global, particularmente pelo aparecimento da ilha de calor, pelo sistema de ventos e armazenamento de calor no edifício, modificando o balanço de energia e os efeitos da obstrução do sol e do vento.

“A ilha de calor configura-se como um fenômeno decorrente do balanço de energia no espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies e conseqüente elevação da temperatura do ar” (SOUZA, 1996, p. 15).

Um dos fatores mais importantes no balanço de energia é a radiação solar. As áreas impermeáveis aceleram o escoamento da água, reduzindo o processo de evaporação do material e assim a radiação solar absorvida por ele é rapidamente convertida em calor, aumentando sua temperatura e a de seu entorno. As edificações interferem na quantidade de radiação solar que atinge as superfícies da estrutura urbana, pois causam obstruções e sombreamento. Este acesso solar é ainda influenciado pela poluição do ar.

Por outro lado, as edificações funcionam como um espaço de armazenamento de radiação de ondas curtas, provocando múltiplas reflexões de raios solares (aumentando a energia solar absorvida). O calor perdido por ondas longas produz o resfriamento das superfícies e do ar adjacente. Logo, quanto maior a área de céu visível, maior a troca de calor entre superfícies e espaço.

O estreitamento de vias também é um importante fator nesse processo. Quanto mais estreitas são as vias, mais isoladas em termos de troca de calor com a atmosfera, ou seja, apresentam menor possibilidade de renovação do ar no espaço entre edificações. Isto é proveniente da dificuldade de penetração de correntes de vento nestas áreas.

A topografia é outro determinante da forma e direcionamento do fenômeno da ilha de calor, podendo dificultar ou facilitar a chegada das radiações solares de um determinado local. Também o movimento do ar é um fator relevante na formação da ilha, pois, dependendo da sua velocidade, pode até superar o fluxo de radiação, eliminando-as

Estudos de Lombardo (1985) indicam que a densidade construtiva e a ocupação do solo estão também relacionadas à intensidade da ilha, pois os maiores gradientes de temperatura naquele estudo corresponderam a bairros industriais, centros, e bairros com alto coeficiente de ocupação de lotes.

Logo, as temperaturas urbanas apresentam grande influência no consumo de energia elétrica para condicionamento das edificações. O padrão de ventilação e as temperaturas em “canyons” urbanos afetam o potencial de aproveitamento de estratégias de resfriamento passivas como a ventilação natural, aumentando a necessidade de condicionamento do ar. Para Mascaró & Mascaró (1992), a diferença entre a temperatura de conforto e a temperatura do ambiente nas cidades brasileiras não é grande e mesmo a abóbada celeste é bastante luminosa, colocando o Brasil numa posição favorável sob o ponto de vista de redução do consumo de energia.

2.4.2 A FORMA DE IMPLANTAÇÃO E OCUPAÇÃO DO EDIFÍCIO

A orientação do edifício influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebida, e conseqüentemente, no consumo de energia, segundo Mascaró (2005):

“Um edifício bem-orientado consome mensalmente em média, 1.3 kWh de energia operante por metro quadrado de superfície de apartamento. Enquanto numa má orientação com as fachadas principais expostas à maior carga térmica possível, o edifício consome 1.9 kWh”.

A figura a seguir (figura 2.2) representa um gráfico da orientação dos edifícios em função da radiação solar. Este gráfico foi calculado para prédios de dez andares com 2.000 m² de área construída, com relação de lados de 4:1, em Porto Alegre. Para Mascaró (1985), o aumento do consumo energético é de 46% devido à má orientação dos mesmos.

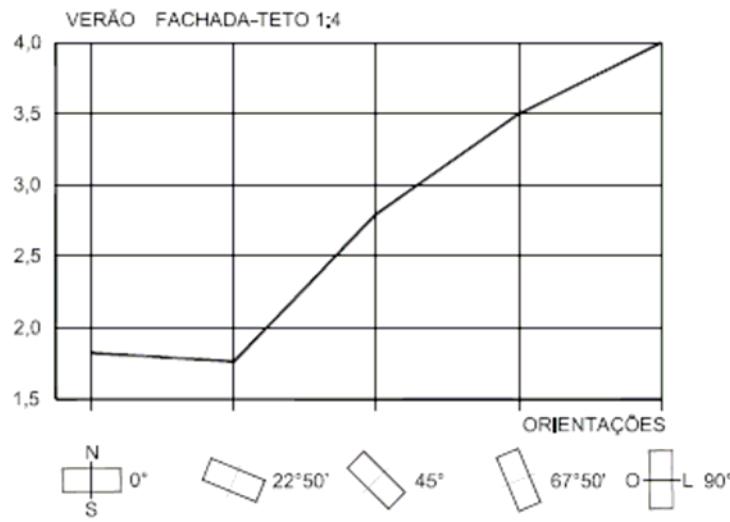


Figura 2.2 Gráfico da orientação em função da radiação solar.

Fonte: MASCARÓ, 1985, p. 21

No entanto, esta orientação está diretamente relacionada à forma do edifício, conforme figura abaixo (figura 2.3), ou seja, à medida que a forma se torna mais compacta, a carga térmica recebida pelo edifício aumenta, sendo máxima quando a orientação das fachadas principais é leste-oeste e o edifício é alongado (MASCARÓ, 1985).

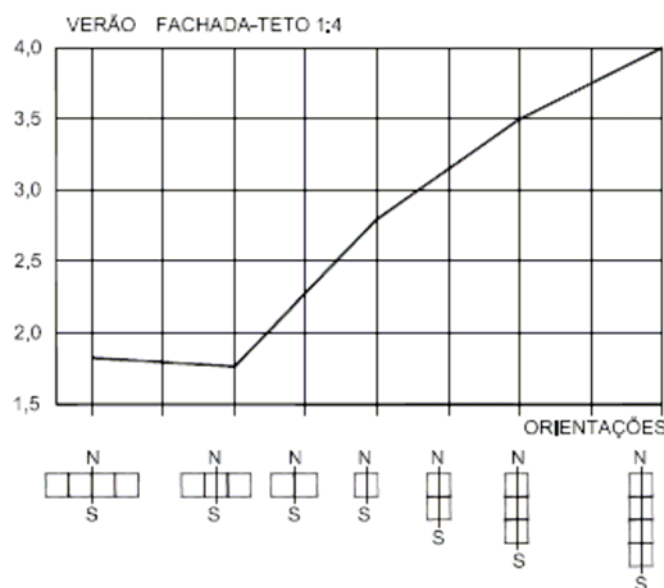


Figura 2.3 Gráfico da variação da carga térmica recebida por um edifício em função de sua forma.

Fonte: MASCARÓ, 1985, p. 23

Assim, o consumo do edifício está diretamente relacionado às condições do entorno e, conseqüentemente, às influências da ilha de calor. Souza, Leme & Pedrotti (2005) também observaram as relações entre o consumo de energia de um bairro residencial na cidade de Bauru-SP, objeto do presente estudo, estas são destacadas nas tabelas 2.3 e 2.4.

TABELA 2.3 Relação entre o consumo de energia elétrica e o comportamento da temperatura do ar.

Faixas de consumo mensal	Ampl. Temp. Ar (°C) diário	Ampl. Temp. Superf. (°C)	Temp. Média Ar (°C)
Abaixo de 162 kWh	13.28	14.30	28.90
Entre 162 e 288 kWh	14.30	15.30	29.60
Acima de 288 kWh	14.49	15.70	29.50

Fonte: Souza; Leme; Pedrotti (2005)

Verifica-se que a faixa de consumo mais baixa refere-se à de menor amplitude (cerca de 1°C de diferença para a faixa intermediária), tanto do ar quanto de superfície. Já as faixas de consumo médio e aquela acima de 288 kWh por mês tendem a uma temperatura mais igualada entre si.

Nesse mesmo estudo foram ainda verificadas as orientações das vias estudadas e os respectivos consumos de energia elétrica das edificações nelas implantadas. O bairro estudado apresenta apenas dois tipos de orientação de vias: vias implantadas a 60° ou a 150° em relação ao Norte. A tabela 2.4 apresenta os resultados alcançados:

TABELA 2.4 Orientação das vias e o consumo de energia

Orientação	Consumo Médio (kWh/mês)	Consumo Verão (kWh/mês)	Consumo Inverno (kWh/mês)
60°	299	317	294
150°	198	199	211

Fonte: Souza; Leme; Pedrotti (2005)

A orientação de 60° em relação ao Norte (ou seja, vias implantadas sobre o eixo NE-SO) apresentou um consumo de 34 % maior do que a orientação de 150° (ou seja, vias implantadas sobre o eixo NO-SE). Já as temperaturas médias não apresentaram diferenças significativas.

As orientações à 60° apresentaram consumo de 7% maior no verão do que no inverno, enquanto que as orientações à 150° apresentaram consumo de 6% maior no inverno do que no verão.

A forma, orientação, implantação e distribuição das edificações no tecido urbano influenciam, portanto, fortemente na formação dos microclimas urbanos e, consequentemente, no consumo de energia.

Souza & Montanari (1999) e ainda Souza & Silva (2001) indicam, por exemplo, a grande influência da orientação de unidades residenciais no consumo de energia. Dando continuidade aqueles estudos Souza & Pizarro (2001), avaliaram unidades habitacionais com orientações entre 30° e 125° em relação ao Norte. Para o consumo de inverno/m², o ângulo responsável pelo maior consumo correspondeu a unidades habitacionais com fachadas próximas a orientação de 100° ao Norte. O ângulo de 30° ao Norte constituiu-se como o de menor consumo. O aumento encontrado entre unidades voltadas a 30° e a 100° representou 83% para o consumo/m² no inverno e apenas 6% no verão.

Baseada nos estudos de Bustos Romero (2001), Torres (2006) destaca observações importantes sobre os espaços urbanos, conforme os diferentes tipos de clima, e segundo a autora:

- Quando os ventos predominantes forem perpendiculares às ruas, estas devem possuir largura suficiente que garanta a ventilação a sotavento. A justaposição das edificações ao longo das vias pode barrar os ventos diminuindo sua contribuição para ventilação urbana;
- Edificações com alturas variáveis, torres esbeltas e espaçadas contribuem para melhoria da ventilação urbana;
- Para climas quentes e secos a ventilação tem menor importância do que a proteção contra a radiação direta do sol, por isso, ruas estreitas, reflexão das superfícies e sombreamento provocado pelas edificações são fatores desejáveis. O gabarito deve ser uniforme e a orientação das ruas deve ser no sentido leste-oeste;
- A estratégia da presença de corpos de água pode influir na moderação da temperatura, que além de incrementarem a umidade, pela sua alta capacidade de armazenar calor, gera brisas locais próprias pelo aquecimento diferenciado terra/água;
- O uso de vegetação produz sombreamento e sua transpiração aumenta a umidade próxima reduzindo a temperatura do ar e do solo.

Quando a malha urbana é densa e com algumas edificações altas, pode ser criado sombreamento no passeio público, por outro lado, grandes áreas pavimentadas podem gerar desconforto pela alta absorção de radiação próxima ao solo.

Contudo, além da configuração urbana, as características dos próprios edifícios são elementos primordiais para o desempenho térmico do edifício e conseqüente eficiência energética.

Estas técnicas mais eficientes em desempenho térmico das edificações são encontradas também na NBR-15220-3 (ABNT 2005). Esta norma foi desenvolvida com o auxílio de comitês técnicos formados por especialistas em conforto ambiental, que propuseram uma metodologia para o zoneamento bioclimático brasileiro, diferenciando as regiões climáticas e trazendo recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto.

Contudo, cabe ressaltar que além da configuração urbana das cidades, os equipamentos de eletrodomésticos também devem ser considerados na análise sobre o consumo de energia elétrica das edificações, seja pela sua implantação/localização ou utilização. Além disso, a grande quantidade de energia usada nas áreas urbanas se transforma nas maiores fontes indiretas de produção de gases causadores do efeito estufa (ASSIS, 2005).

Cabe concluir que é importante que a Ergonomia Urbana se preocupe em garantir o conforto do usuário e na crescente demanda por soluções de moradias mais sustentáveis. E considerando que o céu funciona como elemento primordial no balanço de energia, o próximo capítulo entra na questão do Fator de Visão do Céu, definindo suas bases conceituais e o método a ser adotado para sua quantificação e introduz alguns conceitos sobre Redes Neurais Artificiais.

CAPÍTULO 3

FERRAMENTAS ESPECÍFICAS

“A fonte primária de luz para iluminação natural é o sol; sua radiação luminosa filtrada por ocasião de sua passagem pela atmosfera terrestre e pelas moléculas gasosas e pela poeira em suspensão no ar. Mas, do ponto de vista da iluminação natural, a fonte de luz diurna considerada é a abóbada celeste, excluída a luz solar direta sobre os locais de trabalho, devido a sua enorme capacidade luminosa e calorífica, nos climas temperados ou tropicais, e por sua ocasionalidade nos climas frios” (MASCARÓ, 1985)

Este estudo propõe continuidade da metodologia aplicada por Souza (2003) no PROJETO CEU – Consumo de Energia Urbana, onde o fator de visão do céu é um dos principais focos de estudo. Por esta razão, este capítulo descreve os procedimentos metodológicos, dando especial atenção à determinação do FVC e sua importância.

Além disso, uma das ferramentas consideradas nessa pesquisa é a técnicas das Redes Neurais Artificiais. Por isso esse capítulo também descreve essa ferramenta de Inteligência Artificial.

3.1 FATOR DE VISÃO DO CÉU

O fator de visão do céu (FVC) é um parâmetro adimensional também chamado de fator de configuração ou ainda fator angular, tendo sido utilizado por vários autores, como Steyn (1980), Oke (1981), Johnson and Watson (1984), Barring, Mattsson and Lindqvist (1985), Souza (1996 e 2003), Ratti and Richens (1999), Chapman (2000), e Chapman et al. (2001), dentre outros. É um fator que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e que representa uma estimativa da área visível de céu. Esta unidade pode ser relacionada com o fluxo de radiação, sendo definida como a razão entre a radiação do céu recebida por

uma superfície plana e aquela proveniente de todo ambiente radiante. O fator de visão do céu é uma das principais causas da ilha de calor urbana, porque o resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível a partir desta superfície. O céu, com sua temperatura normalmente inferior a da superfície terrestre, é elemento essencial no balanço de energia. O céu “recebe as radiações de ondas longas emitidas pelo solo terrestre, que conseqüentemente perde calor, diminuindo sua temperatura” (SOUZA, 1996).

O FVC é uma estimativa geométrica da fração visível do céu, considerando a “obstrução” feita pelos obstáculos do entorno (Figura 3.1).

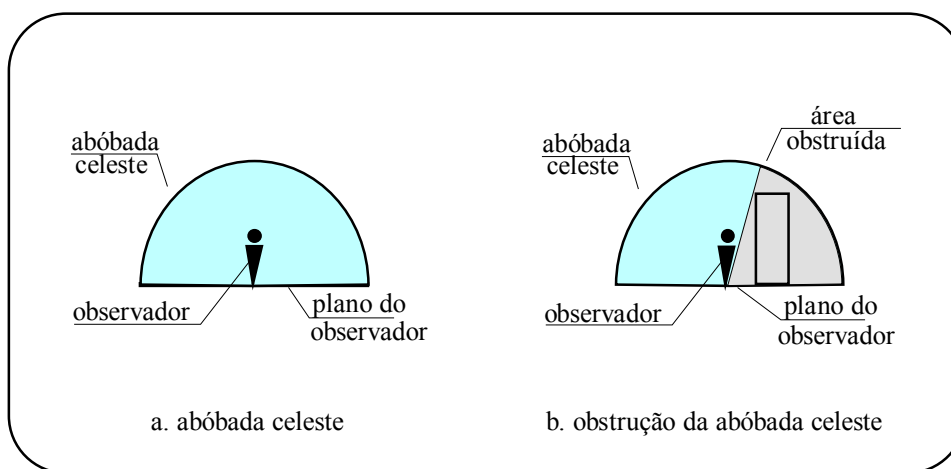


Figura 3.1 A abóbada celeste e a obstrução que as edificações causam

Fonte: SOUZA (1996)

Em termos geométricos, qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano, pertencente ao plano do observador posicionado na camada intra-urbana, representa uma obstrução à abóbada celeste. A sombra (projeção) dessa edificação representa uma porcentagem de subtração da abóbada celeste ou fração do céu para o observador (ou ainda, representa a parte obstruída do fluxo de radiação, tendo o observador como referência). Seu valor numérico é sempre menor que a unidade, pois dificilmente se encontram regiões urbanas, que não apresentem nenhuma obstrução do horizonte (situação para a qual seu valor seria a unidade).

Explorando as relações entre o fator de visão do céu e o ambiente térmico urbano, o estudo de Blankenstein & Kuttler (2003) relaciona o FVC com a quantidade de radiação de onda longa (radiação relacionada ao espectro de emissão terrestre). Aquele estudo mostra que essa radiação chegou a aumentar 27,3% onde o FVC era de aproximadamente 0,4, ou seja, o houve uma quantidade adicional de ondas longas armazenadas como resultado da configuração dos edifícios.

Apesar de existir um consenso de que o FVC (Fator de Visão do céu) é um fator importante no balanço energético e nas temperaturas da cidade, nem todos os estudos conseguem provar isso, como mostra a pesquisa de Svensson (2004). Em seus estudos, ela utiliza fotos tiradas com lentes olho-de-peixe (Figura 3), na altura do chão e do pedestre e mostra que a melhor opção é a primeira para uma maior correlação entre os pontos.

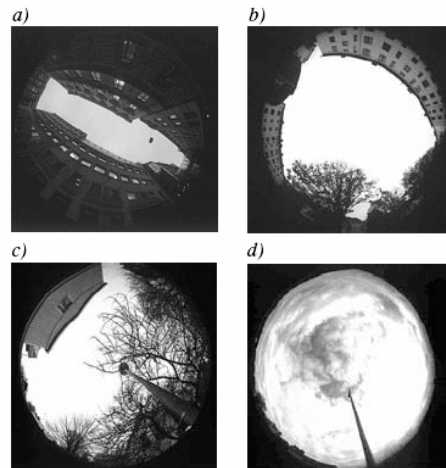


Figura 3.2 Foto a partir de lentes olho-de-peixe de 3 diferentes ambientes urbanos: (a) denso, (b) multi-familiar, (c) residências unifamiliares. A foto (d) é de uma estação que representa uma área aberta

Fonte: Svensson, 2004.

Sobre esse assunto, vale salientar que muitas vezes as influências da área urbana na temperatura do ar apresenta ordem de grandeza diferenciada em função das diferentes situações climáticas, sob diferentes tipos de tempo. O clima urbano é parte de um grande sistema, conforme proposto por Monteiro (1976) em sua metodologia brasileira e resgatada em Monteiro & Mendonça (2003).

O FVC é uma das causas do fenômeno da ilha de calor urbana, devendo ser estudado com a preocupação de sua influência neste sistema. É importante aqui esclarecer que as pesquisas de clima urbano necessitam de um detalhamento prévio das diferenças do sítio e uso do solo, identificando-se quais são os “bolsões” climáticos intra-urbanos diferenciados, para que se possa realmente obter informações significativas. Monteiro e Mendonça (2003) em sua pesquisa sobre a cidade de Londrina, chegou à conclusão que a maioria dos locais mais aquecidos era representado por aqueles de mais densa urbanização e poucos espaços verdes, não sendo necessariamente o centro urbano, chegando a encontrar algumas relações entre a topografia e a exposição de vertentes daquela cidade.

O estudo do FVC e da geometria urbana está ligada não só a temperaturas, mas também à capacidade de dispersão de poluentes e influência no movimento do ar, que por vezes forma túneis de vento decorrentes da conformação da malha urbana e do uso do solo.

Trabalhando diretamente com o FVC em situação brasileira, Souza (1996) estudou a relação entre o FVC e a temperatura do ar, tendo constatado apenas uma pequena relação para a área estudada, acreditando que esta se deva à intensa ventilação na área estudada dentro da malha urbana daquela cidade.

Dentro desta mesma linha, Santos, Lima & Assis (2003) estudaram o FVC e a massa construída como parâmetros para o planejamento urbano na cidade de Belo Horizonte.

Também como exemplo de estudo em cidade brasileira, Souza et al (2005) verificam com o PROJETO CEU a influência da geometria urbana no consumo de energia elétrica, utilizando-se do FVC como parâmetro de estudo.

3.1.1 A EXTENSÃO 3DSKYVIEW

Para que o cálculo do FVC, Souza, Rodrigues & Mendes (2003) propuseram a criação da extensão 3DSkyView. Trata-se de uma rotina que calcula o fator de visão do céu através de sua incorporação a um SIG (Sistema de Informações Geográficas) denominado ArcView. Disponibilizada em site da ESRI (www.esri.com) para download, para a aplicação da extensão 3DSkyView é necessário que os arquivos estejam preparados de forma a que os elementos urbanos estejam representados por polígonos e os atributos referentes à elevação (nível do polígono) e à altura (coordenada Z do polígono) estejam pré-definidos. Por outro lado, as coordenadas X (ordenada) e Y (abscissa) dos polígonos são identificadas automaticamente, não havendo necessidade de serem extraídas preliminarmente. Em caso de arquivos gerados em CAD existem sub-rotinas específicas que podem transformar linhas em polígonos. No processo de simulação do 3DSkyView os seguintes passos são destacados:

Ao final do algoritmo é possível obter-se os seguintes resultados: cálculo de FVC; projeção estereográfica da cena; projeção ortográfica da cena; visualização de toda a cena (abóbada celeste e solo) em 3D. Através da interface com o usuário do 3DSkyView, o processo de simulação é iniciado. Para o usuário existem quatro tipos de informações necessárias: informações de processamento; informações sobre o observador, informações sobre os polígonos e raio de projeção. As informações sobre o processo referem-se à identificação de nomes de arquivo e localização (path). As informações quanto ao observador requerem a identificação de colunas da tabela de conteúdo que informem os atributos do observador, tais como, altura (coordenada Z) e elevação (nível do solo). Como a camada contendo o observador já deverá estar pré-selecionada, as coordenadas XY já se

encontram automaticamente identificadas na janela de interface. A informação sobre os polígonos corresponde aos atributos das edificações, cujo tema também já deve se encontrar pré-selecionado. O usuário deverá informar as colunas que contenham a altura e a elevação destes polígonos. E por fim é informado o raio do círculo desejado para que as projeções estereográfica e ortográfica sejam geradas.

Os tipos de resultados obtidos com a simulação do 3DSkyView podem ser verificados nas figuras abaixo apresentadas extraídas de Souza et al (2003).

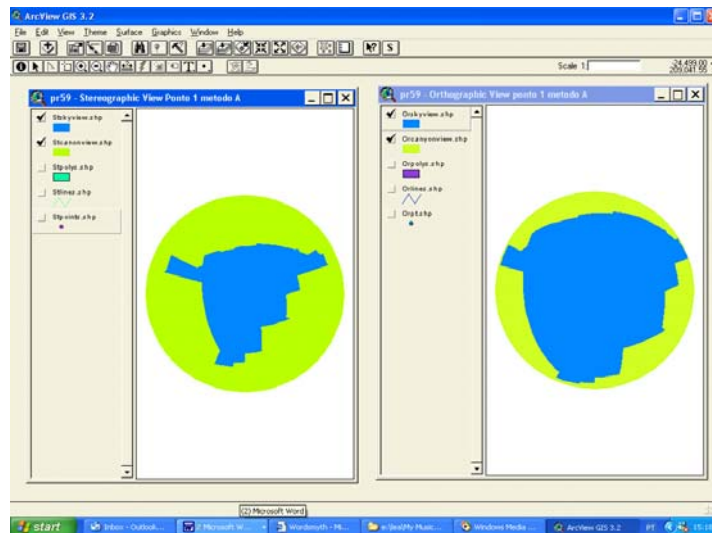


Figura 3.3 Projeção estereográfica e projeção ortográfica no plano horizontal do cenário simulado
Fonte: SOUZA (1996)

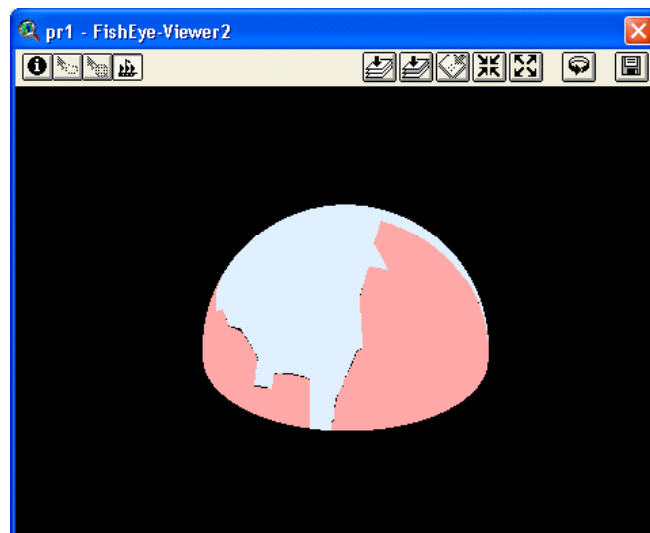


Figura 3.4 Cenário simulado em superfície hemisférica 3D.
Fonte: SOUZA (1996)

QUADRO 3.1 Quadro de resultados numéricos com o valor da FVC

SkyArea	CanyonArea	VisiSky	SVF
353.2500	118.9872	234.2627	0.66316

Fonte: Souza (2006)

Hoje a extensão 3DSkyView encontra-se em sua 3a versão, permitindo não só a simulação de vários observadores simultaneamente, como também a visualização da trajetória solar para as diversas épocas do ano.

3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Uma das etapas metodológicas deste trabalho é a aplicação das Redes Neurais Artificiais (RNAs) – do inglês Artificial Neural Network (ANN). Essas são aqui utilizadas para desenvolvimento de um modelo que permita identificar variáveis relevantes e suas relações na determinação do consumo de energia em uma edificação.

Sendo uma sub-especialidade da Inteligência Artificial (IA), as Redes Neurais Artificiais (RNA) consistem em modelos computacionais que oferecem uma analogia com o funcionamento dos neurônios do cérebro humano no processo de recuperação e aquisição de conhecimento (figura 3.4), como apontado por Pizarro, 2005. As RNAs têm por objetivo fornecer subsídios para que o computador identifique padrões, a partir de um conjunto de situações conhecidas (variáveis de entrada), e indique suas relações com uma variável de saída. Silva et al. (2004) demonstram detalhadamente a eficiência desse método e algumas de suas aplicações.

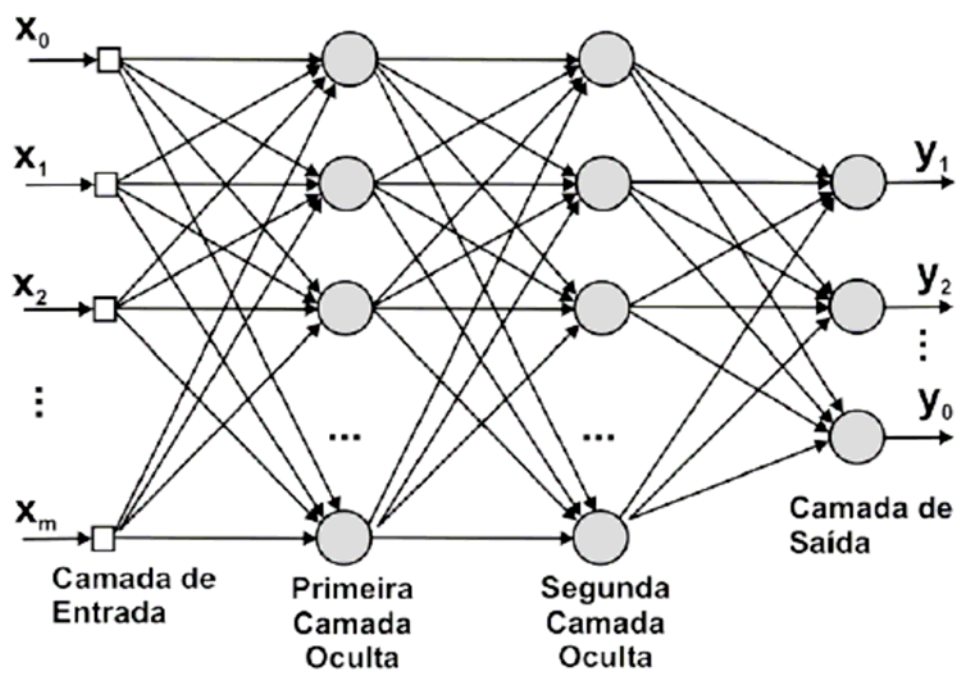


Figura 3.3 Exemplo de Rede Neural Multilayer, analogia a Rede Neural Biológica.

Fonte: BARBOSA (2005)

Como não há necessidade do conhecimento prévio das relações entre as variáveis envolvidas, a modelagem através de redes neurais artificiais aparece como um substituto potencial aos modelos estatísticos convencionais.

Barbosa et al. (2005) aponta as seguintes vantagens na aplicação das RNAs:

- Tolerância a falhas, que permite que as redes continuem gerando resultados aceitáveis, no caso de falha de algum neurônio. A informação contida na rede esta distribuída por todos os seus elementos, possibilitando que mesmo que parte da rede seja destruída, exista a possibilidade de recuperação da informação distribuída pelos outros elementos;
- Generalização, que permite à rede obter saídas adequadas como resposta a dados desconhecidos (não pertencentes ao conjunto de treinamento);
- Capacidade de aprendizagem, processo que envolve a modificação dos pesos sinápticos de uma rede através da aplicação de um conjunto de pares de treinamento, para os quais se conhece, previamente, a saída que se deseja obter. O treinamento se repete até que os pesos não sofram mudanças significativas;
- Habilidade de Aproximação, com a capacidade de aprendizado, a rede pode encontrar qualquer mapeamento entrada/saída. Desde que os dados sejam representativos do processo do que se esteja tratando e desde que sejam

adequadamente escolhidos a arquitetura de rede e o seu algoritmo de treinamento, as redes são capazes de aproximar funções contínuas de ordem qualquer.

Os principais componentes dos modelos de RNA são citados por SILVA et al. (2004) como sendo: conjunto de elementos de processamento, estado de ativação, função de saída para cada elemento de processamento, ligações entre elementos de processamento; propagação e função de combinação; ativação, aprendizagem; ambiente onde o sistema opera.

Segundo Silva et al. (2004) pode-se definir uma RNA como um sistema constituído por elementos de processamento interligados, chamados de neurônios artificiais, que são dispostos em camadas e são responsáveis pela não-linearidade da rede, através do processamento interno de funções matemáticas.

Assim, as RNAs aprendem com exemplos, pela sua capacidade de convergência (a rede aprende um determinado conjunto de dados definido no procedimento de treinamento), e pela sua capacidade de generalização (a rede reconhece certos padrões), possuindo regras de aprendizagem que são responsáveis pelos pesos sinápticos modificados a cada ciclo de iteração.

A aprendizagem é um processo desenvolvido a partir de um algoritmo específico, que através de exemplos reais adquire o conhecimento dos padrões, criando então um modelo matemático, capaz de simular variáveis de saída para outros dados de entrada que sejam a ela submetidos, depois de treinada uma rede com dados reais conhecidos. A rede se desenvolve por nós e camadas.

Os dados de entrada formam um conjunto de regras definidas para que a rede aprenda uma determinada função. A aprendizagem pode ser dividida em 2 tipos: a aprendizagem supervisionada e a não supervisionada.

Na aprendizagem supervisionada, o processo exige um supervisor, ajustando parâmetros e pesos, de forma a minimizar erros. Na aprendizagem não supervisionada, normalmente aplicável a um conjunto de dados com grande número de dados de entrada, a rede aprende por si só. Através dos dados reais de entrada, extrai características estatisticamente relevantes e cria parâmetros automaticamente.

A condição para aplicação das RNAs é conhecer um conjunto de exemplos reais ou casos históricos de um determinado dado, mas não conhecer as regras sistemáticas ou relações que descrevam completamente o problema.

As seguintes etapas são importantes na aplicação das redes neurais: treinamento, validação e teste. A etapa de treinamento compreende o procedimento pelo qual o algoritmo estabelece as relações entre as variáveis. Na etapa de validação, o algoritmo testa as relações por ele criadas no treinamento. Para a etapa de treinamento e validação, são

utilizados dados reais conhecidos, para que o software possa identificar padrões e gerar o modelo. Tanto variáveis de entrada, como variáveis de saída são reais. A partir do treinamento com esses dados reais, o padrão é identificado e o software desenvolve automaticamente o modelo matemático interno e estabelece o processo de validação de seus dados. Na fase de teste, após criada a rede, é feita uma simulação com o modelo, gerando novos valores para as variáveis de saída.

Na prática, para verificação do desempenho do modelo gerado, é importante que na fase de teste se conheçam também os dados de saída reais, apenas para que possa ser estabelecida uma comparação entre o que o modelo simula e o dado real e assim ser estabelecido o seu erro relativo.

Uma vez feita a verificação entre os dados reais e os simulados, e constatada a sua viabilidade, o modelo pode ser então utilizado para gerar dados projetados, desde que esses dados estejam compreendidos entre os valores máximos e mínimos dos dados que serviram para a geração do modelo.

Dentre os vários tipos de RNA existentes, as redes Multilayer Perceptron (MLP) são as mais utilizadas. Para a aplicação dessa metodologia existem diversos softwares no mercado, sendo aqui proposta a utilização do Easy NN versão 6.0, desenvolvido por Stephen Wolstenholme, com a finalidade de criar, controlar, treinar, validar e testar redes neurais artificiais.

Para uma revisão detalhada sobre as RNAs pode ser consultada a obra de SILVA et al. (2004).

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Vários trabalhos publicados nos Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído entre 1990 a 2005, como os de Santos; Carvalho; Silva (2005), demonstraram a necessidade de incentivo à pesquisa de campo, especificamente APO, mediante a forte participação de pesquisas baseadas apenas em simulações e modelagens. No entanto, cabe ressaltar que:

“As metodologias empregadas em APO no Brasil, envolvem grandes equipes, apresentam custos elevados, e no caso de APO ligada ao conforto ambiental, demandam um período relativamente grande de tempo dedicado a medições “in locu” e levantamentos técnicos. Esse fato apresenta-se como grande empecilho à sua sistematização e implementação” (FERREIRA, 2005).

A presente dissertação pretende contribuir através de sua inserção e participação em mais uma etapa do Projeto CEU (Consumo de Energia Urbano). Seu objetivo é estudar a Influência da Geometria Urbana no Consumo de Energia Elétrica em Edificações.

Para concretização dos objetivos propostos por essa dissertação, foram retomadas as pesquisas já realizadas pelo projeto citado anteriormente, buscando através de levantamentos bibliográficos maior fundamentação sobre o assunto e pesquisando materiais com argumentação teórica relativa a geometria urbana, conforto ambiental e consumo de energia elétrica.

Concomitantemente, foram realizados o reconhecimento da cidade de Bauru e a delimitação da área de estudo. O recorte urbano previsto para esse estudo foi o mesmo já abordado pelo projeto CEU, ou seja, o bairro Cidade Universitária.

A seleção dos pontos de interesse dentro do recorte urbano teve como prerrogativa a escolha de unidades habitacionais multifamiliares que apresentem tipologia construtiva verticalizada com três pavimentos ou mais.

Para cada ponto de interesse encontrado na área, foi realizada uma caracterização prévia, identificando sua localização no banco de dados em SIG do projeto CEU. Destes foram atribuídos os respectivos valores de consumo residencial de energia através dos estudos realizados por Pedrotti (2004) que sistematizou em tabelas as informações obtidas na CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) sobre o consumo de energia por consumidor em cada um dos transformadores correspondente ao recorte em estudo.

Com a conclusão dessa etapa, foi eleito um estudo de caso de um conjunto de três edificações residenciais de 12 pavimentos, cujas características permitiram a correlação entre o Fator de Visão do Céu (FVC), as características geométricas da construção, as características geométricas do entorno e o consumo de energia elétrica verificado.

Essas edificações compõem o conjunto residencial Villagio di Roma, cujos dados das construções foram organizados em 2 fichas, a primeira caracteriza o conjunto (Figura 4.1) com informações sobre a localização, implantação, fotos, uso e ocupação do solo e alguns dados sobre a caracterização física e geométrica do conjunto.

Nome da Edificação:		Villagio di Roma				
Localização		Rua Dr. Eduardo Vergueiro de Lorena	Quadra	05	Número	44
Foto			Implantação			
Número de torres		3	Número de pavimentos		12	
Área do terreno		5.400,00m²	Taxa de ocupação		20%	
Área do pavimento tipo		352,00m²	Índice de aproveitamento		2,35	
Cobertura		Laje Plana de concreto impermeabilizada				
Vedação externa		Parede de tijolo cerâmico, espessura de 20cm, revestido com argamassa				
Acabamento		Amarelo palha				

Figura 4.1 Exemplo de ficha para Caracterização do Conjunto

A segunda Ficha caracteriza a unidade habitacional (Figura 4.2), identificando sua planta, orientação, caracterização física e geométrica da unidade residencial (Divisão

interna, volume, massa edificada, área), FVC nas fachadas e o consumo mensal do período estudado.

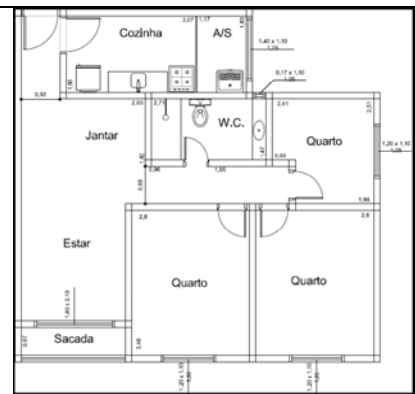
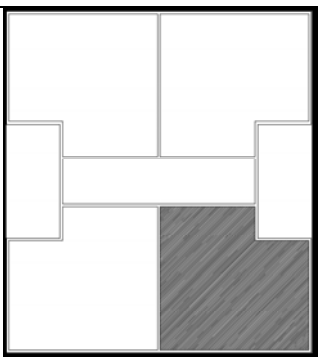


Torre	a		Andar	1										
Apartamento	A-11		Unidade tipo											
Coluna														
Área	m²		Volume	m³										
Área de aberturas	m²		Massa Edificada	m³										
FVC – Fachada Nordeste = 073			FVC – Fachada Sudeste =07											
														
Consumo		CPFL												
JAN/05	DEZ/04	NOV/04	OUT/04	SET/04	AGO/04	JUL/04	JUN/04	MAI/04	ABR/04	MAR/04	FEV/04	JAN/04	DEZ/03	
160	156	149	154	175	148	106	121	131	145	135	129	111	131	
MÉDIA					139									

Figura 4.2 Exemplo de ficha para Caracterização da Unidade

O Fator de Visão do Céu foi obtido através da utilização da extensão 3DSkyView, para o SIG ARCVIEW, onde foram então calculados o FVC para cada ponto de interesse utilizado durante a análise. O programa citado fornece a área total do céu disponível, a área de obstrução do céu e a área de céu visível, calculando o FVC. Os resultados foram tabulados na ficha de caracterização construtiva.

Os dados de consumo foram confrontados com as características construtivas encontradas, buscando-se quais as correlações que indicam o desempenho do consumo energético frente às características do ambiente construído.

Para isso aplicou-se a técnica de redes Neurais Artificiais (RNA) . Tendo como variável de saída o consumo de energia. Foram consideradas como variáveis de entrada a modelagem, os dados levantados por Correa (2005) e Oliveira (2006), através de questionários (Figura 4.4).

Dentre os modelos desenvolvidos, o de melhor desempenho foi selecionado e tomado como base para análise das relações entre o consumo de energia e as diversas variáveis.

QUESTIONÁRIO PERFIL DO USUÁRIO
(Rua _____ Quadra _____ N° _____ andar _____)

Quantos são os moradores da casa? E quais as idades?

() 1 pessoa Idade: _____ anos
() 2 pessoas Idades: _____ e _____ anos
() 3 pessoas Idades: _____, _____ e _____ anos
() 4 pessoas Idades: _____, _____, _____ e _____ anos
() 5 pessoas Idades: _____, _____, _____, _____ e _____ anos
() acima de 6 pessoas

Idades: _____, _____, _____, _____, _____, _____, _____ anos

Qual a faixa de renda familiar (em caso de república de estudantes, considerar apenas a soma dos valores percebidos pelos estudantes para a sua manutenção):

() 1 a 10 salários mínimos (R\$260 a R\$2.600)
() 10 a 20 salários mínimos (R\$2.600 a R\$5.200)
() 20 a 40 salários mínimos (R\$5.200 a R\$10.400)
() 40 a 60 salários mínimos (R\$7.800 a R\$15.600)
() 60 a 80 salários mínimos (R\$15.600 a R\$20.800)
() 80 a 100 salários mínimo (R\$20.800 a R\$26.000)
() acima de 100 salários mínimos (acima de R\$26.000)

Quantos dormitórios existem na casa (ou apartamento)?

() 1 dormitório
() 2 dormitórios
() 3 dormitórios
() 4 dormitórios
() acima de 5 dormitórios

Qual o gasto médio mensal com energia elétrica?

() até 50KWh/mês () de 500 a 600 KWh/mês
() de 50 a 100 KWh/mês () de 600 a 700 KWh/mês
() de 100 a 200 KWh/mês () de 700 a 800 KWh/mês
() de 200 a 300 KWh/mês () de 800 a 900 KWh/mês
() de 300 a 400 KWh/mês () de 900 a 1000 KWh/mês
() de 400 a 500 KWh/mês () acima de 1000 KWh/mês

Qual o mês ou época do ano que você considera que mais se gasta com energia elétrica em sua casa?

() janeiro () julho
() fevereiro () agosto
() março () setembro
() abril () outubro
() maio () novembro
() junho () dezembro
() não faz diferença

Quantos chuveiros elétricos estão instalados em sua casa?

() 0 1 () 2 () 3 () 4 () mais de 4

Quantas geladeiras estão instaladas em sua casa?

() 0 1 () 2 () 3 () 4 () mais de 4

Quantos freezers estão instalados em sua casa?

() 0 1 () 2 () 3 () 4 () mais de 4

Quantos aparelhos de ar refrigerado estão instalados em sua casa?

() 0 1 () 2 () 3 () 4 () mais de 4

Quantos aquecedores elétricos estão instalados em sua casa?

() 0 1 () 2 () 3 () 4 () mais de 4

Figura 4.3 Exemplo de questionário sobre o perfil do usuário

4.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS PARA AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS

Para desenvolvimento dos modelos de RNA, que permitam estabelecer a contribuição das diversas variáveis no consumo de energia elétrica do edifício multifamiliar estudado, foi aplicado o software Easy NN, sendo possível a sua utilização através da colaboração do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos.

O objetivo no desenvolvimento desse modelo é avaliar os pesos de variáveis no consumo de energia elétrica, principalmente aquelas ligadas ao desenho do edifício. Assim, sendo, não se pretende identificar o modelo matemático em si, mas sim possibilitar uma avaliação quantitativa da influência de cada variável, incluindo-se entre elas variáveis do desenho.

Os dados coletados pelo questionário ao usuário e aqueles disponibilizados pela CPFL foram utilizados para formação do conjunto de dados conhecidos para a geração do modelo.

Para cada modelo foram preparados 3 conjuntos de dados para aprendizagem. Na preparação de cada conjunto de dados, os dados reais foram selecionados aleatoriamente, separando-se 50% para a fase de treinamento, 25% para a fase de validação e 25% para a fase de teste.

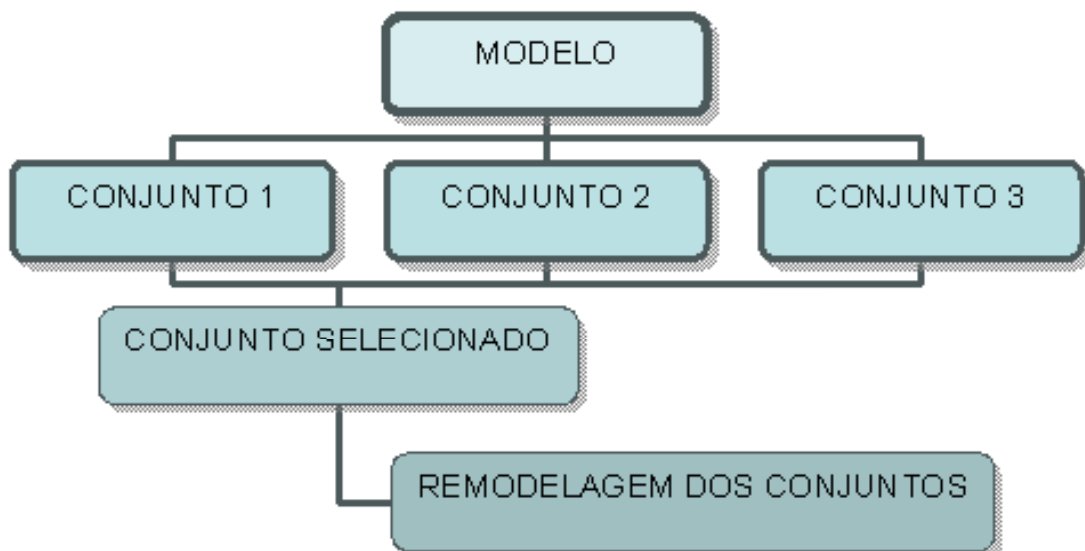


Figura 4.4 Fluxograma dos Conjuntos das Redes Neurais

Após a verificação do desempenho dos modelos gerados para os três conjuntos, foi feita uma seleção daquele de melhor desempenho. Os dados simulados pelo modelo foram comparados aos dados reais (os 25% dos dados pertencentes à fase de teste). Assim foi

verificado o erro médio relativo dos modelos e obtidos os coeficientes de determinação a partir da relação entre os dados simulados e os dados reais. Estes dois parâmetros estatísticos estabelecem o critério de seleção do modelo a ser utilizado para a análise. O menor erro relativo médio associado ao maior coeficiente de determinação indica o melhor modelo.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

5 RECONHECIMENTO DA REGIÃO EM ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, MORFOLOGIA NATURAL E PERFIL CLIMÁTICO

Bauru, cidade de porte médio, localizada no centro oeste paulista, tem como coordenadas geográficas a latitude compreendida entre 21,15'S e 21,50'S e longitude entre 49W e 49,10'W. Sua altitude varia entre 500 a 630m, sendo predominantemente planáltica e topograficamente pouco acidentada.

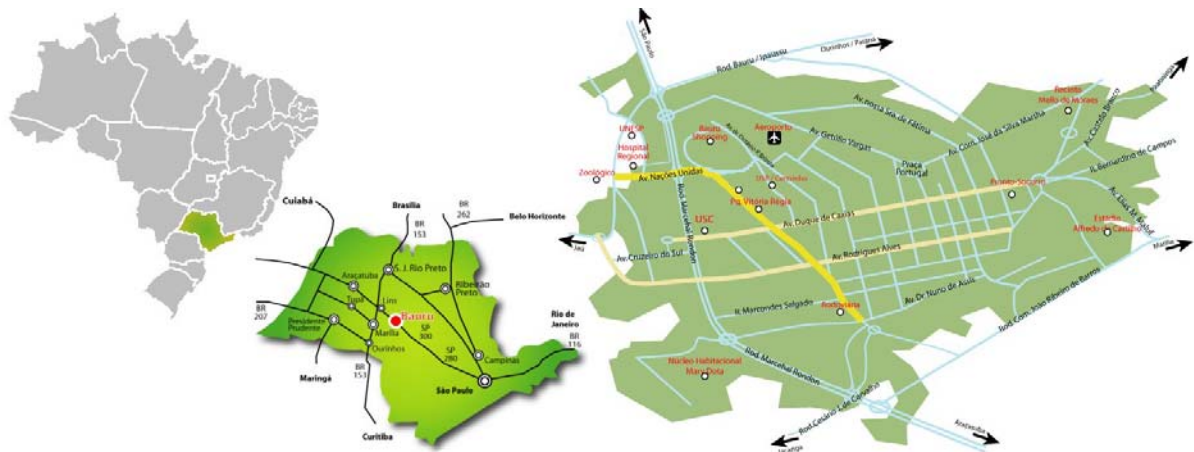


Figura 5.1 Localização de Bauru no território brasileiro

FONTANA & FARIA (1998) afirmam que as temperaturas médias mensais são elevadas, porém pouco diferenciadas (máxima de 23,7°C em janeiro e mínima de 17,4°C em junho). Entretanto, a amplitude térmica diária é elevada (máxima de 16,6°C em agosto e mínima de 12,5°C em fevereiro), ou seja, a região possui, em geral, dias quentes e noites frias.

Seu clima está sob influência das massas equatorial e continental (mais freqüentes no verão), responsáveis por calor, umidade e precipitações. Pelos dados climáticos levantados por entre 1962 e 1971 pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura (FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE BAURU. Instituto de Pesquisas Meteorológicas, 1974), o clima de Bauru pode ser classificado como Cwa (clima subtropical de altitude, com chuvas no verão). Esses dados climáticos evidenciam uma situação de dias relativamente quentes e noites frias ao longo do ano todo, com amplitudes térmicas médias diárias superiores às anuais. Os ventos predominantes de leste são fracos, com velocidades típicas na faixa de 1 a 2 m/s (força 2 na escala de Beaufort) e a cidade apresenta uma freqüência de aproximadamente 5% de calmarias, que se manifesta principalmente no meio da tarde e na madrugada, conforme FARIA (1997).

Por análise realizada das cartas bioclimáticas de Givoni e da ABNT (1998), os prédios em Bauru devem ter inércia térmica (capacidade de acumular calor em seus elementos construtivos) para compensar as altas amplitudes térmicas diárias e ventilação diurna.

Sobre o consumo de energia elétrica na região administrativa de Bauru, a análise que o SEADE (2002) faz aponta que:

- O consumo anual de energia elétrica por ligação no comércio, na agricultura e nos serviços oscilou em 2002 de 10,8 MW a 9,0 MW, sendo a média do Estado nesse ano de 13,8 MW;
- Houve redução de aproximadamente 17% do consumo de energia elétrica nos setores de comércio, agricultura e serviços, índice superior ao decréscimo verificado no Estado, de 15%. Quanto à diminuição de 22% do consumo de energia elétrica residencial, também observada no Estado, pode-se afirmar que a RA de Bauru sofre ainda os efeitos do racionamento ocorrido em 2001;
- Em 2002, o consumo de energia elétrica por ligação residencial ainda manteve-se abaixo da meta de racionamento estabelecida para 2001, ou seja, a redução do consumo foi maior que 20%, variando de 2,3 MW para 1,8 MW, sendo a média do Estado, em 2002, de 2,1 MW.

5.1 RECORTE URBANO - VILA UNIVERSITÁRIA

A área de estudo adotada para a pesquisa compreende o Bairro Vila Cidade Universitária (figura 5.2), sendo uma região classificada como predominantemente

residencial, possui uma marcante diversidade construtiva quanto à verticalidade das edificações na cidade (criando diferentes pontos de Fator de Visão do Céu para estudo). Esta mesma área corresponde aos estudos já realizados pelo PROJETO CEU. É uma área predominantemente residencial, sua variabilidade construtiva apresenta vários tipos de ocupação, que, segundo Pedrotti (2005), apresentando construções com gabaritos térreos à edifícios com 18 pavimentos, contando ainda com terreno vazios. É relativamente plana e seus limites são o Bauru Shopping, a Avenida Nações Unidas, a Avenida Otávio Pinheiro Brisola e a USP.

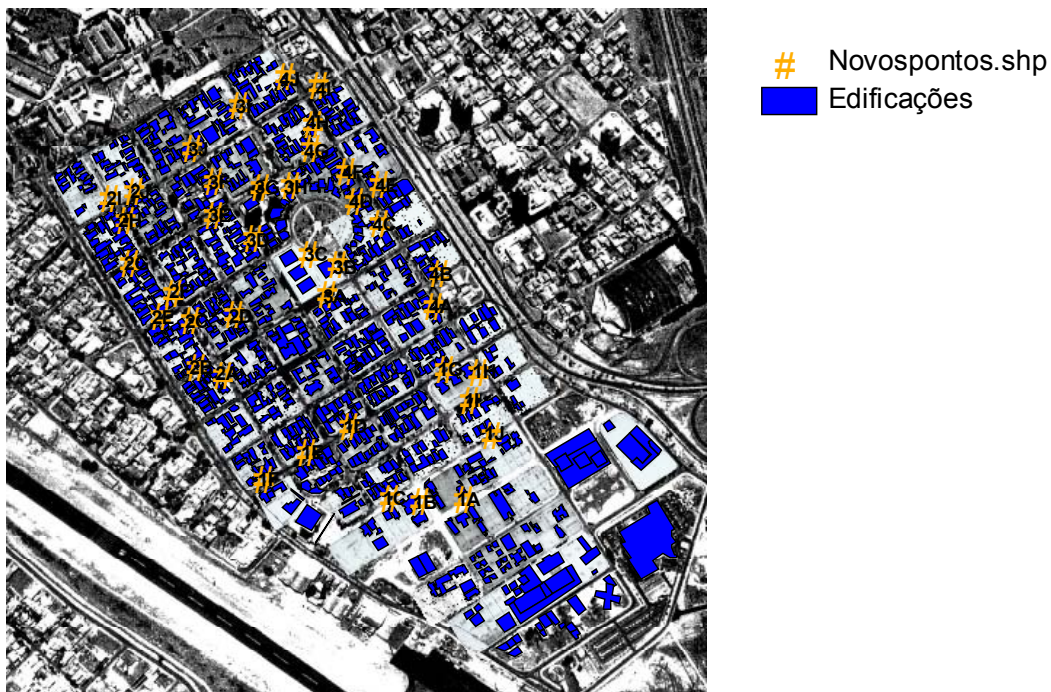


Figura 5.2 Foto aérea com os limites urbanos do bairro
Fonte PEDROTTI, 2005.

Localizado próximo a uma das principais entradas da cidade, o bairro possui uma infra-estrutura de grande porte. Já que está à margem de uma das principais avenidas, a Nações Unidas, o bairro vem sofrendo uma evolução rápida em relação à valorização imobiliária, sendo explorado comercialmente por bancos, escritórios, padarias, lojas, lanchonetes, postos de combustível e até mesmo o único shopping da cidade, o Bauru Shopping. Possui uma localização estratégica entre as principais Universidades que atendem a cidade, recebendo uma grande parcela de investimentos na construção de imóveis direcionados ao perfil de estudantes.

Para situar o que já foi realizado pelo Projeto CEU, para a área de estudo já foram demarcados 60 pontos de simulação do Fator de Visão do Céu, os locais escolhidos para a

inserção de tais pontos buscaram representar a mais variada amplitude de índices de tal fator.



mpty Picture>

Figura 5.3 Foto Aérea com pontos de referência já estudados pelo projeto CEU

Fonte: LEME 2004.

O cálculo, conforme já mencionado anteriormente no capítulo 3, será realizado através da extensão do ArcView 3D Analyst (figura 5.4) denominada 3DskyView, permitindo então a representação e o valor do FVC de cada ponto estudado.

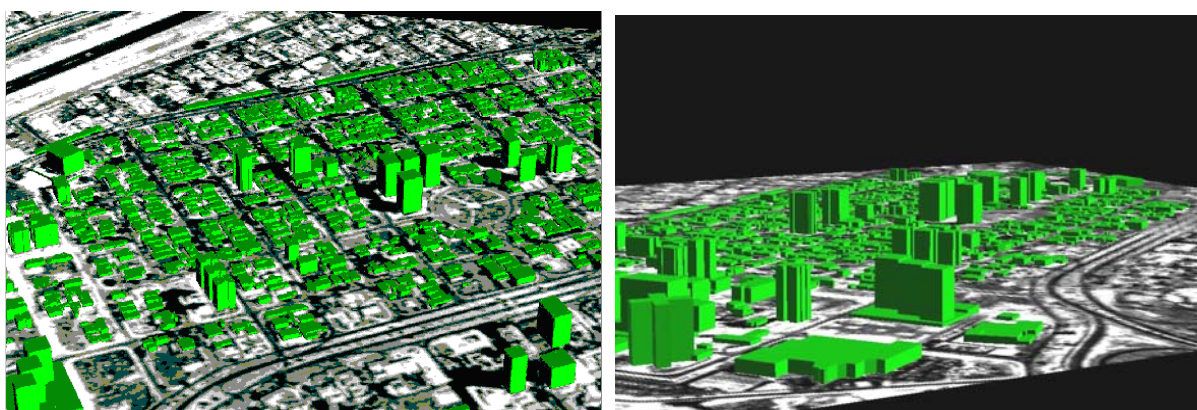


Figura 5.3 Volumetria das edificações da Vila Universitária em Bauru gerada no SIG através da extensão 3D Analyst.

Fonte: LEME 2004.

A base de dados do Projeto CEU conta também com as alturas das edificações. A altura de cada uma das edificações foi estimada, em uma etapa de estudo anterior, visualmente “in loco” e incorporada como atributo dos polígonos representativos das edificações no ambiente SIG (figura 5.4).

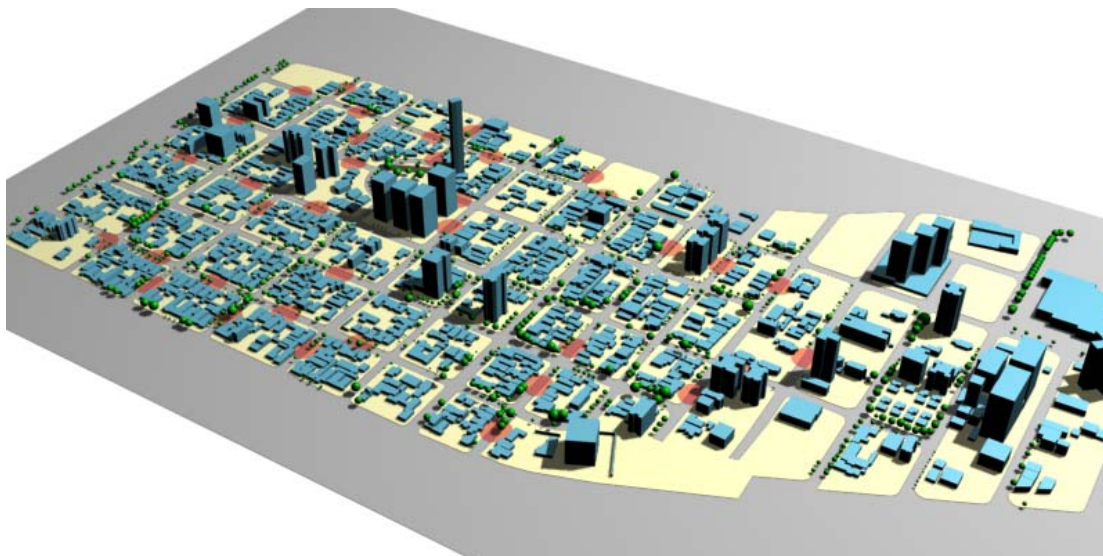


Figura 5.4 Bairro cidade Universitária e sua variabilidade construtiva.

Fonte: NAKATA, 2006.

Sobre as conclusões já alcançadas pelo referido projeto, Leme (2004) estudou a influência do fator de visão do céu na temperatura do ar no bairro em questão e verificou que existe uma efetiva relação entre eles. Dentre as faixas estudadas aquelas que ficaram enquadradas entre 70 e 80% no FVC, mostraram melhor desempenho em relação à temperatura do ar.

Já Pedrotti (2005) chegou a um importante resultado no que diz respeito à geometria urbana verificando que o aumento da visibilidade da área de céu a partir de um determinado ponto revela uma tendência de aumento no consumo de energia elétrica.

Oliveira (2005) estudou o mesmo recorte urbano e chegou à conclusão que na comparação entre mapas de consumo de energia e índices de Fator de Visão do Céu e detectou problemas de conforto nos baixos índices de FVC que vêm, inclusive, alterando o consumo de energia desses locais. Os principais pontos de baixo FVC foram encontrados em áreas com a característica de grande consumidor. A verticalização e a densidade construtiva nesses pontos vêm gerando desconfortos, seja pelo excesso de sombreamento, emissão adicional de ondas longas pelas superfícies diversas dos edifícios, ou entre outros fatores que acontecem num ambiente de pouca visibilidade do céu.

Recentemente Nakata (2005) incluiu os dados da vegetação urbana para sua análise e concluiu que apesar da vegetação ao longo das vias ter alguma influência na mudança da temperatura da área de estudo, os valores de ilhas de calor são nitidamente correspondentes à geometria urbana e predominância de edificações no local onde são detectadas.

Pretende-se então caracterizar o objeto de estudo, identificando e correlacionando os diversos fatores de configuração geométrica da construção e do Fator de Visão do Céu que mais interferem no consumo de energia elétrica da habitação.

5.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Tendo como variável de saída o consumo de energia elétrica médio mensal em kWh, as seguintes características foram consideradas como variáveis de entrada: mês, quadrante de orientação do apartamento, fator de visão do céu (FVC), número do pavimento, número de moradores, idade dos moradores, renda familiar mensal, bloco de apartamento a que pertence, existência de freezer, existência de ar condicionado e condições de sombreamento do edifício.

Juntas elas formam o conjunto de Elementos de Processamento, ou Neurônios Artificiais, que constituem os principais elementos da modelagem.

As variáveis, mês, fator de visão do céu, número do pavimento, número de moradores, idade dos moradores e salário, foram incorporadas como variáveis numéricas (um número real). As variáveis, quadrante de orientação do apartamento e bloco de apartamento a que pertencem foram variáveis alfanuméricas. As variáveis correspondentes à existência de freezer, ar condicionado e condições de sombreamento são variáveis booleanas (falso ou verdadeiro).

Dentre os eletrodomésticos mais importantes no consumo de energia elétrica, foram considerados apenas aqueles consumidores que variavam entre os apartamentos. No caso de equipamentos que estão presentes em 100% dos apartamentos, esses não foram considerados, como é o caso da geladeira.

Os apartamentos tendem a ter janelas posicionadas em duas orientações diferentes (como pode ser verificado na planta anteriormente apresentada) e os blocos promovem sombras entre si para algumas colunas de apartamentos. Por isso, adotaram-se alguns procedimentos para a determinação de algumas das variáveis.

Para o fator de visão do céu, calculado pela extensão 3DSkyVlew, foram consideradas 2 variáveis: o valor do FVC da fachada principal e o valor do FVC da fachada secundária dos apartamentos.

Para o quadrante de orientação dos apartamentos, apesar de adotada uma variável apenas, esta possui a informação da orientação das duas fachadas que apresentam janelas nos apartamentos, sendo a fachada principal indicada pelas letras iniciais das variáveis. Assim, por exemplo, para um apartamento com janelas a Noroeste e Nordeste, a variável orientação foi denominada NO-NE.

Para os blocos foram adotadas as letras A, B e C de denominação real do próprio edifício.

A tabela 5.1 apresenta as faixas de valores médios, mínimos e máximos para cada uma das variáveis utilizadas nos modelos, assim como suas unidades.

TABELA 5.1 Valores para as variáveis numéricas dos modelos

VARIÁVEL NÚMERICA	UNIDADE	VALOR MÉDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
FVC Principal	porcentagem	0,49	0,45	0,50
FVC Secundário	porcentagem	0,39	0,27	0,50
Renda Familiar	salários mínimos	10	5	30
Idade	anos	28	19	54
Consumo	kWh/mês	151,68	59	384
Moradores	membros	3	1	5
Altura	metros	18	3	36
Mês	-	6	1	12

A tabela 5.2 apresenta os dados alfanuméricos que foram utilizados para alimentar a rede neural:

TABELA 5.2 Valores para as variáveis alfanuméricas dos modelos

VARIÁVEL ALFANÚMERICA				
Orientação	NO-SO	SE-SO	NO-NE	SE-NE

Para existência de freezers, ar condicionado e sombreamento das fachadas, considerando-se a variável booleana, o valor falso (igual a 0) indica não estar sujeito aquela variável, enquanto o valor verdadeiro (1) indica a presença daquela variável (tabela 5.3).

TABELA 5.3 Valores para as variáveis booleanas dos modelos

VARIÁVEL BOLEANA	FALSO	VERDADEIRO
Freezer	0	1
Ar Condicionado	0	1
Sombreamento	0	1

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 SELEÇÃO DO MODELO

A simulação utilizando RNA permite que a abordagem seja realizada frente a diferentes modelos de um mesmo conjunto de dados. Assim, foram realizadas simulações com 3 diferentes modelos de equações matemáticas cujas características são apresentadas na tabela 6.1.

TABELA 6.1 Quadro com modelos, camadas e parâmetros.

MODELOS	Erro na Validação	Erro Relativo Médio Final	Coefficiente de Determinação (R^2)	Número de Camadas
MODELO 1	3%	19%	0,69	3
MODELO 2	5%	16%	0,71	3
MODELO 3	5%	17%	0,72	2

Pelo critério do erro relativo e coeficiente de determinação, o modelo 3 foi o selecionado para a avaliação de cada variável. Para aquele modelo a importância das variáveis determinadas pelas RNA pode ser observada na tabela 6.2

TABELA 6.2 Relevância das variáveis do modelo tipo A selecionado

Variável	Relevância
Bloco	0.13
Mês	0.12
Orientação	0.12
Moradores	0.11
Ar	0.10
Andar	0.08
Sombreamento	0.07
Renda familiar	0.07
FVC secundário	0.07
Freezer	0.06
FVC principal	0.05
Idade	0.04

Variáveis que apresentam importância relativa menor ou igual a 5%, devem ser retiradas do modelo e feita uma remodelagem para aperfeiçoamento do modelo. Como pode ser verificado na tabela 6.2, as variáveis FVC principal e idade não alcançaram importância significativa, sendo assim retiradas do modelo.

Acredita-se que a pouca importância do FVC das fachadas principais deva-se a similaridade desses valores entre as fachadas principais dos blocos.

A remodelagem, com a eliminação das variáveis com valores abaixo de 5% de importância, revelou a nova configuração da rede, de forma que as variáveis assumiram as seguintes importâncias relativas:

TABELA 6.3 Importância para as variáveis após remodelagem do modelo 3

Variável	Relevância
Orientação	0.15
Mês	0.13
Número de moradores	0.13
Bloco	0.12
Pavimento	0.10
Sombreamento	0.09
Ar condicionado	0.08
Renda familiar	0.08
Freezer	0.07
FVC secundário	0.07

Observa-se que a ordem de importância das variáveis revela a relevância das condicionantes de desenho do edifício para o consumo de energia. A orientação representou a variável mais importante, porém o peso das variáveis é bem distribuído, com todas assumindo valores bem próximos.

Para que o modelo permitisse a elaboração de uma análise, foram feitos testes, aplicando-se o modelo gerado, de forma a ser alterado apenas o valor de uma variável, alterando-a de seu valor mínimo ao seu valor máximo, e mantendo-se constante o valor médio das demais.

As RNAs permitiram, portanto, estabelecer uma análise que, pelo número de dados envolvidos, não poderia ser facilmente realizada apenas por comparação direta dos mesmos.

Assim, a análise de cada uma dessas variáveis é apresentada a seguir.

6.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS BLOCOS E ORIENTAÇÕES

Para essa análise, os dados médios foram mantidos constantes para todas as variáveis, alterando-se os blocos e o quadrante das fachadas em cada bloco e variando-se entre meses de inverno e verão, para verificar as possíveis diferenças de consumo

ocasionadas por essas variações. Para isso foi ainda considerada a condição real de existência ou não de sombreamento entre os blocos, conforme a orientação analisada.

Os gráficos 6.1 e 6.2 apresentam os resultados:

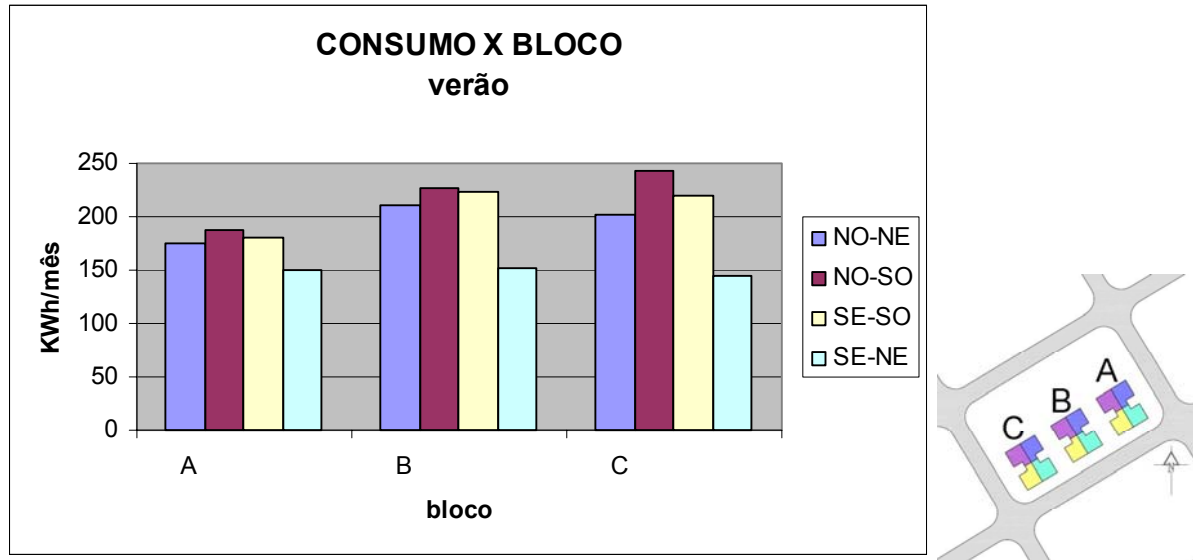


Gráfico 6.1 Consumo de verão simulado por bloco para cada fachada

De uma forma geral, para o verão, observa-se que o bloco A apresenta-se como o menor consumidor. Em todos os blocos os apartamentos com fachadas voltadas para os quadrantes NO-SO (fachada principal-fachada secundária) tendem a ser os mais consumidores. Apartamentos voltados para SE-NE tendem ao menor consumo e maior equilíbrio de valores entre eles, independentemente dos blocos em que se localizam (seu consumo fica em torno de 150KWh/mês).

O consumo médio de cada bloco no verão, independente das orientações dos apartamentos, é de 173 KWh/ mês para o bloco A, de 203 KWh/mês para o bloco B e de 202KWh/mês para o bloco C. Chama a atenção o fato de que o bloco C é aquele mais exposto ao sol da tarde, pela sua localização em relação aos demais blocos e entorno.

No inverno esses valores passam a 177 KWh/mês para o bloco A, 168 KWh/mês para o bloco B e 161KWh/mês para o bloco C. Observou-se, portanto, para o inverno uma queda no consumo dos blocos B e C, apresentando um padrão mais homogêneo de consumo entre os três blocos.

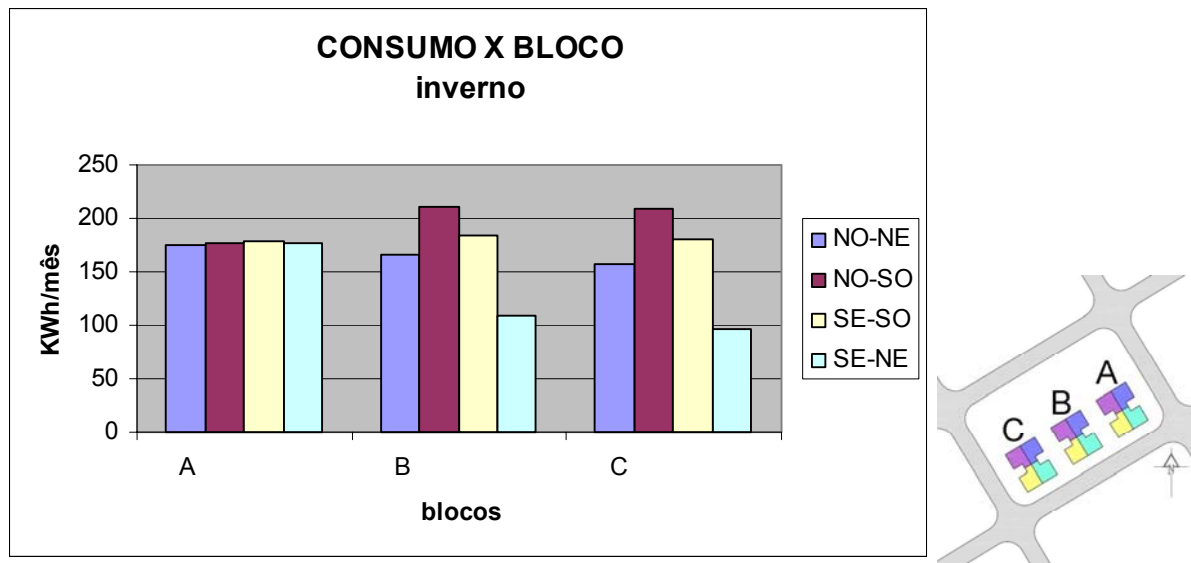


Gráfico 6.2 Consumo de inverno simulado por bloco para cada fachada

O bloco A no inverno não apresenta diferença significativa de consumo em função da orientação dos apartamentos.

No geral, considerado o comportamento de cada uma das fachadas, nos diferentes blocos, os apartamentos voltados a NO-SO (fachada principal-fachada secundária) são os maiores consumidores. Os menores consumidores permanecem sendo os apartamentos voltados a SE-NE.

6.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO FVC SECUNDÁRIO

Como o FVC principal foi retirado do modelo, apenas a importância do FVC secundário para o consumo de energia elétrica é verificada.

Nessa análise também foram verificadas as diferenças entre verão e inverno, considerando as diferentes fachadas e blocos e mantendo-se os valores médios das demais variáveis do modelo. Os valores de FVC testados variaram de 0,3 a 0,5, respeitando-se os limites máximo e mínimo do modelo gerado. Ressalta-se que os valores máximos e mínimos testados são diferentes para cada fachada nos blocos, conforme aqueles valores reais ocorridos nos blocos.

Os gráficos de 6.3, 6.4 e 6.5 indicam os resultados encontrados.

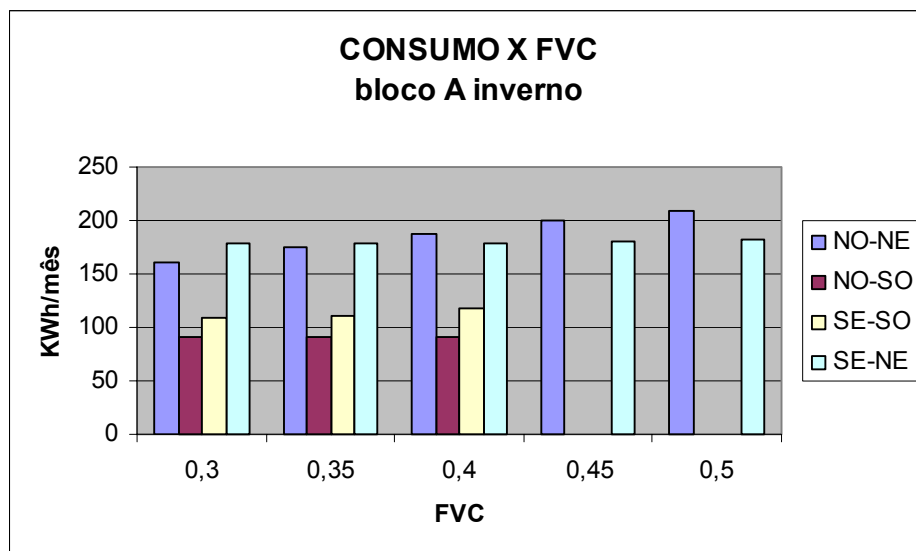
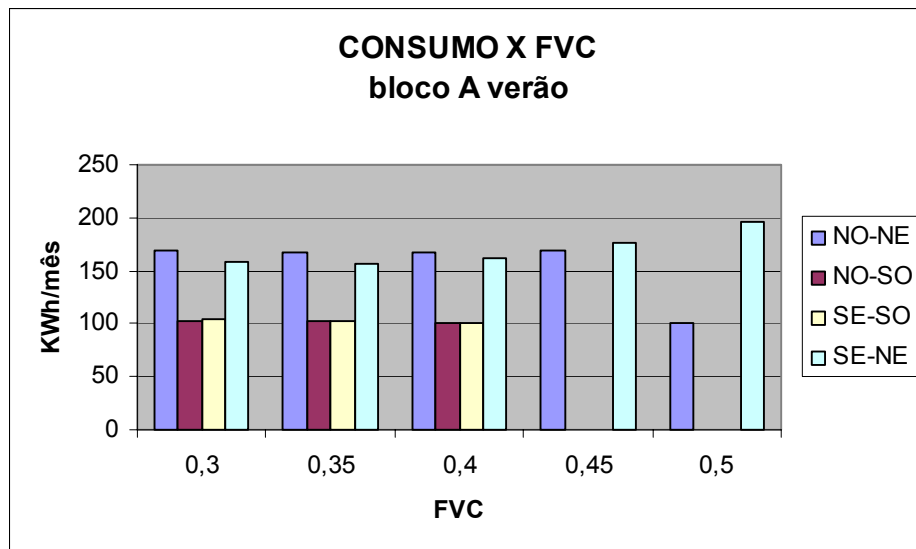


Gráfico 6.3 Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco A

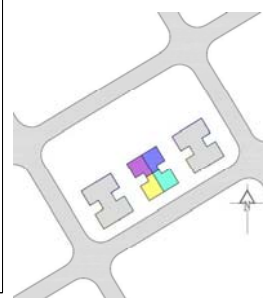
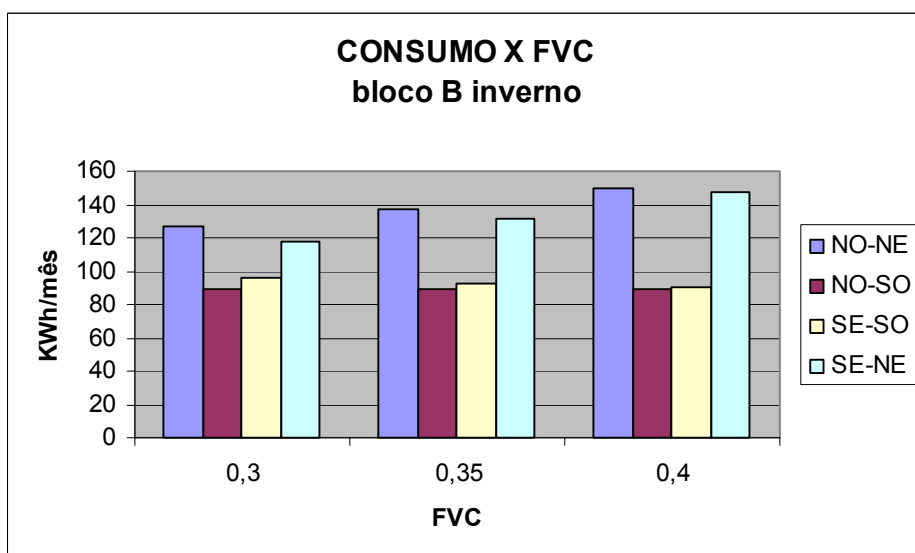
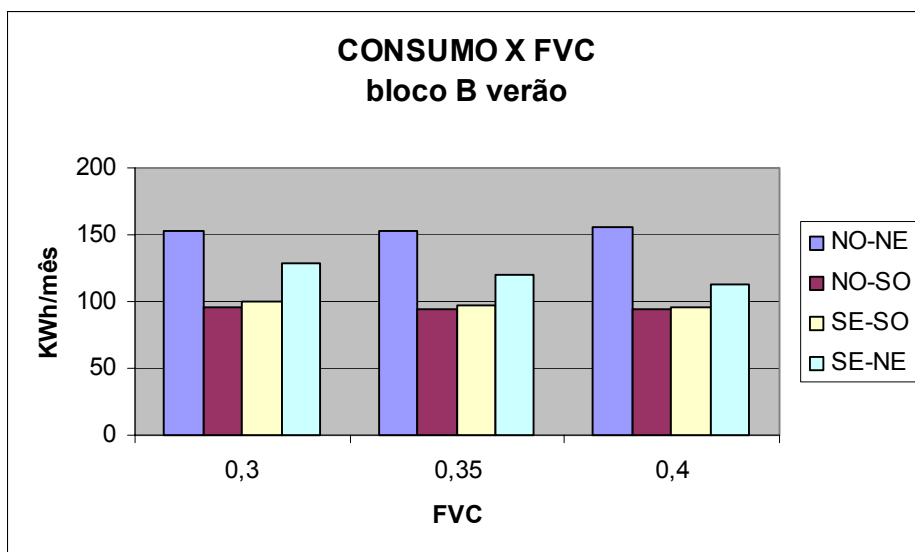


Gráfico 6.4 Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco B

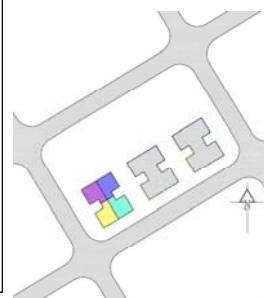
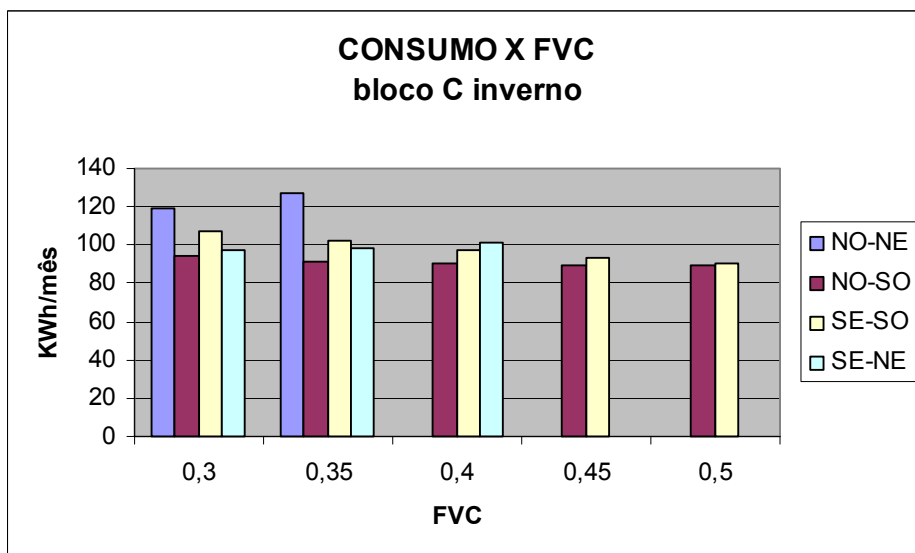
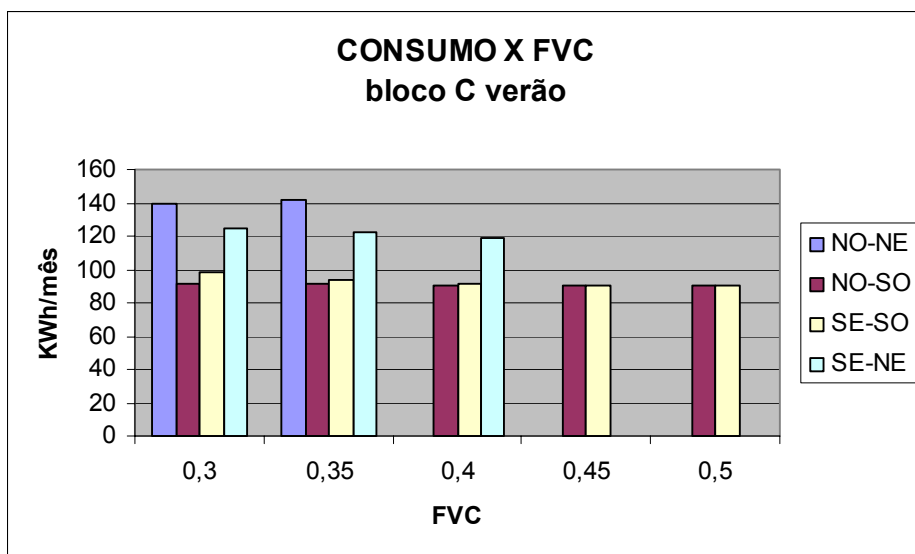


Gráfico 6.5 Consumos de verão e inverno simulados em função do FVC para o bloco C

De uma forma geral, as diferenças entre os FVC importaram mais para os apartamentos voltados para NO-NE e SE-NE do que aqueles voltados para NO-SO e SE-SO, indicando que o consumo dos apartamentos voltados a NO-NE e SE-NE dependem mais desta variável do que as demais fachadas. Para a fachada NO-SO e NE-NE, o equilíbrio entre os consumos encontrados em função dos valores de FVC, demonstra menor dependência com relação a esta variável.

Apesar de algumas exceções, conforme o bloco considerado, as fachadas NO-NE tenderam a aumentar o seu consumo à medida que o FVC aumentou. No inverno, essa tendência tende a ser mais pronunciada.

Para a fachada SE-NE houve uma grande variação de comportamento. Se for levado em consideração o bloco B, por exemplo, enquanto no verão o consumo desta fachada tende a ser menor, quando se aumenta o FVC, para o inverno, o inverso ocorre.

O bloco B encontra-se em um caso particular de implantação em relação aos demais, uma vez que se localiza entre os blocos A e C, sofrendo influência direta desses blocos no tempo em que permanece em sombra. Assim, quando o seu FVC aumenta para uma situação de inverno, a fachada SE-NE não sofre aumento significativo no seu tempo de insolação devido a vizinhança com o bloco A. Isto acaba por gerar uma situação de maior exposição ao vento dominante e maior consumo de energia no inverno. Por esse mesmo motivo, para uma situação de verão, o aumento do FVC representa queda no consumo de energia para apartamentos nessa fachada. O movimento do ar pode estar representando uma queda de temperatura no interior desses apartamentos no inverno, mas estar servindo de elemento amenizador no verão.

Por outro lado, não se pode deixar de ressaltar que o aumento do FVC representa aumento no nível de iluminação desses apartamentos e, portanto, a menor necessidade de ser utilizada a iluminação artificial para o conforto lumínico. Isso, até certo ponto, justifica a grande variação de comportamento conforme as fachadas e mesmo entre verão e inverno. Acredita-se que seja exatamente a variação entre as necessidades lumínicas e as necessidades térmicas que acabem por concorrer e gerem diferentes comportamentos.

6.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DO PAVIMENTO

Mantendo-se os mesmo tipo de análise e procedimentos que adotados para os tópicos anteriores, foram alteradas as alturas dos pavimentos e mantidas as demais variáveis em seus valores médios. Os resultados analisados para verão e inverno em função das fachadas e dos blocos são apresentados nos gráficos 6.6 a 6.8.

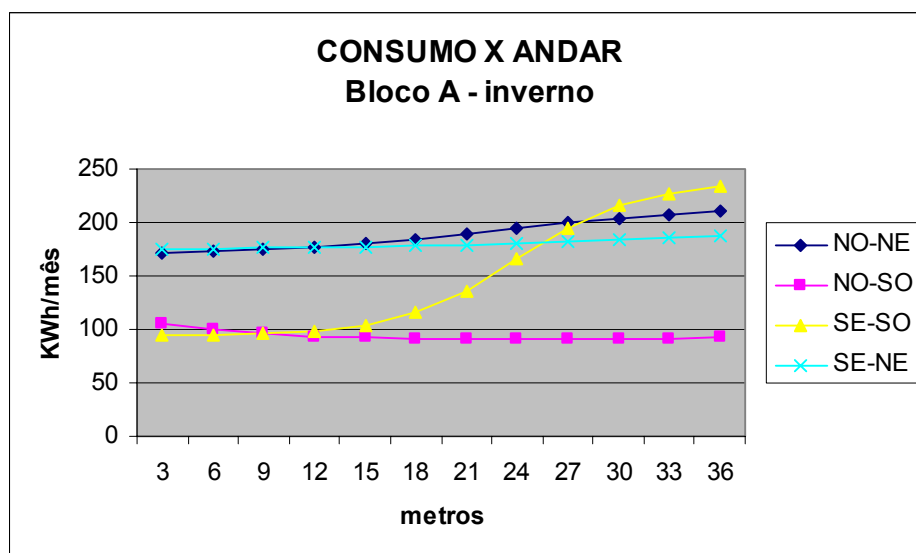
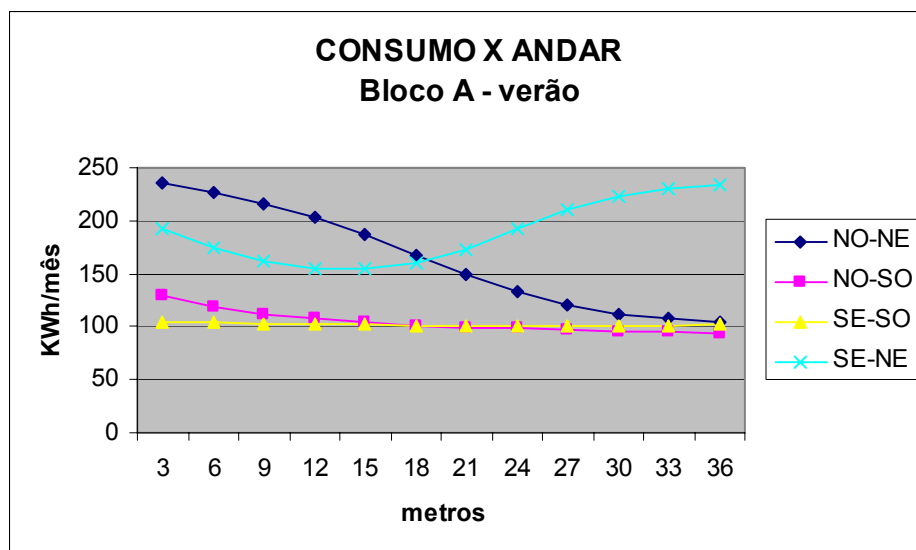


Gráfico 6.6 Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco A

Para o Bloco A, no período de verão, é possível identificar uma queda do consumo para os apartamentos com a orientação NO-NE em relação ao aumento de altura do andar. O inverso é percebido para os apartamentos orientados à SE-NE. Enquanto os apartamentos NO-SO e SE-SO permanecem estabilizados, independente da altura do andar.

A mudança de comportamento do Bloco A para o Inverno é identificado principalmente nos apartamentos orientados à SE-SO, pelos quais um acentuado aumento no consumo é percebido a partir dos andares que superam os 18 metros de altura. Os apartamentos orientados a NO-SO e SE-NE mantêm comportamentos semelhantes na situação de inverno, com um sensível aumento no consumo para os andares mais elevados. Já a orientação NO-SO permaneceu com o comportamento semelhante à situação de verão.

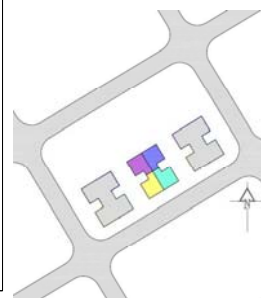
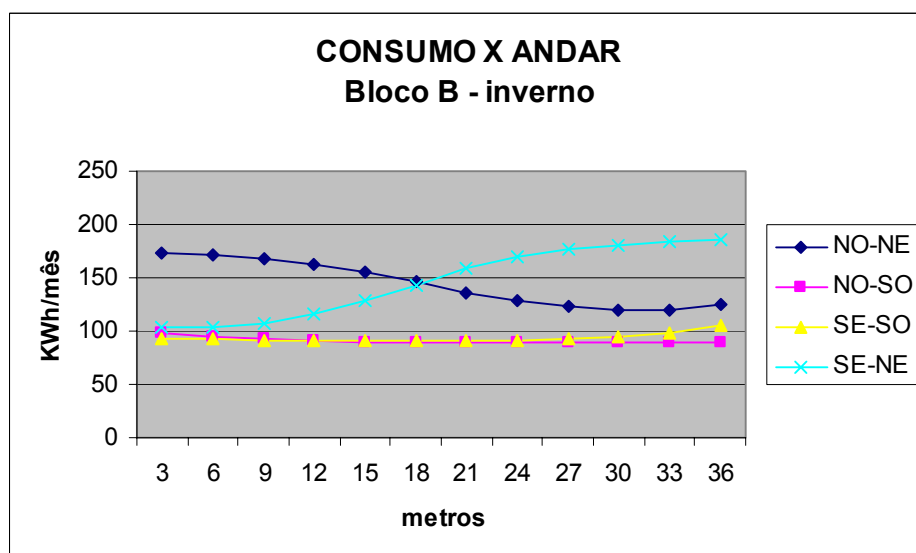
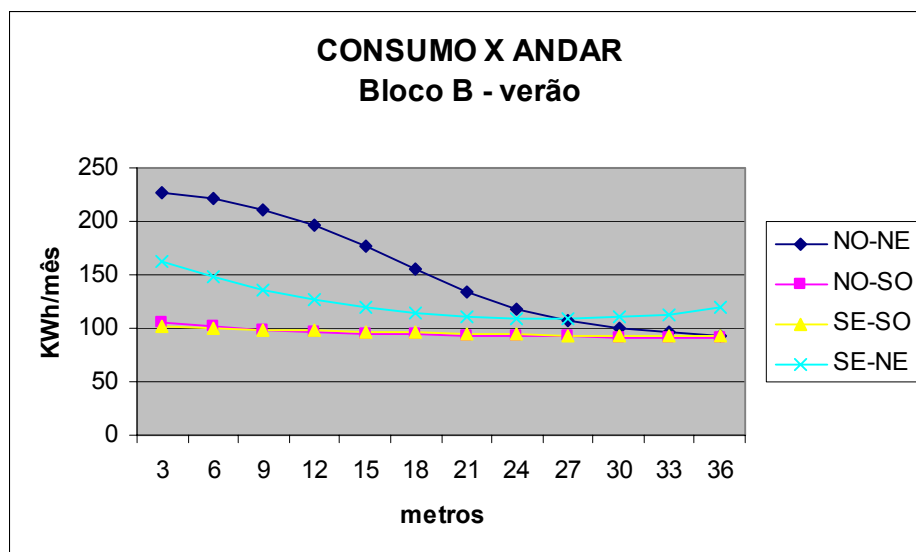


Gráfico 6.7 Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco B

O Bloco B, na situação de verão, apresenta para os apartamentos NO-NE, NO-SO e SE-SO um comportamento muito próximo ao acontecido com o Bloco A para a mesma estação. Já o apartamento com orientação SE-NE, ao contrário do que aconteceu com o bloco A, permaneceu estabilizado com o aumento de altura, isso pode ser explicado pela proteção solar que o edifício do bloco A proporciona no período da tarde.

Para a situação de inverno no bloco B temos um resultado muito próximo ao ocorrido com o Bloco A durante o verão. Provavelmente tal resultado é consequência das influências geométricas da implantação do conjunto de edifícios interferindo na questão de insolação.

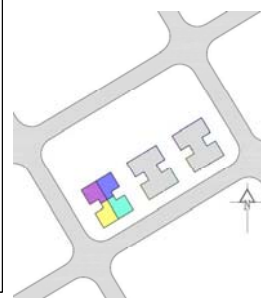
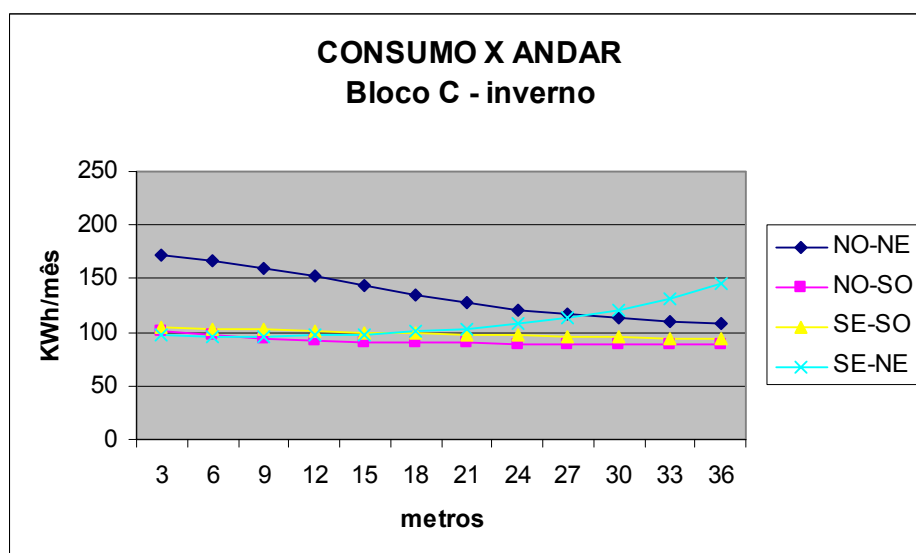
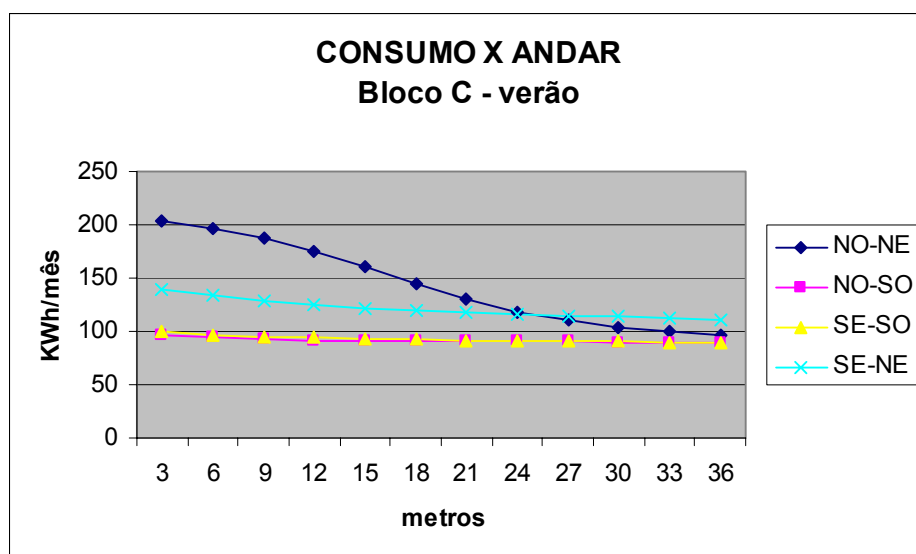


Gráfico 6.8 Consumos de verão e inverno simulados por pavimento para o bloco C

O bloco C, durante o verão, apresentou para os apartamentos orientados à NO-NE, NO-SO e SE-SO, comportamento semelhantes aos encontrados nos blocos A e B para a mesma situação. Os apartamentos orientados à SE-NE se comportou semelhantemente aos apartamentos de mesma orientação no bloco B.

Durante o inverno, os apartamentos NO-SO e SE-SO mantiveram-se constantes e com resultados próximos aos encontrados nos outros blocos. Os apartamentos orientados à NO-NE tiveram o consumo reduzido com o aumento da altura do andar e os orientados à SE-NE tiveram um acréscimo de consumo para os andares que superaram os 24 metros de altura.

Algumas tendências podem ser extraídas em função da altura do pavimento. Para a fachada NO-NE, para todos os blocos o aumento na altura do apartamento representa queda no consumo, tanto de inverno, quanto no verão. Apenas uma pequena inversão foi encontrada para o consumo de inverno do bloco A.

Para a fachada SE-NE a maior tendência é de aumento do consumo à medida que se aumenta a altura do pavimento. Esses dois comportamentos podem ser influenciados pela velocidade do vento, representando uma resposta ao ambiente térmico.

Para as fachadas NO-SO e SE-SO, com pequenas exceções (como no bloco A no inverno), a tendência é de equilíbrio, mesmo que a altura do pavimento seja alterada. O que vem reforçar a possibilidade de ser a influência do vento dominante no consumo de energia elétrica, uma vez que essas fachadas que se apresentam mais equilibradas são aquelas localizadas à sombra do vento dominante.

6.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE MORADORES

Nessa análise aplica-se ao modelo selecionado uma variação no número de moradores dos apartamentos, mantendo-se as demais variáveis com seus valores médios. Como não houve variação significativa entre verão e inverno em função do número de moradores, os resultados apresentados nos gráficos 6.9 a 6.11 são representados apenas pelos gráficos das médias anuais do consumo mensal.

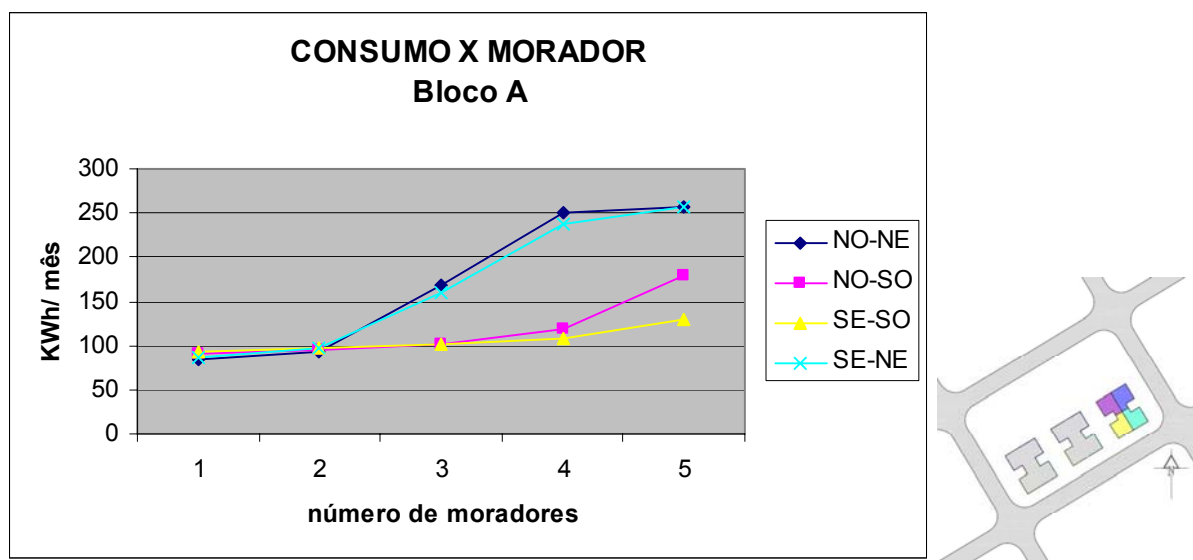


Gráfico 6.9 Consumo em função do número de moradores no bloco A

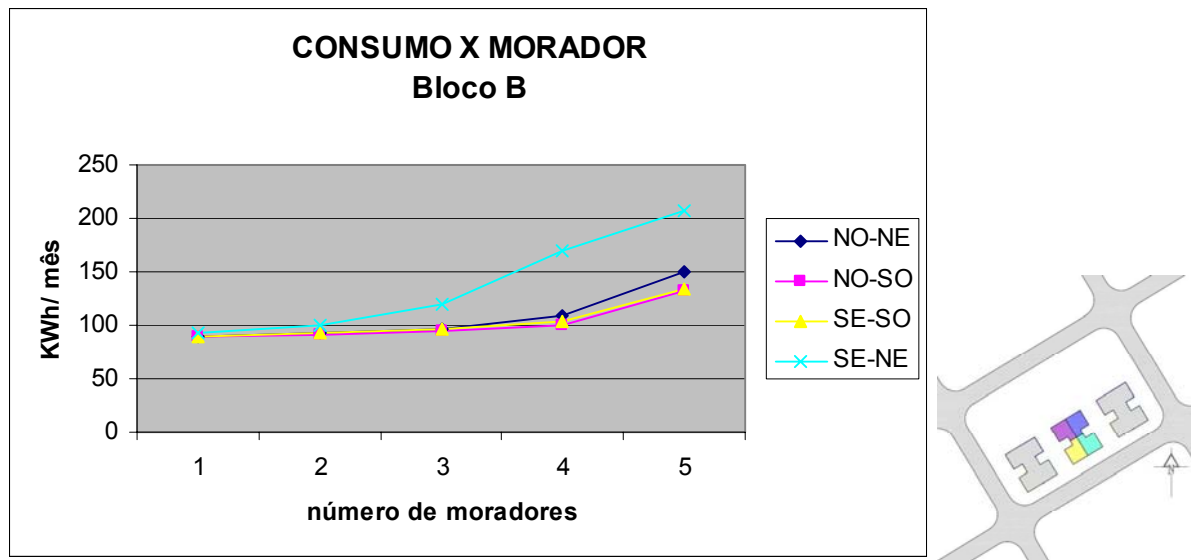


Gráfico 6.10 Consumo em função do número de moradores no bloco B

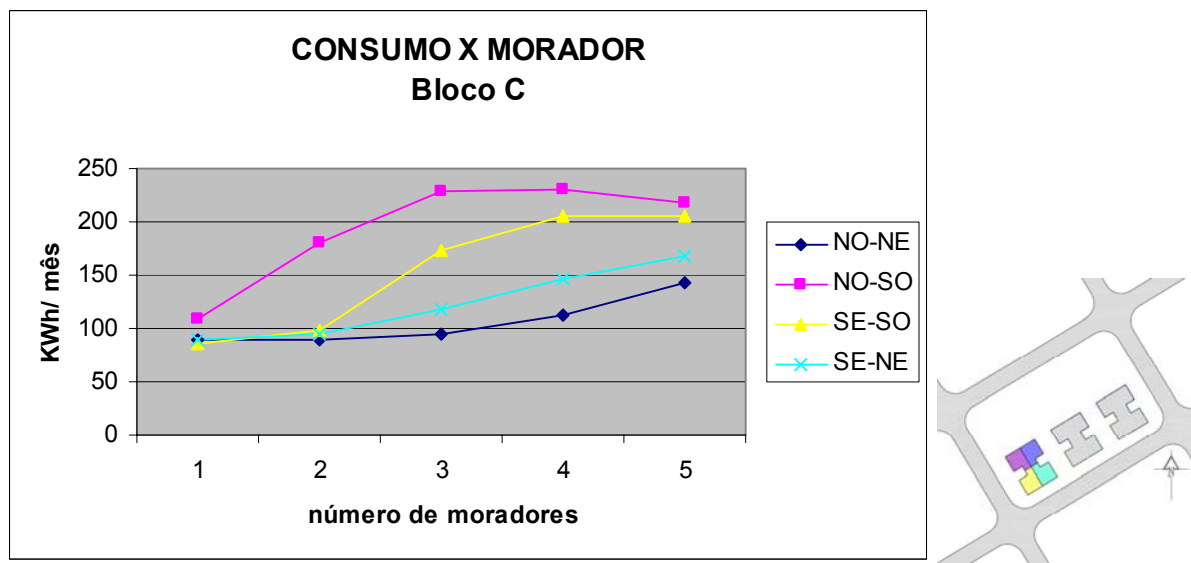


Gráfico 6.11 Consumo em função do número de moradores no bloco C

Conforme esperado, independente da fachada em que os apartamentos se encontram, o aumento no número de moradores tende a representar aumento no consumo de energia elétrica para os três blocos estudados.

Em geral, até dois moradores o consumo tende a valores similares, aumentando significativamente para a situação em que se simula um número acima de 3 moradores. Apenas para a fachada NO-SO do bloco C o aumento do consumo é maior mesmo para o número de 2 moradores. Essa é também a fachada que na análise entre os blocos se

comportou como maior consumidora. Esse fato indica que, como o consumo já é alto para apartamentos a NO-SO, o aumento no número de moradores seja um elemento mais agravante para os apartamentos implantados nessa fachada.

O consumo dado em função do número de moradores mostra a importância dessa variável principalmente para apartamentos cujas fachadas secundárias estão mais expostas ao sol (NO-NE e SE-NE do bloco A e NO-SO e SE-SO do bloco C).

O bloco mais protegido em relação à insolação, ou seja, o bloco B, apresenta o consumo dos apartamentos nas diferentes fachadas com valores mais próximos entre si.

6.6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RENDA FAMILIAR

Como a renda familiar é constante para todo o ano, aqui também foi feita uma análise para a média anual dos consumos mensais.

Os resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 6.12 a 6.14.

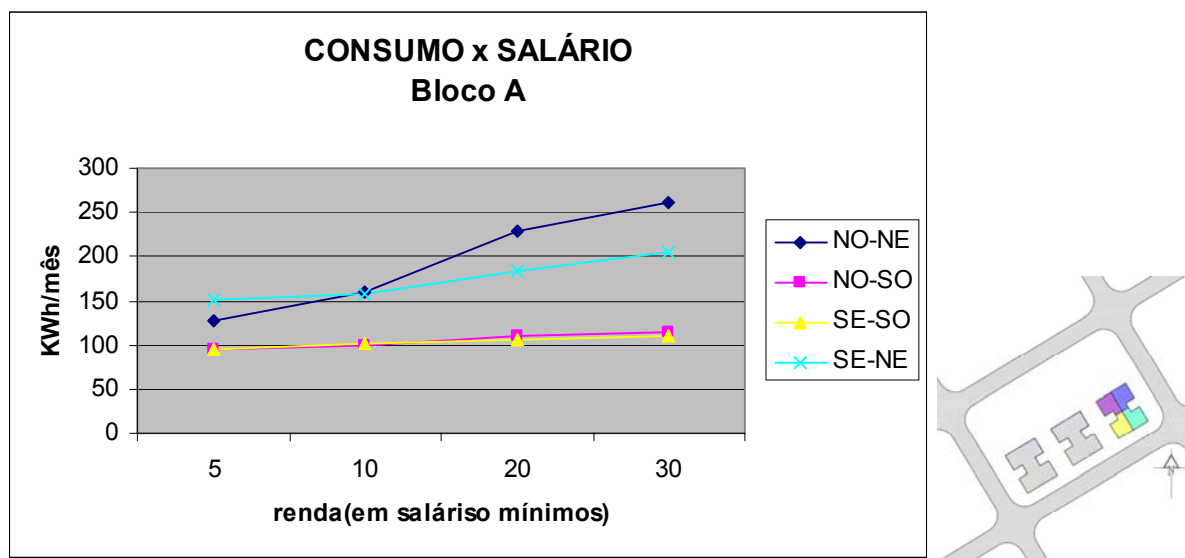


Gráfico 6.12 Consumo em função da renda familiar no bloco A

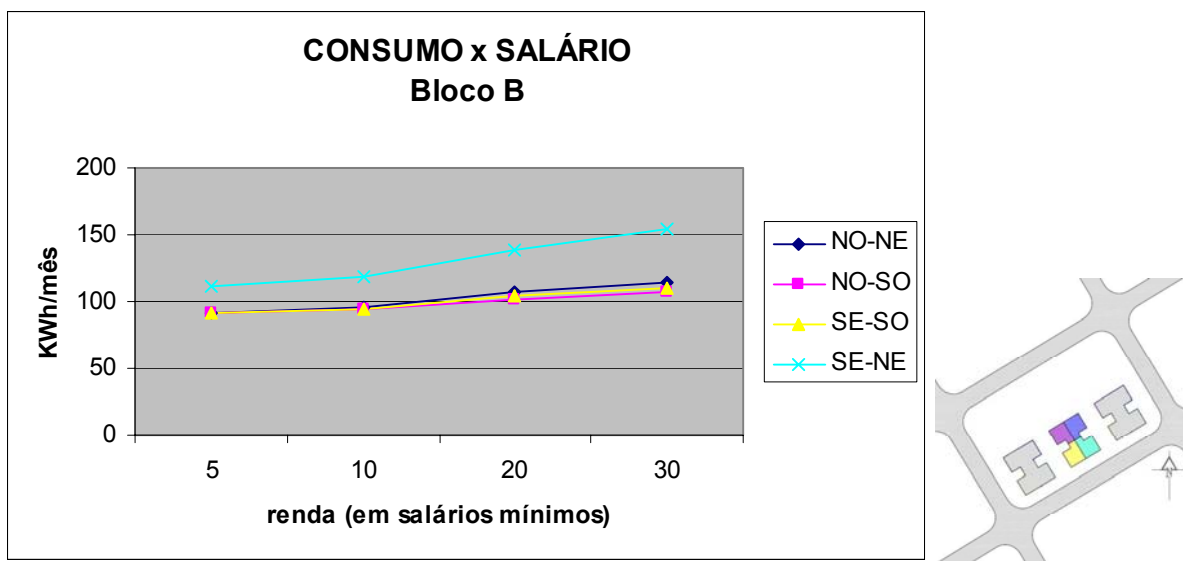


Gráfico 6.13 Consumo em função da renda familiar no bloco B

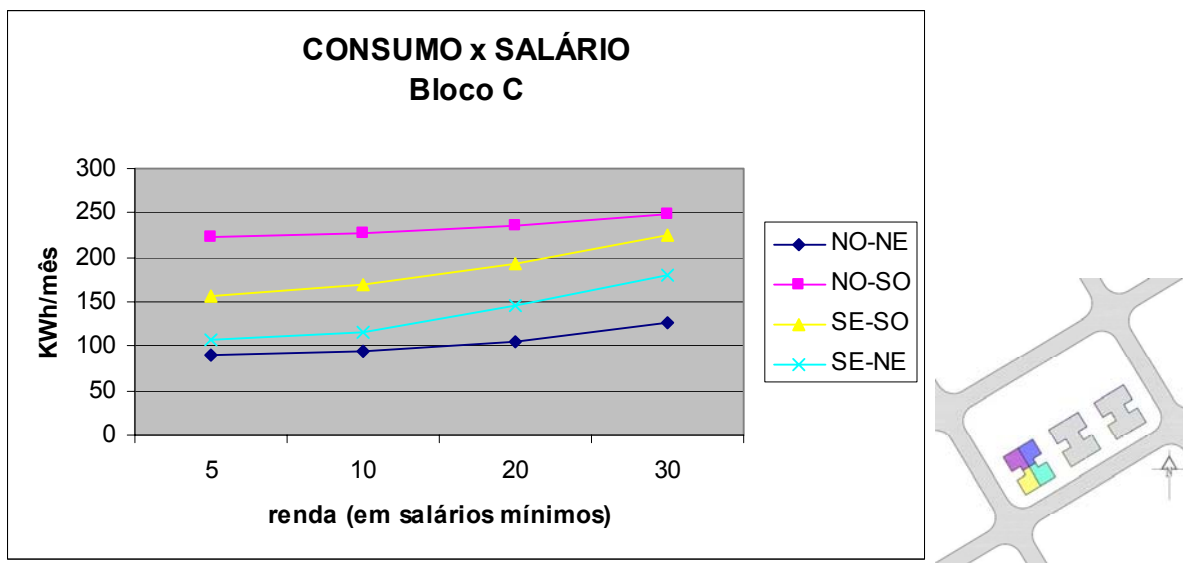


Gráfico 6.14 Consumo em função da renda familiar no bloco C

Observa-se que o aumento da renda familiar incorre no aumento do consumo em todos os casos. O consumo de energia elétrica é fortemente determinado pela renda familiar. Renda familiar mais alta representa maior poder aquisitivo de equipamentos consumidores de energia elétrica.

Esses resultados por si só demonstram que modelo selecionado está gerando respostas coerentes com o que se espera.

Algumas fachadas apresentam resposta mais acentuada para esta variável, como pode ser verificado pelo exemplo do bloco A, observando-se os apartamentos da fachada NO-NE.

A taxa de aumento varia também em função do bloco. Sendo tomado o bloco C como exemplo, verifica-se que as curvas representativas dos consumos nas diferentes fachadas apresentam coeficiente angular bastante semelhante entre si.

6.7 ANÁLISE DA PRESENÇA DE FREEZER E DE AR CONDICIONADO

Foram consideradas as médias anuais dos consumos mensais, alterando-se a existência de freezer e de ar condicionado. Os gráficos 6.15 a 6.17 indicam esses resultados, para os quais o valor da abscissa é representado por 0 (zero), para a ausência do equipamento, e 1 (um), para a presença do equipamento.

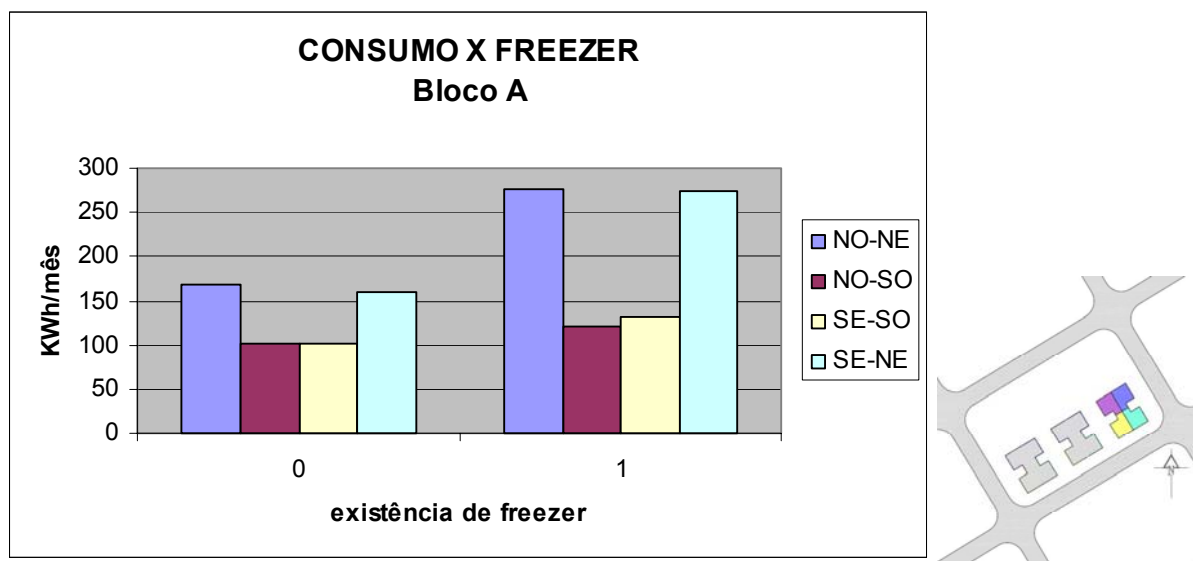


Gráfico 6.15 Consumo em função da existência de freezer no bloco A

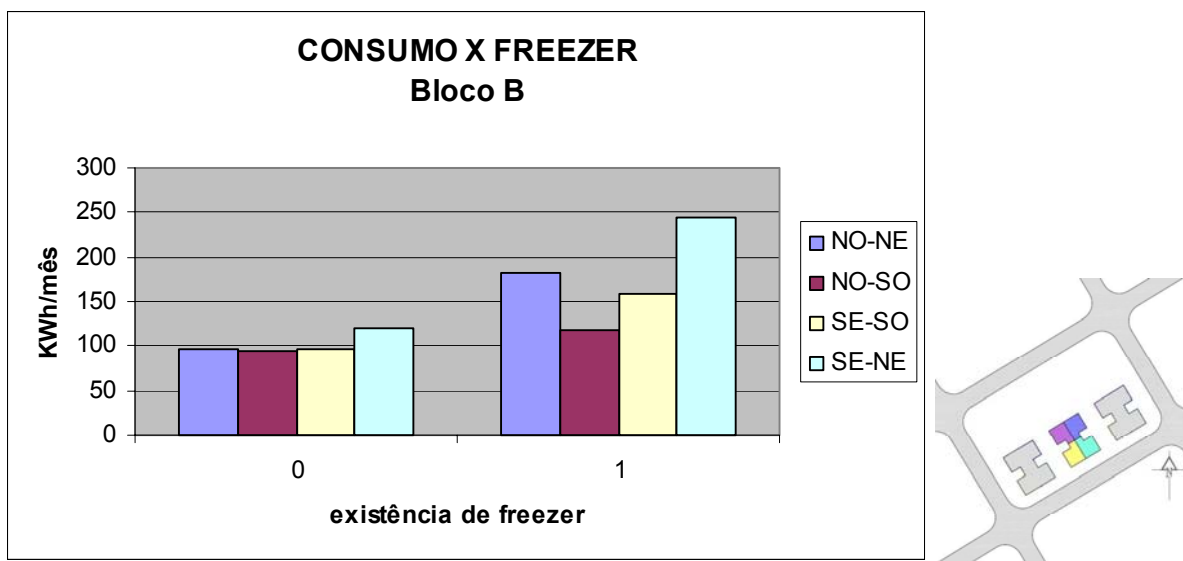


Gráfico 6.16 Consumo em função da existência de freezer no bloco B

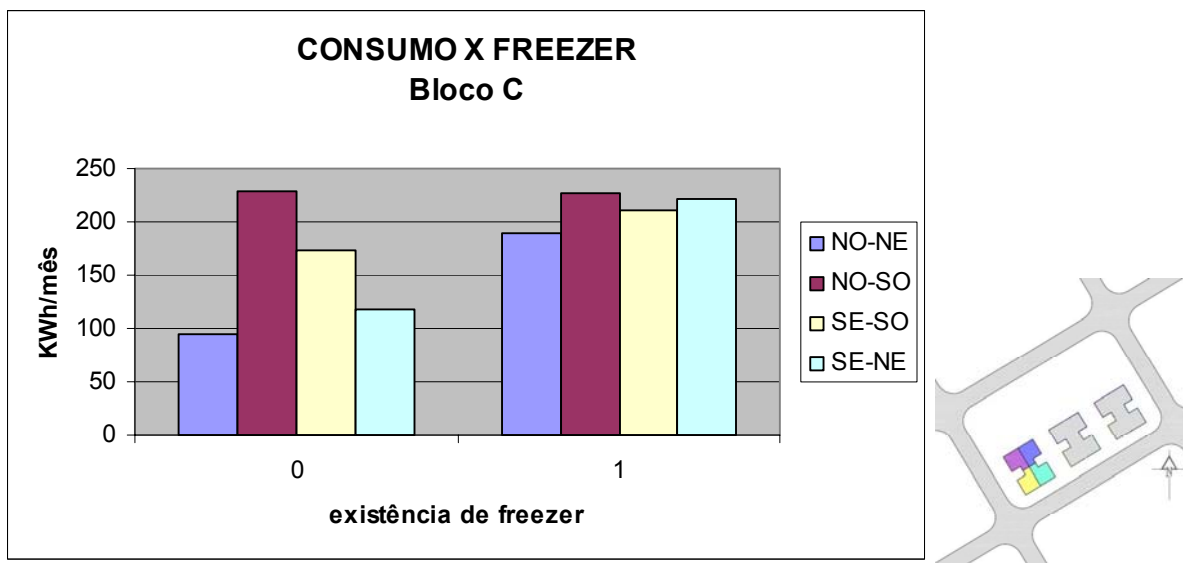


Gráfico 6.17 Consumo em função da existência de freezer no bloco C

Quanto ao freezer, para todas as fachadas e blocos, a presença do equipamento freezer implica necessariamente no aumento do consumo de energia elétrica. Porém, para as fachadas e blocos mais expostos ao sol, esse aumento é mais significativo.

Esse comportamento se repete para os gráficos 6.18 a 6.20, nos quais é possível verificar a influência do ar condicionado no consumo de energia elétrica. Nelas o valor 0(zero) representa a ausência do equipamento e 1(um) a existência do equipamentos.

Assim como para o freezer, a presença do ar condicionado implica necessariamente no aumento do consumo de energia elétrica.

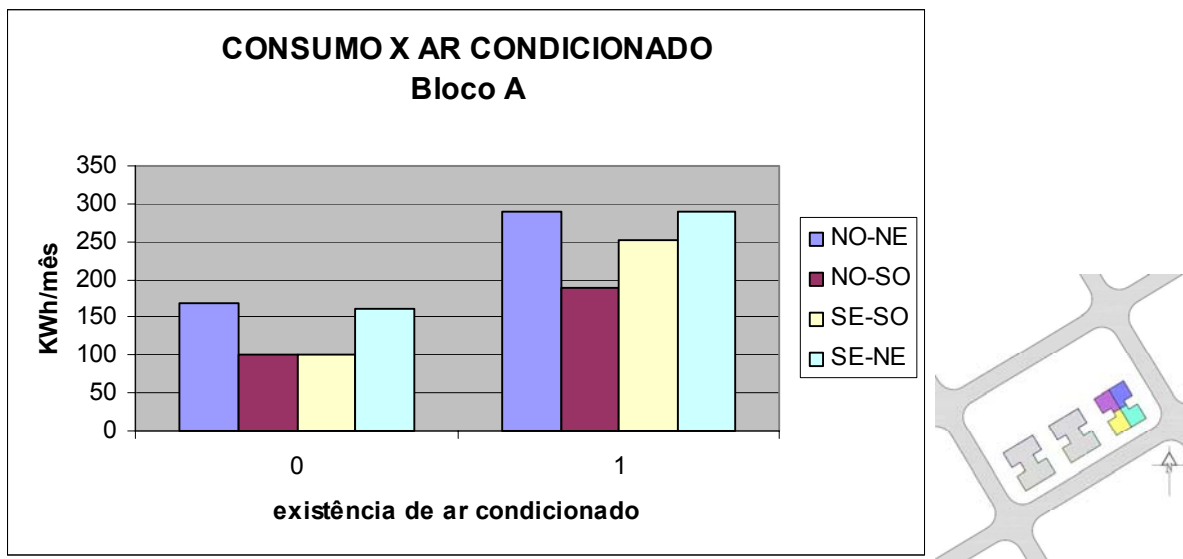


Gráfico 6.18 Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco A

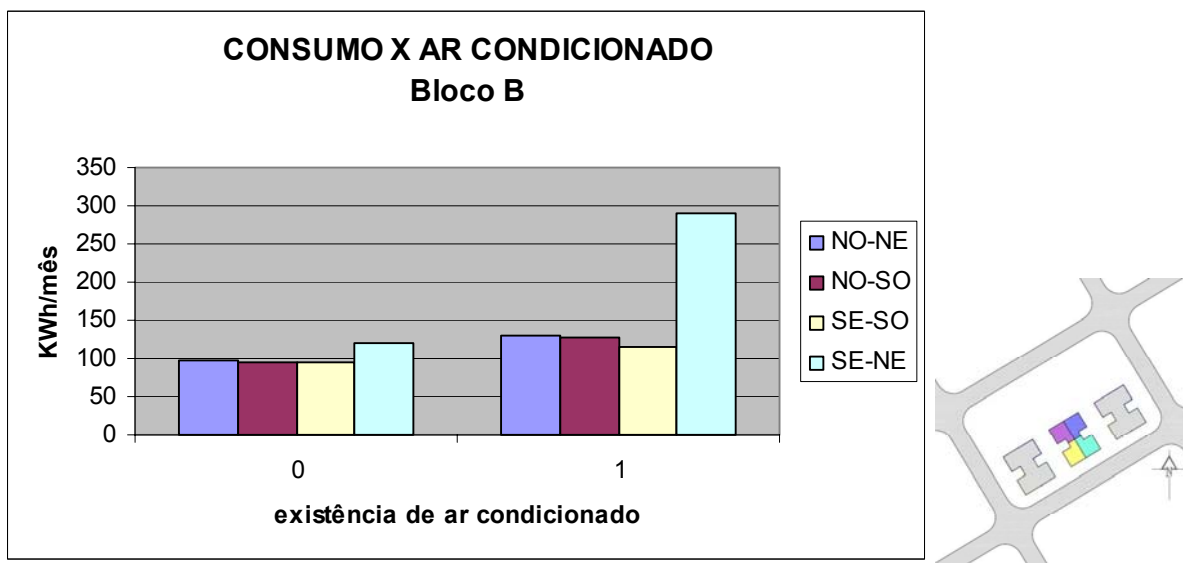


Gráfico 6.19 Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco B

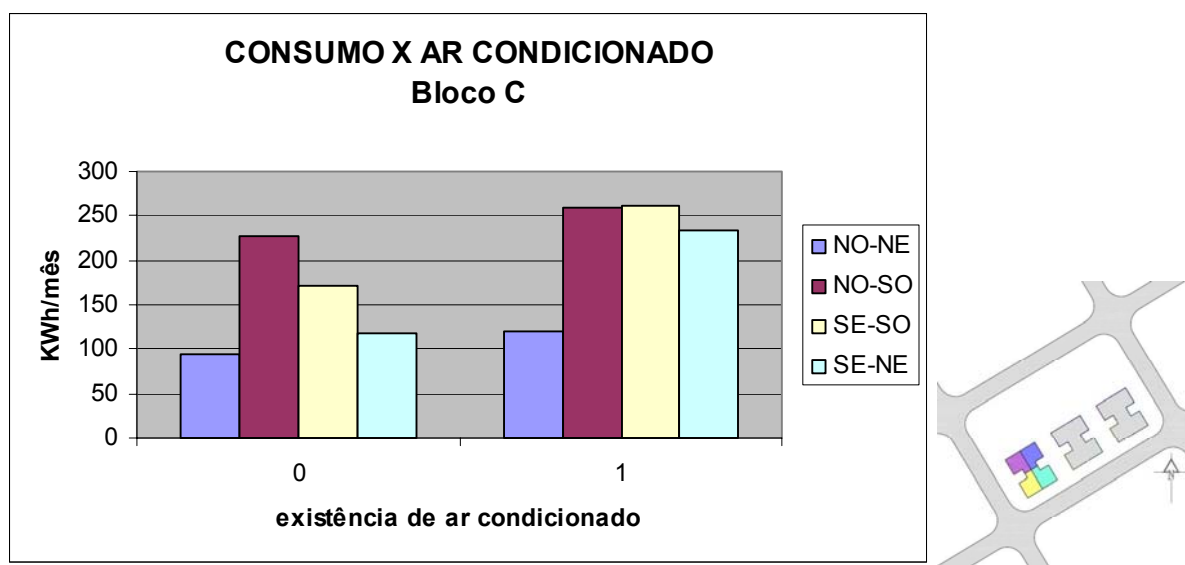


Gráfico 6.20 Consumo em função da existência de ar condicionado no bloco C

No caso do ar condicionado, a presença do equipamento pode representar mais de 100% de aumento no consumo de energia, como pode ser verificado na fachada NO-SO do bloco A.

6.8 DISCUSSÃO SOBRE AS VARIÁVEIS DE IMPLANTAÇÃO

Pelo número de dados envolvidos, essa análise não seria facilmente realizada apenas pela comparação direta de valores reais, já que cada apartamento analisado encontra-se em uma determinada condição. Nesse sentido, as RNA se mostraram bastante eficientes, permitindo a identificação da importância relativa de cada variável no consumo de energia.

Quanto à relevância das condicionantes de implantação, fica evidenciada a orientação como fator fundamental para o consumo de energia elétrica, porém, o peso das variáveis é bem distribuído, com todas assumindo valores próximos e variando entre 7% e 15%. Isso sugere que todas as variáveis são indispensáveis para a previsão do consumo. De fato, essa hipótese foi confirmada quando a tentativa de desconsiderar as variáveis de menor importância (abaixo de 10%), levaram a uma queda no desempenho do modelo.

Na comparação entre os três blocos, observa-se que o bloco A é aquele implantado mais à leste e o bloco C mais a oeste, estando o bloco B entre os dois. Considerando-se a questão de insolação, os blocos A e B deveriam apresentar menor consumo de energia do

que o C, já que esse recebe radiação solar direta no período da tarde. De um modo geral isso se confirma.

Um quadro-síntese na tabela 6.1 indica as principais informações extraídas dessas discussões.

TABELA 6.1 Quadro síntese da influência das variáveis de implantação no consumo de energia elétrica

ORIENTAÇÃO	Tendência de consumo em relação à média de 150kWh/mês	Incremento de Altura (de 3 a 36m)	Incremento de FVC (de 0,3 a 0,5)	Questão prioritária
NO-NE	↔	↓ até 24m ↔ acima de 24m	↑	lumínica e térmica
NO-SO	↑	↔	↔	térmica
SE-SO	↑	↔	↓	lumínica
SE-NE	↓	↔ abaixo de 18m ↑ acima de 18m	↑	térmica

Legenda:

- ↓ redução de consumo com o incremento da variável
- ↑ aumento de consumo com o incremento da variável
- ↔ neutralidade de consumo com o incremento da variável

Quando considerada a questão da altura dos pavimentos, os apartamentos a NO-NE sofrem mais influência do que os demais, reduzindo os seus consumos com a altura até 24m. Acima de 24m a queda permanece estabilizada. Isso indica que a melhor eficiência energética devido ao incremento da altura ocorre para apartamentos a NO-NE, somente até o oitavo pavimento. Por outro lado, quando estudado o incremento do FVC para essa mesma orientação, ocorre tendência de aumento do consumo. Esses dois parâmetros agindo em conjunto acabam por se compensar e equilibrar o consumo desses apartamentos.

No caso de apartamentos a NO-SO, apontados como os maiores consumidores, tanto o incremento na altura, como do FVC, não representa alteração significativa no seu consumo. Acredita-se que a sua incidência solar desfavorável, devido à orientação, restrinja a ação das demais variáveis de implantação. Isso indica que a questão térmica está sendo prioritária para o consumo nessas fachadas.

Para aquelas fachadas sobre o quadrante SE-SO, apesar do aumento da altura não representar alteração significativa de consumo, o incremento do FVC leva a uma redução. Como esses apartamentos só sofrem incidência solar direta em horários restritos no início e fim do dia, o aumento do FVC leva à maior disponibilidade de luz natural, não influenciando em escala significativa na questão térmica, mas melhorando o conforto lumínico. Nesse caso, o uso da luz artificial pode ser minimizado pelo aumento do FVC.

Quanto aos apartamentos voltados a SE-NE, que são os menores consumidores, o incremento na altura e no FVC resultam em aumento do consumo de energia elétrica. São os apartamentos que oferecem melhor condição de insolação. Pode estar indicando que a maior disponibilidade de luz não é prioritária em relação à questão térmica.

Para chegar aos resultados, os seguintes parâmetros construtivos foram levados em consideração: orientação, altura do pavimento e fator de visão do céu (FVC), além de dados do consumo de energia elétrica e do perfil do usuário. Para determinar a importância relativa de cada variável foi desenvolvido um modelo de Redes Neurais Artificiais (RNA).

Com o auxílio das RNA foi possível identificar tendências de consumo de energia elétrica e extrair informações importantes para o projeto do edifício. Os resultados indicaram que além da orientação, outras características de implantação do edifício, como a altura do pavimento e o fator de visão do céu, têm papel fundamental no consumo de energia elétrica, devendo ser características ponderadas desde o projeto.

Dentre as orientações estudadas, os apartamentos mais consumidores são aqueles voltados a NO-SO, o que indica ser esta uma fachada cuja localização de aberturas representa queda na eficiência do apartamento. Os menores consumidores são representados por apartamentos voltados a SE-NE, já que recebem insolação em horários do início do dia, portanto em horários de temperatura mais baixa.

Em relação à altura das edificações, os resultados para as fachadas NO-NE e SE-NE indicam que acima de 24m de altura não há melhoria na eficiência energética do apartamento. Isso corresponde a um edifício de no máximo 8 pavimentos.

Com relação ao FVC, o aumento ou queda no consumo de energia com o incremento do FVC é variável, conforme a fachada considerada. Quando este aumento representa alto ganho de calor por aumento do tempo de insolação, o aumento no FVC entre valores que variam de 0,3 a 0,5, tende a representar incremento no consumo de energia elétrica. Porém para fachadas cuja incidência solar é mais restrita, esse aumento pode significar redução no consumo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Esse trabalho abordou as relações de variáveis de implantação do edifício com o consumo de energia elétrica de unidades residenciais e apresentou um estudo de caso realizado na cidade de Bauru/ SP tendo como objeto de estudo um conjunto habitacional multifamiliar verticalizado.

As hipóteses da relação entre geometria urbana e o consumo de energia elétrica, e ainda, de extração de diretrizes projetuais para melhor desempenho energético do edifício, foram validadas. Observa-se que existe também a possibilidade de expansão de tais diretrizes com a verificação de outras variáveis, empregando-se a mesma metodologia.

A dissertação buscou alertar sua preocupação com o crescimento do consumo de energia elétrica, que aliado às questões ambientais, trouxe a discussão à busca por alternativas que melhorem o desempenho de potenciais consumidores e também fundamentar o planejamento de ações estratégicas que aliem o desejo de desenvolvimento com a questão da sustentabilidade.

A propósito da questão da construção das cidades, ficou validada a necessidade de que os atores envolvidos se apropriem cada vez mais das técnicas e princípios bioclimáticos, como forma de contribuir para que o ambiente construído se adeque às condições mínimas de conforto almejadas pelos usuários, sem a necessidade de utilização de métodos que demandem o consumo de energia elétrica.

Espera-se, assim, que não apenas o poder público tenha a responsabilidade de se valer das características climáticas regionais durante a formulação de normas e leis que regem a construção das cidades, mas também, os profissionais envolvidos devem cada vez mais buscar a excelência na prestação de seu serviço, através da aquisição do conhecimento do comportamento esperado advindo de suas decisões projetuais.

Sobre as dificuldades encontradas, alguns itens levantados nas fichas de caracterização e algumas questões do perfil do usuário se mostraram muito homogêneos para ter relevância em um estudo no qual foi considerado um único tipo de planta de pavimento-tipo, porém estudos futuros podem se valer desses na comparação de tipologias diferenciadas.

A experiência com a utilização da ferramenta computacional na determinação do FVC demonstrou a facilidade com que esse dado pode ser obtido atualmente e os resultados demonstraram sua relevância quanto ao objeto de estudo analisado.

Em relação à aplicação de redes neurais, esta se mostrou um método passível de ser empregado em Ergonomia Urbana, como uma ferramenta auxiliar na identificação de alvos a serem analisados em um plano de intervenção estratégica. A aplicação da técnica é simples e atinge resultados confiáveis.

Salienta-se que os resultados aqui alcançados auxiliam diretamente ao projeto CEU, contribuindo para o banco de dados que se encontra em construção sobre a região de estudo.

Em síntese, espera-se que os apontamentos desse trabalho possam servir de base para futuros estudos, projetos e discussões acerca da questão de Ergonomia Urbana. Sugere-se, desta forma, a continuidade e intensificação das pesquisas sobre o assunto, buscando-se a adequação dos arranjos construtivos urbanos às características climáticas locais, promovendo o desenvolvimento de espaços edificados capazes de gerar conforto aos usuários com menor dispêndio de energia.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, J. E. C.; CABÚS, R. C. Conforto térmico em apartamentos de um conjunto habitacional de Maceió/AL. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1-8.

ALUCCI, M. P.; BUORO, A. B. Aplicação do software Fachada 2.0 para avaliação do desempenho térmico de fachadas com e sem brise. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 9-16.

AMORIM, C. A.; FLORES, A. L. Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília: aspectos de preservação e conforto ambiental. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 37-46.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Prorrogado prazo para comprovação de renda por beneficiário da tarifa social**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticia.cfm?Identidade=1989&id_area=90 (Acesso março de 2007)

ASSIS, E. S. **Critérios de acessibilidade ao sol e à luz natural para conservação de energia em escala de Planejamento Urbano**. In.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Foz do Iguaçu, 2002, p. 991-1000.

_____. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 92-101.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse**. São Paulo, ABNT, 2005.

BAHIA, S. R. **Modelo para elaboração de código de obras e edificações**. Rio de Janeiro: IBAM/PROCEL, 1997.

BARBOSA, A. H., FREITAS, M. S. R., NEVES, F.A. **Confiabilidade estrutural utilizando o método de Monte Carlo e redes neurais**. Ouro Preto, MG, 2005. 247-255p

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Tese de Doutorado em Engenharia, UFSC, Florianópolis, 1997.

BÄRRING, L.; MATTSSON, J.O.; LINDQVIST, S. (1995). **Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö**, Sweden. Journal of Climatology, v.5, p.433-444.

BLANKENSTEIN, Simone, KUTTLER, Wilhelm. **Mobile measurements of downward longwave radiation in urban street canyons**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 5., 2003, Łódz. Proceedings... Łódz: Faculty of Geographical Sciences Department of Meteorology and Climatology, University of Łódz, 2003. 1 CD-ROM

BRANDÃO, R. S.; ALUCCI, M. P. Procedimento para avaliação do impacto de novas edificações no consumo energético do entorno. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 230-239.

BRASIL, Medida Provisória nº 2.152-2, de 1º de junho de 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em:
<<http://www.pge.sp.gov.br/centrodeestudos/boletins/boletim52001/legislacao/federal/medida%20provisoria%20n%202152-2.htm>> (acesso agosto de 2006)

BUSTOS ROMERO, M. A. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público** 1.ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 225p.

CAMPOS, R. F.; SCHEER, S. Análise comparativa das orientações norte e sul na ocupação do setor estrutural de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 260-269.

CARLO, J., GHISI, E., LAMBERTS, R., MASCARENHAS, A. C. Eficiência energética no Código de Obras de Salvador. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**, Curitiba: ANTAC, 2003, p.995-1001.

CARRIÈRES, K. M.; RORIZ, M. Desempenho térmico e consumo energético de edifícios de escritórios em São Carlos, SP. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. **Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió: ANTAC, 2005, p. 2222-2224.

CÂMARA BRASILEIRA DE INVESTIDORES EM ENERGIA ELÉTRICA. **Cenários de crescimento e requisitos para a retomada de investimento**. Disponível em: <<http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/EstudoCenarios-CBIEETendencias.pdf>> (acesso março de 2005)

CHANDLER, T.J., **Urban Climate and its relevance to urban design**, World Meteorological Organization, Geneva, 1976.

CHAPMAN, L., THORNES, J.E.; BRADLEY, A.V. (2001): **Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets**. *Theoretical and Applied Climatology*, p 81-89. Disponível em: <www.cert.bham.ac.uk/research/urgent/canyongeometry.pdf> (acesso março de 2005)

CHAPMAN, L.; THORNES, J.E.; BRADLEY, A.V. (2001A). **Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 2: Numerical Meteorological Applications** 8.

CHAPMAN, LEE (2000). **Improved one dimensional energy balance modelling utilising sky-view factors determined from digital imagery**. Proceedings of the 10th SIRWEC Conference, Davos-Switzerland, March, 2000. Disponível em: <www.sirwec.org/conferences/davos2000.html> (acesso março de 2005)

CORREA, J. R. **Projeto CEU - Consumo de Energia Urbano**. 2005. (Relatório Final – PIBIC/CNPq)

DUTRA, L; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F; GOULART, S. **Eficiência Energética**. Santa Catarina, CNPq/PROCEL/Eletronbras/RHAE, 1998. (multimídia)

ELETRORRÁS, PROCEL – Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, **Eficiência Energética na Arquitetura**, 1998.

FARIA, J. R. G. **Ventilação na camada intra-urbana: o caso de Bauru**. São Carlos, **paginação irregular**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 1997

FARIA, J. R. G. SOUZA, L. C. L **Contribuições para o desenvolvimento sustentável em cidades portugues e brasileiras**, In: Caracterização do campo térmico intra-urbano.1º Ed., Coimbra, Almedina, 2004, V1, p. 43-52.

FERREIRA, F. C. **Qualidade ambiental e eficiência energética em escolas de ensino fundamental e médio da rede estadual de escolas públicas de Minas Gerais.** In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 2247-2248.

FONTANA, A. R. FARIA, J. R. G. **A influência da tecnologia construtiva no conforto térmico: o caso da Vila Tecnológica de Bauru - SP.** In: X Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 1998, Rio Claro - SP. Anais do X Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 1998. p. 416.

FIEC Federação das Indústrias do Estado do Ceará. **Será que esses números não dizem nada?** Disponível em:

<www.fiec.org.br/acoes/energia/informacoes/evolucaooferta.htm> (acesso agosto de 2006).

FUNDAÇÃO SEADE. **Região Administrativa de Bauru.** São Paulo 1996. Disponível em: <www.seade.gov.br/produtos/iprs/analises/RABauru.pdf> (acesso em agosto 2006).

GENCHI, Y.; ISHISAKI, M.; OHSSHI, Y., KIKEGAWA, Y., TAKAHASHI, H.; INABA, A. **Impacts of large-scale photovoltaic panel installation on the heat island effect in Tokyo.** In: Internacional Conference, 5, 2003, Lodz, Poland. CD-R.

GOLDEMBERG, JOSÉ. **Pesquisa e desenvolvimento na área de energia.** São Paulo Perspectiva, jul./set. 2000, vol.14, no.3, p.91-97.

GONÇALVES, H.; NASCIMENTO, C.; MALDONADO, E. **Edifícios energeticamente eficientes em Portugal.** In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 8, e Conferência Latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 818-827.

GONÇALVES, H. **Um edifício solar passivo com integração de um sistema fotovoltaico na fachada.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 811-817.

GREENPEACE. **O Protocolo de Kyoto,** campanha energia. Disponível em <http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf> (acesso em novembro de 2006).

JOHNSON, G.T; WATSON, I.D. **The determination of view-factors in urban canyons.** Journal of Climate and Applied Meteorology, v.23, 1984, p.329-335.

KIKEGAWA, Y.; KONDO, H.; GENCHI, Y.; HANAOKI, K. **Evaluation of countermeasures against urban heat island with the consideration of interaction between urban thermal environment and building energy use.** In: Internacional Conference, 5, 2003, Lodz, Poland.

KRUGER, E. L.; LIMA, L. P. **Avaliação dos efeitos das condições climáticas locais nos graus de conforto e no consumo de energia das edificações.** In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 940-947.

LAMBERTS, R.; LOMARDO, L.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. **Eficiência energética em edificações: estado da arte.** Rio de Janeiro: PROCEL, 1996.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. P. **Eficiência energética na arquitetura.** ELETROBRÁS, 1997.

LANDSBERG, H. E. **Inadvertent atmospheric modification through urbanization.** In: Weather and Climate Modification. W. Hess, Ed., John Wiley and Sons, New York, 1974, 726-763.

_____. **The urban climate.** New York, Academic Press, 1981, 276p.

LEME, F. T. **Fase B – Expansão da coleta de dados de consumo de energia e armazenamento.** Projeto CEU. Relatório final, PIBIC 2004/2005.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor urbano nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo, Hucitec. 1985

MASCARENHAS, A. C. R., NUNES, D. **Avaliação do consumo de energia após melhoria nas instalações elétricas internas e substituição de lâmpadas em habitações populares.** In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1146-1155.

MASCARÓ, L. **Energia na edificação: energia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projetos editores associados, 1985.

_____. **Ambiência Urbana – Urban Environment.** European Comission, Directorate-General XVII, Energy. Faculdade de Arquitetura – UFRGS 1º ed. Porto Alegre: Ed. Filiada, 1996

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** 2d. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto. 1992. p. 134

_____. **Vegetação Urbana.** 2. ed. Porto Alegre: Ed. Mais Quatro. 2005. 204 p.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: Problemas e perspectivas.** São Paulo, IGEOG-USP. (Série Teses e Monografias), 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano.** São Paulo, Contexto, 2003.

NAKATA, C. **Projeto CEU – Consumo de Energia Urbano - Fase de Expansão e Armazenamento de Dados Sobre Vegetação**. Projeto CEU. 2006. Relatório Parcial PIBIC – CNPQ 2005/2006. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, Bauru.

NAKAMATSU, R.; TSUTSUMI, J. G.; ARAKAWA, R. **Relations of energy consumption and local climate in a subtropical region**. In: Internacional Conference, 5, 2003, Lodz, Poland. CD-R.

OKE T. R. **City Size and the Urban Heat Island**. IN: Conference on Urban Environment and Second Conference on Biometeorology Sponsored by the American Meteorological Society. Philadelphia: A.M.S. 1972. p. 144-146.

_____. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations**. Journal of Climatology, v.1-4, 1981, p.237-254.

OLIVEIRA, A. P. **Relações entre o Consumo de Energia Elétrica, a Geometria Urbana e o Perfil do Usuário**. Projeto CEU. 2006. Relatório Parcial PIBIC – CNPQ 2005/2006. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, Bauru.

PAPA, R. P.; JOTA, P. R. S.; ASSIS, E. S. **Normalização do consumo específico do edifício sede da CEMIG em função da temperatura externa**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1416-1423.

PEDROTTI, F. S. **Fase B – Expansão da coleta de dados de consumo de energia e armazenamento**. Projeto CEU. 2004. Relatório Final PIBIC – CNPQ 2003/2004. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, Bauru.

PIMENTA, G. C.; KRAUSE, C. B. **Legislação edilícia e eficiência energética: uma discussão sobre os vãos de ventilação adotados pelo código de obras do Rio de Janeiro**. In.: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 6, e Conferência Latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 3, 2001, São Pedro. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: ANTAC, 2001, CD-ROM

PIRRÓ, L. F.; SARAIVA, J. A. G.; ROMÉRO, M. A. **O consumo de energia em edifícios de serviços**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1535-1542.

RATTI, C.F.; RICHENS, P. **Urban texture analysis with image processing techniques**. Proceedings of the CAADFutures99, Atlanta, GE. 1999

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A. ASSIMAKOPOULOS, D.N., 2001: **On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings**. Solar Energy, 70(3): 201-216.

SANTOS, I. G.; LIMA, H. G.; ASSIS, E. S. **Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva**. In: VII ENCONTRO NACIONAL E III CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO, 2003, Curitiba. Anais do ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003.

SANTOS, M. B. G.; CARVALHO F.; SILVA, L. B. **A produção científica de eficiência energética nos anais dos encontros de conforto ambiental: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1735-1740.

_____. **Utilização racional de energia, eficiência energética e sustentabilidade do ambiente – identificação do perfil das concepções dos alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFAL**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1715-1724.

SCARLATO, F. C., PONTIN, J. A.. **O ambiente urbano**. Série meio ambiente. São Paulo: Ed. Atual, 1999

SCHILLER, S. **Building form, tranformation o the urban tissue and the evaluation of the sustainability**. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001. Proceedings. Florianópolis, 2001. p453-461.

SILVA, A N.R.; RAMOS, R. A R.; SOUZA, L.C.L.; RODRIGUES, D.S.; MENDES, J.F.G. **SIG – Uma Plataforma para Introdução de Técnicas emergentes no Planejamento Urbano, Regional e de Transportes: uma Ferramenta 3D para Análise Ambiental Urbana, Avaliação Multicritério, Redes Neurais Artificiais**. São Carlos, SP: Ed. dos Autores, 2004. 227p.

SOUZA, L. C. L. **Influência da Geometria Urbana na Temperatura do Ar ao Nível do Pedestre**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. (Tese de Doutorado). São Carlos, 1996.

SOUZA, L. C. L, MONTANARI, E. **Architecture and energy consumption: the study of two residential buildings in Bauru, SP, Brazil**. In: Proc. of the PLEA 99 Conference, Brisbane - Australia, 1999. p. 295-300.

SOUZA, L. C. L. **Uma ferramenta para análise espacial em um SIG 3D para aplicação em conforto ambiental ao nível urbano**. Braga, Universidade do Minho, 2002/2003 (Relatório de Pesquisa de Pós-Doutorado – FAPESP)

SOUZA, L.C.L; RODRIGUES, D.S; MENDES, J.F.G. **Implementing a geometry-related enviromental indicator in a 3D-GIS**. In: 20TH PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE - PLEA 2003, 2003, Santiago. Proceedings of PLEA 2003. Santiago: PLEA, 2003.

SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. & MENDES, J. F. G. **A 3D-GIS extension for sky view factors assessment in urban environment** In: 8th INTERNATIONAL COFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT – CUPUM, 8, 2003, Sendai, Japan. Proceedings... Sendai, Japan, 2003, p. 27 – 29.

SOUZA, L.C.L; RODRIGUES, D.S; MENDES, J.F.G. **Enhancing 3DskyView Extension performance: a multi-observer determination of sky view factors**. Recent Advances in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning. Dortrecht, Kluwer, 2004.

SOUZA, L. C. L.; PEDROTTI, F. S.; LEME, F. T.; CORRÊA, J. R. **Consumo de energia urbano: influência do perfil do usuário, da geometria urbana e da temperatura**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 1960-1969.

STEYN, D.G. **The calculation of view factors from fisheye-lens photographs**. Atmosphere-Ocean, v.18, n.3, 1980, p.254-258.

SVENSSON, Marie K. **Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences**. 2004. Göteborg, Suíça. Disponível em: <http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/skyviewfactoranalysis.pdf>. (acesso em: dezembro de 2004).

TAVARES, M. C. P. et. al. **Análise do uso de energia em habitações autoconstruídas antes e depois das medidas de racionamento implantadas pelo governo – estudo de caso – Santo André período 2000 – 2002**. In: NUTAU 2002. Anais. CD-ROM.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. **Consumo de energia para construção, manutenção e operação das edificações residenciais no Brasil**. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 4, 2005, Maceió. Anais dos Encontros Nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió: ANTAC, 2005, p. 2037-2045

TORRES, S. C. **Arranjos Construtivos Urbanos: Um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL.**, Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. p. 120.

TOUDERT & BENSALÉM. **A methodology form for climatic urban design**. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001. Anais. Florianópolis: PLEA, 2001.

VILLAROUCO, V. **Avaliação ergonômica do projeto arquitetônico**. Anais do VII Congresso Latino-Americano de Ergonomia, I Seminário Brasileiro de Acessibilidade Integral, XII Congresso Brasileiro de Ergonomia. Recife, 2002.

VOGT C. **Haja Energia!** Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/energiaeletrica/energia01.htm>, (acesso em novembro 2006).

WILLIAMSON, T. J. ERELL, E. 2001: **Thermal performance simulation and the urban microclimate: measurements and prediction**. Proceedings of 7th IBPSA, Rio de Janeiro, Brasil: International Building Performance Simulation Association: 159-166.