

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Glacir Teresinha
Fricke E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 21/04/99


ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Um estudo sobre projeto bioclimático e conservação de energia

Autor: Glacir Teresinha Fricke
Orientador: José Tomaz Vieira Pereira

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

Um estudo sobre projeto bioclimático e conservação de energia

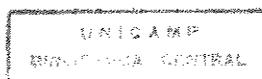
Autor: Glacir Teresinha Fricke
Orientador: José Tomaz Vieira Pereira

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos
Área de Concentração:

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

99/19626

Campinas, 1999
S.P. - Brasil



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TELEF.	877 39391
PREÇO	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	09/11/99
N.º CPD	

CM-00136844-1

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

Fricke, Glacir Teresinha
F911e Um estudo sobre projeto bioclimático e conservação de energia. / Glacir Teresinha Fricke.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: José Tomaz Vieira Pereira.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Arquitetura e clima. 2. Energia - Conservação. 3. Energia - Consumo. 4. Planejamento urbano - Fatores climáticos.
I. Pereira, José Tomaz Vieira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

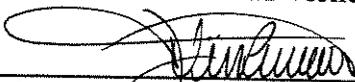
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

TESE DE DOUTORADO

**Um estudo sobre projeto bioclimático e
conservação de energia**

Autor: Glacir Teresinha Fricke

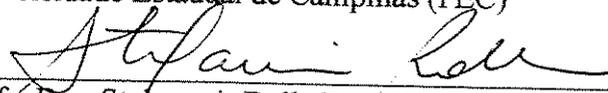
Orientador: José Tomaz Vieira Pereira



Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira, Presidente
Universidade Estadual de Campinas



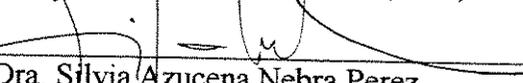
Profa. Dra. Doris C.C. K. Kowaltowski
Universidade Estadual de Campinas (FEC)



Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
Universidade Estadual de Campinas (FEC)



Prof. Dr. Sinclair Mallet-Guy Guerra
Universidade Estadual de Campinas (FEM)



Profa. Dra. Silvia Azucena Nebra Perez
Universidade Estadual de Campinas (FEM)

Campinas, 07 de abril de 1999.

Dedicatória:

Dedico este trabalho a Corina, Marcelo e Gustavo.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Dr. José Tomaz Vieira Pereira pelo incentivo, pelo acompanhamento, pela dedicação, pelas sugestões durante todo o período da realização deste trabalho.

Agradeço especialmente ao amigo José Emilio Mariorino.

Agradeço a Simone Furquim, pelo apoio durante todo o decorrer desta pesquisa.

Agradeço aos professores, aos colegas, principalmente a Valéria e Ana Mirthes, ao sempre dedicado Rodrigues, a querida e sorridente Maria Elena, a secretária Neusinha e aos demais funcionários que colaboraram para o êxito e finalização deste trabalho.

Agradeço ao CNPq, pela ajuda financeira, através de uma bolsa de estudos.

Sumário

Resumo	xiii
Abstract	xv
Introdução	1
I Materiais usados na construção civil	5
Introdução da Parte I	7
1 Materiais básicos	9
1.1 Madeira	10
1.1.1 Caracterização energética	12
1.2 Cerâmica vermelha	13
1.2.1 Caracterização energética	14
1.3 Estrutura Metálica	15
1.3.1 Caracterização energética	16
1.4 Estrutura de Concreto	16
1.4.1 Caracterização energética	17
1.5 Materiais da infra-estrutura	18
1.6 Considerações Finais	20
2 Materiais de acabamento	23
2.1 Cerâmica branca	23
2.1.1 Caracterização energética	24
2.2 Gesso	24

2.2.1	Caracterização energética	26
2.3	Argamassas	26
2.3.1	Caracterização energética	27
2.4	Metais não ferrosos	27
2.5	Madeira	29
2.5.1	Caracterização energética	29
2.6	Vidros	30
2.6.1	Caracterização energética	31
2.7	Polímeros	31
2.7.1	Plásticos	32
2.7.2	Tintas	33
2.7.3	Outras aplicações	33
2.8	Considerações Finais	34
3	Materiais alternativos	37
3.1	Uso do solo	37
3.1.1	Solo-cimento	38
3.1.2	Solo-cal	39
3.1.3	Sílico-calcário	39
3.2	Compósitos	40
3.3	Madeira de reflorestamento	41
3.4	Resíduos	42
3.5	Considerações finais	43
4	Estudos de Caso	45
4.1	Análise comparativa entre os valores dos conteúdo energético dos materiais	45
4.2	Conteúdo energético de edificações selecionadas	49
4.3	Resultados Obtidos	49
4.4	Discussão dos resultados e considerações finais	51
5	Conclusão da Parte I	55

II	Projeto arquitetônico bioclimatizado	59
	Introdução da Parte II	61
6	O projeto arquitetônico bioclimatizado	63
6.1	Principais aspectos relativos ao clima	66
6.2	Conforto térmico	71
6.3	Fatores que influem no projeto arquitetônico bioclimatizado	74
6.3.1	Ventilação natural	74
6.3.2	Iluminação natural	75
6.4	Partes da edificação	77
6.5	Considerações Finais	80
7	Conservação de energia x edificações	83
7.1	Os recursos naturais	84
7.1.1	Ventilação natural	84
7.1.2	Radiação solar	85
7.1.3	Vegetação	86
7.2	Recursos técnicos	87
7.3	Relatos de algumas experiências	90
7.3.1	Geometria das edificações	90
7.3.2	Processo construtivo, tipo de material e cores	92
7.4	Considerações finais	93
8	Estudo de casos - carga térmica das edificações	95
8.1	Cálculo da carga térmica	96
8.2	Análise dos resultados e considerações finais	99
9	Conclusão da Parte II	107
III	A questão energética no planejamento urbano	111
	Introdução da Parte III	113

10 Planejamento energético e planejamento urbano	115
10.1 Planejamento energético	117
10.2 Planejamento urbano	117
10.3 Zoneamento urbano de Barão Geraldo	118
10.4 O sistema viário e de transportes	119
10.5 Considerações finais	121
11 Planejando o acesso aos recursos naturais	123
11.1 O traçado das vias de circulação	124
11.1.1 Como facilitar o acesso à ventilação	126
11.2 Considerações finais	127
12 Estudo de Caso	129
12.1 Fatores ambientais que influem no planejamento urbano e energético	129
12.2 Resultados obtidos	131
12.3 Análise dos resultados e considerações finais	135
13 Conclusão da Parte III	139
14 Conclusão e recomendações	141
A Projetos arquitetônicos selecionados	145
Bibliografia	161

Resumo

FRICKE, Glacir T.: Um estudo sobre projeto bioclimático e conservação de energia. Campinas: FEM, UNICAMP, 1999. Tese de Doutorado. 184p.

Este trabalho mostra que existem formas de reduzir o consumo global de energia com a utilização de materiais menos energointensivos na construção, aliada a um projeto arquitetônico bioclimatizado e um planejamento urbano adequado. Este estudo foi desenvolvido segundo esses três aspectos, sempre com foco na questão energética. As conclusões apresentadas foram obtidas através de estudos de caso, realizados com dados reais de obras executadas na área de estudo, o Distrito de Barão Geraldo, município de Campinas. Os resultados sobre o consumo de energia referente aos materiais básicos usados na construção civil, obtidos nos estudos de caso da Parte I, apontam para um consumo médio aproximado de 480.10^3 kcal/m² de área construída. Os estudos de caso da Parte II identificam alguns dos principais fatores que influem na redução da carga térmica das edificações: paredes de um tijolo maciço rebocado dos dois lados, cobertura com isolamento através de laje de concreto com ventilação do ático e uso de cores claras. A parte III completa a análise, mostrando a importância do planejamento urbano para o provimento de acesso aos recursos naturais capazes de proporcionar economia de energia na manutenção e utilização das edificações.

Palavras-chave: arquitetura bioclimatizada, planejamento energético, conservação de energia.

Abstract

FRICKE, Glacir T.: A study about bioclimatic project and energy conservation. Campinas: FEM, UNICAMP, 1999. PhD. Thesis. 184p.

This work shows that there are ways of reducing global energy consumption by using less energy-consuming building materials, together with bioclimatic projects and adequate urban planning. The study has been developed according to these three aspects, always focusing on the energetic problem. The conclusions presented were obtained from case studies based on real data of buildings from the study area, Barão Geraldo, in Campinas city. The results about the energy consumption due to the materials used in buildings, obtained in the case studies of Part I, show an average of 480.10^3 kcal/m². The studies in Part II identify some of the main factors that can help the reduction of external heating of buildings: one-brick walls plastered on both sides, roof isolated with concrete ceiling and ventilated attic and walls painted with light colors. Part III completes the analysis, showing the importance of urban planning in providing access to the natural resources necessary for energy conservation in the use and maintenance of buildings.

Keywords: bioclimatic architecture, energetic planning, energy conservation.

Introdução

A arquitetura e o urbanismo podem contribuir significativamente no estabelecimento dos objetivos para um planejamento energético global, a partir do uso racional dos recursos naturais disponíveis.

Em 1970, os dados de consumo de energia no Brasil mostravam que 55% da energia total destinava-se à alimentação, uso residencial e construção civil.

No que se refere ao consumo, os setores mais importantes são o residencial, o industrial e de o transportes [1]. O consumo de energia no setor industrial tem se mantido, desde 1980 em 39% do total nacional, porém a participação dos energointensivos passou de 37% em 1970 para 60% em 1995. Isto se deve sobretudo à expansão da metalurgia para suprir o mercado externo (as exportações de aço, ferro-ligas e alumínio passaram em um período de 15 anos de 2,3 para 12,6 milhões de toneladas)[2]. Entre os elementos que compõem o setor industrial, o ferro-gusa e aço são responsáveis por 8,5% do consumo nacional, os não-ferrosos e outros metais usam 4,8%, a cerâmica 1,5% e o cimento 1,4%. Isto quer dizer que somente a industrialização destes materiais, que entram na construção civil, representa aproximadamente 50% do consumo do setor industrial. O setor de transportes durante os últimos 25 anos manteve-se com 20% do total do consumo de energia. Embora a frota de veículos tenha aumentado enormemente, estes passaram a ter maior eficiência por quilômetro percorrido. Já o consumo do setor residencial decresceu nesse período, de 34% para 16%. Essa diminuição é atribuída à substituição da lenha por GLP, que apresenta uma eficiência cerca de 7 a 10 vezes maior [2].

O objetivo deste trabalho é mostrar que existem formas de se reduzir o consumo global de energia com a utilização de materiais menos energointensivos na construção, um projeto bioclimatizado e um planejamento urbano adequado.

A porcentagem a ser conservada dependerá da tecnologia de fabricação dos materiais e da concepção da construção, fatores que estão sujeitos à aceitação de novas características que se afastam do tradicional.

A área de estudo, ver figura 6.1 no capítulo 6, está situada em Barão Geraldo, distrito pertencente ao município de Campinas, estado de São Paulo, localizado a 22° 53' de latitude sul e longitude 47° 05' a oeste de Greenwich. A altitude é de 669 metros. O relevo apresenta-se no seu entorno como montanhoso.

O município de Campinas é um dos mais importantes do estado de São Paulo. Sendo um dos que apresentam maior taxa de crescimento populacional, comercial, industrial e de serviços no estado, Campinas conta com infra-estrutura privilegiada, principalmente nas áreas de saúde e educação. Isto faz com que pessoas de outros municípios da região e também de outros estados desloquem-se para o município, procurando esses recursos. O projeto de interiorização da indústria, no estado de São Paulo, fez com que o município de Campinas se tornasse um pólo de desenvolvimento regional. Atualmente, Campinas está se configurando como uma região metropolitana, englobando os municípios de Sumaré, Paulínia, Americana e Santa Bárbara d'Oeste, atingindo até Limeira.

O distrito de Barão Geraldo conta com duas universidades, das mais importantes do país, a Universidade Estadual de Campinas e a Pontifícia Universidade Católica de Campinas, e um pólo de alta tecnologia. A área de saúde pública e privada conta com o Hospital de Clínicas da Unicamp, um Posto de Saúde, o Centro Médico, o Centro de Oncologia, Hospital Boldrini e o Hospital de Defeitos da Face. Apresenta população aproximada de 35 mil habitantes permanentes e 20 mil flutuantes. É constituído por 11 bairros com características bastante heterogêneas, desde o que diz respeito às necessidades básicas de infra-estrutura até o nível de renda.

Neste trabalho o assunto é apresentado em três grandes partes, todas com foco na questão energética.

Na primeira parte são tratados os materiais utilizados na construção civil e sua caracterização em termos energéticos. Ela compreende os capítulos 1, 2, 3, 4 e 5. Nos capítulos 1 e 2 são apresentadas as características e os consumos energéticos dos materiais básicos e de acabamento comumente usados nas construções em geral. No capítulo 3 são apresentados os materiais denominados materiais alternativos visando encontrar produtos que demandem menor consumo de energia para a sua fabricação. O resultado das pesquisas mostram os detalhes técnicos no que se refere à resistência e durabilidade dos materiais sem preocupação maior com o consumo de energia envolvido. O capítulo 4, intitulado *Estudos de Caso*, tem dois temas principais: o primeiro é a comparação entre os valores encontrados para o conteúdo energético de cada material de construção pelos diversos autores nacionais pesquisados; o segundo mostra o resultado dos cálculos do conteúdo energético de obras selecionadas, com dados sobre o que realmente foi usado na construção. No capítulo 5 é apresentada a conclusão da Parte I.

Na segunda parte, composta pelos capítulos 6 a 9, é tratado o projeto arquitetônico bioclimatizado. No capítulo 6 são apontados os fatores principais que influem no projeto arquitetônico bioclimatizado. No capítulo 7 são mostrados os recursos naturais e técnicos usados pelo projeto arquitetônico visando a conservação de energia. No capítulo 8, como na parte I, intitulado *Estudos de Caso*, são apresentadas as simulações para o cálculo da carga térmica, feitas com o programa Arqitrop. O capítulo 9 traz a conclusão da Parte II.

A terceira e última parte engloba os capítulos 10, 11, 12 e 13. O capítulo 10 discorre sobre o planejamento energético e o planejamento urbano, com destaque para a área de estudo. No capítulo 11 são mostradas formas de melhorar o acesso aos recursos naturais durante o planejamento urbano, com destaque para a ventilação, a radiação solar e a vegetação. No capítulo 12, *Estudos de Caso*, é feita uma avaliação de bairros da área de estudo quanto ao aproveitamento dos recursos naturais. No capítulo 13 é apresentada a conclusão da Parte III. E, por fim no capítulo 14 é apresentada a conclusão deste trabalho e algumas recomendações e sugestões para o prosseguimento e ampliação do mesmo.

Parte I

Materiais usados na construção civil

Introdução da Parte I

A Parte I como já foi apresentado na introdução geral deste trabalho trata dos materiais de construção. Esses materiais são empregados nas obras de engenharia civil, de uma forma direta ou como componentes de algum outro material. Por exemplo, o concreto necessita de areia, cimento e pedra para a sua obtenção.

O objetivo é apresentar os materiais usados nas construções da área de estudo bem como determinar o conteúdo energético que envolve a sua fabricação. Segundo Pietrobon et al [9], algumas técnicas para a determinação do conteúdo energético dos materiais de construção começam com os trabalhos de Kreijer em 1973 e do *handbook* de Boustead et al em 1979. A inclusão de aspectos ecológicos e ambientais passam a ser incorporados nos trabalhos de Vivesvaraya, em 1987; Cole et al em 1992; Oka et al em 1993; Connaughton, em 1993; Worrel et al e Buchmann et al em 1994. Os resultados obtidos por estes autores mostram diferenças que podem ser atribuídas as variações nas definições e nos processos de fabricação. Isto também ocorre com os trabalhos pesquisados de autores nacionais. Segundo o mesmo autor, no Brasil podem ser citados os trabalhos de Souza, em 1980; de Mascaró, em 1981 e 1988 e do M.I.C. em 1982. Mais recentemente podem ser citados os trabalhos de Guimarães em 1985, Pietrobon em 1994 e de Roméro em 1995.

No capítulo 1 são apresentados os materiais que compõem a estrutura da edificação, os chamados materiais básicos: madeira, cerâmica vermelha, aço, concreto e os materiais de infra-estrutura que são os materiais usados nas instalações hidráulicas e elétricas. No capítulo 2 são apresentados alguns materiais de acabamento: cerâmica branca, gesso, argamassas, metais não ferrosos, madeira, vidros e polímeros. Os capítulos 1 e 2 seguem o mesmo

esquema de apresentação, sendo divididos em duas partes: na primeira são descritas as principais características do material em estudo, e a segunda traz a sua caracterização energética. A caracterização energética tem como objetivo identificar os tipos e quantidades de energia envolvidos na produção desses materiais. Os materiais de construção destacados nestes dois capítulos são muito usados em obras da região de estudo.

No capítulo 3, sob o título: Materiais Alternativos, são apresentados os resultantes de pesquisas envolvendo solo-cimento, solo-cal, sílico-calcário, compósitos, madeira de reflorestamento e o uso de resíduos. Neste caso verifica-se uma lacuna com relação ao cálculo do consumo e o tipo de energia envolvendo a fabricação destes materiais pois as pesquisas ainda estão relacionadas com questões técnicas como resistência e durabilidade do material.

No capítulo 4, *Estudos de Caso* é apresentada a análise comparativa dos valores do consumo energético, encontrados pelos vários autores pesquisados e o cálculo do conteúdo energético dos materiais básicos que compõem a parte bruta de algumas construções selecionadas. As obras escolhidas são projetos arquitetônicos da autora deste trabalho, o que possibilitou o acompanhamento da execução e dos gastos com os materiais, feito através de anotações diárias. Assim os dados expressam de maneira fiel a realidade, no sentido que a análise não foi feita apenas com base no projeto arquitetônico e relações de material, pois os dados empregados incluem os desperdícios que ocorrem durante a execução de uma obra real.

No capítulo 5 é apresentada a conclusão desta Parte I.

Capítulo 1

Materiais básicos

Os materiais básicos empregados na moderna construção civil, sobretudo na parte estrutural das edificações, são ainda hoje praticamente os mesmos de centenas de anos atrás. Com efeito, mesmo um material *novo* como o concreto já era conhecido, em uma forma primitiva, pelos antigos romanos, que utilizavam em suas edificações uma mistura de pedaços de tijolos, mármore travertino e rocha vulcânica com uma argamassa composta de cal e uma areia especial, chamada pozzolana [3]. Os produtos não mudaram, e na medida em que existe muita resistência à incorporação de novas técnicas construtivas, continua-se com o velho hábito de colocar tijolo sobre tijolo na execução das edificações. Nota-se uma variação no tamanho, no formato, na estrutura e no material que constitui o tijolo (argila ou concreto), mas além disto têm-se poucos avanços. Ainda quando a estrutura da edificação é feita com concreto armado, metal ou madeira, na maioria dos casos o fechamento dos vãos é feito com um destes dois tipos de tijolos. Existem opções, porém não são comumente usadas como vedação externa. As inovações ocorrem com materiais destinados à infra-estrutura, instalações hidráulicas e elétricas, nas quais os plásticos estão sendo cada vez mais aplicados. Esta é a realidade das construções na região de estudo.

Os materiais do tipo pré-moldado, como painéis de madeira, cimento amianto, concreto ou compósitos ainda são pouco usados nas construções residenciais, devido à necessidade de mão de obra especializada para a montagem. Os novos materiais são aplicados princi-

palmente em divisórias das edificações comerciais. Por outro lado, dentre as várias opções de materiais pré-moldados aquela que foi definitivamente incorporada e aceita é a laje pré-moldada. Ela é composta de trilhos de concreto armado, cujos vãos são preenchidos por lajotas cerâmicas, são usadas para a execução das lajes de pisos e coberturas, em praticamente todos os tipos de edificações. Mais recentemente têm sido usados blocos de isopor no lugar das lajotas cerâmicas, pois são maiores e diminuem o peso sobre a estrutura.

Neste capítulo trata-se também dos materiais da infraestrutura das edificações, ou seja, aqueles que são usados nas instalações elétrica, de água, telefone e outros.

1.1 Madeira

A madeira é um dos materiais mais antigos usados pelo homem em edificações. Embora proveniente de um recurso renovável de energia, em determinado momento da história da civilização tornou-se escassa, devido ao uso intensivo. A Idade Média é considerada como a época dos grandes desmatamentos, cujo apogeu ocorreu entre a segunda metade do século XI e o fim do século XIII [4]. É necessário que haja um planejamento prévio para efetuar o corte das árvores, evitando assim o desmatamento descontrolado.

A madeira é um material que apresenta uma abrangência de emprego sem igual, ela é usada em todas as etapas da construção e apresenta uma série de vantagens em relação a outros materiais: resiste a esforços de compressão e de tração; pode ser produzida em peças com dimensões estruturais, ser trabalhada com ferramentas simples; sofrer emendas e ser reempregada por diversas vezes.

Outra vantagem da madeira é não necessitar nenhum processo de fabricação prévio como os demais materiais. Ela pode ser usada quase imediatamente após o corte da árvore, sem sofrer nenhum tratamento especial como aqueles envolvidos na execução do concreto, das estruturas metálicas e na fabricação dos tijolos.

Recomenda-se que a madeira seja empregada seca, o que pode ser feito naturalmente, pela exposição ao ar, ou artificialmente, mantendo-a sob condições controladas de temperatura e umidade, o que é conseguido por meio de estufas [5].

Uma desvantagem apontada para a madeira é a necessidade de ser tratada contra pragas. Este tratamento pode ser feito com óleos e ceras naturais, ou através da aplicação de produtos altamente tóxicos. Estes últimos podem comprometer a saúde dos usuários da edificação pela contaminação, que ocorre pelo contato direto ou, por inalação do produto.

A resistência à passagem do calor, eletricidade e som tornam a madeira seca de grande importância para uso nas edificações. Devido ao alto calor específico e à baixa condutividade térmica da madeira, as portas de madeira são eficientes para controlar a propagação do fogo durante um período considerável. A distinção entre retardamento e resistência ao fogo é importante — a madeira é altamente combustível mas não é altamente inflamável. A resistência à passagem do som também confere à madeira boa qualidade isolante; sua superfície é capaz de absorver e refletir o som bem melhor que a maioria dos outros materiais [6].

No Brasil, o legado das técnicas construtivas trazidas pelos portugueses, baseadas em tijolos e pedras, aliado ao preconceito por parte dos usuários e dos agentes financeiros, impedem o desenvolvimento de estudos para que o uso da madeira se torne mais intensivo. Apesar disso, nas regiões norte e sul do país as construções de madeira são bastante comuns: em Manaus cerca de 60% das casas são construídas de madeira e no estado do Amazonas, o índice sobe para 72%. Além disso embora não haja dados estatísticos, sabe-se que os estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam muitas habitações de madeira, principalmente nas cidades pequenas. Finalmente vale a pena mencionar que nos EUA as construções utilizando madeira em conjunto com outros materiais chegam a 80% [7].

1.1.1 Caracterização energética

A madeira usada na estrutura das edificações também pode ser usada como combustível para a fabricação dos demais materiais. Portanto qual é o melhor aproveitamento para a madeira?

Sabe-se que o consumo mundial de madeira na forma de combustível representa mais de 53% do consumo total. Deste consumo, grande quantidade é desperdiçada em fogões, fornos e fogeiras. O desperdício é estimado em 90%, sendo somente 10% aproveitado [6].

Segundo Penedo [8], no Brasil, cerca de 80% da madeira retirada de florestas nativas, cerrados e matas usadas na produção de carvão vegetal são destinadas ao abastecimento das indústrias siderúrgicas, metalúrgicas e de fundição. Os outros 20% provêm do reflorestamento feito com eucalipto por empresas, para atender somente o consumo próprio. O reflorestamento com eucalipto é o preferido para fornecer madeira para uso direto como fonte de energia ou para fabricar carvão vegetal.

Devido ao fato que a madeira apresenta um fraco aproveitamento como combustível chega-se a conclusão que a madeira deva ser usada preferencialmente nas edificações, desde que haja um bom planejamento para que a derrubada das árvores não cause o desmatamento descontrolado. É importante salientar que não é o uso de madeira para a estrutura dos telhados, formas de concreto e escoramento das lajes que acaba com as nossas florestas. Para fins energéticos poderia ser usado as partes que não são tão nobres como casca, pontas, galhos e os demais resíduos obtidos nas serrarias.

O processo de obtenção da madeira para construção compreende o corte ou derrubada das árvores e prossegue com a toragem, o desdobro e o aparelhamento das peças. O corte é feito com o machado do lenhador e mais recentemente com as moto-serras. O tipo de energia necessária em cada um dos casos é totalmente diferente, o lenhador precisa da alimentação como fonte de energia, enquanto que as moto-serras precisam de gasolina, combustível derivado do petróleo para o seu funcionamento. A toragem é a etapa em que a árvore é desgalhada e transformada em peças de 5 a 6 metros para facilitar o transporte. O

desdobro é a operação final na obtenção da madeira bruta e é realizado nas serrarias que se encontram próximas do local onde ocorre o corte [5].

A obtenção da madeira aglomerada envolve o consumo de energia elétrica e óleo combustível, segundo Pietrobon et al [9], e totaliza 1267 kcal/kg. O CETEC,¹ registrou para o consumo de energia o valor de 1290 kcal/kg. O trabalho de Guimarães [10] apresenta consumo de energia 799 kcal/kg para madeira bruta ou aglomerada, isso representa um valor cerca de 50% menor que os outros dois vistos anteriormente. As diferenças encontradas nos resultados podem ser atribuídas à metodologia, ao processo produtivo e ao tipo de energia envolvida, assunto tratado na primeira parte do capítulo 4: Estudos de Caso.

1.2 Cerâmica vermelha

A palavra cerâmica vem do grego *keramos*, que significa *coisa queimada*. A Associação Brasileira de Cerâmica define Cerâmica ou Materiais Cerâmicos de uma maneira bem mais ampla, como *todos os materiais de emprego em engenharia ou produtos químicos inorgânicos (excetuados os metais e suas ligas), que são utilizáveis geralmente pelo tratamento em temperaturas elevadas*. De acordo com esta definição existem muitos materiais cerâmicos usados na construção civil, ou seja, todos os que são chamados de cerâmica vermelha e cerâmica branca, e também os refratários, vidros, cimentos Portland comum e especiais, cales e gessos [11].

Este material é muito antigo e foi um dos primeiros materiais utilizados que necessitam ser manuseados antes de serem usados. Junto com a pedra e a madeira, é um dos materiais predominantes nas construções do homem primitivo.

A indústria cerâmica é uma indústria de processo químico, na qual as propriedades do material produzido vão se alterando de acordo com as fases do processamento. Os processos envolvidos são tão variados quanto os produtos. Existe a fabricação mais artesanal, como

¹Centro Tecnológico de Minas Gerais através do Balanço Energético de Edificações Típicas [10]

no caso de tijolos e telhas, e também a produção de itens que requerem métodos bem mais eficientes como sanitários, cerâmicas especiais, pisos, louças e azulejos, os quais serão apresentados no capítulo que trata dos materiais de acabamento.

Uma das vantagens desse material em relação aos outros é a elevada resistência à compressão, por não se tratar de material dúctil. Outras propriedades positivas são a relativa dureza e a resistência a altas temperaturas, o que o torna material comparável ao diamante, podendo ser usado para polir e desgastar. Como desvantagem deve ser citada a baixa resistência à tração, pois apresenta uma variação grande de volume e tamanho devido a falhas como poros e cantos de grãos, nas quais se concentram as tensões, e suas trincas se propagam quando submetidas a esforços [11].

Os materiais cerâmicos são muito usados devido à sua durabilidade (não se deterioram como os metais e a madeira), facilidade de fabricação, facilidade de manuseio (um tijolo tem peso e tamanho adaptado às mãos de um homem), abundância de matéria prima e plasticidade, além de não necessitarem de mão de obra especializada.

1.2.1 Caracterização energética

A produção de cerâmica vermelha ou estrutural emprega em grande proporção a energia térmica, principalmente nos fornos, podendo haver pequenos consumos em aquecimento com óleo ou secagem. A maior parte dos produtores ainda usa o forno tipo caipira, cujo combustível é basicamente a lenha. Alguns produtores utilizam óleo BPF,² eletricidade e lenha para pré-aquecimento e secagem anterior à queima. Existem fornos que anteriormente usavam como combustível a lenha e que atualmente a substituíram por óleo combustível sem realizar alteração da concepção primitiva, prejudicando a realização da combustão o que causa perdas de energia ainda maiores [12].

Em um trabalho desenvolvido por Pietrobon et al[9] foi possível determinar os tipos e a quantidade de energia consumida no processo de fabricação de tijolos e telhas cerâmicos.

²Baixo Ponto de Fluidez.

O resultado aponta para 685 kcal/kg de peso respectivamente, como um valor médio entre as fábricas pesquisadas no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, envolvendo as seguintes fontes de energia: energia elétrica, óleo combustível tipo A,³ óleo Diesel e lenha.

1.3 Estrutura Metálica

O metal é um material caracterizado pela alta dureza, grande resistência mecânica, elevada plasticidade e condutividades térmica e elétrica relativamente altas.

A metalurgia é a arte e a ciência dos metais e ligas metálicas, isto é, o estudo das suas propriedades em diferentes condições e as mudanças destas propriedades pelos tratamentos a que são submetidos.

Dentre os metais, o mais usado na construção civil é o ferro, seguido pelo cobre, alumínio, chumbo e zinco. O setor da metalurgia é bastante amplo, envolvendo processos e produtos muito variados, e é por isso dividido em sub-setores. Um sub-setor é o da siderurgia, que produz ferro-gusa, ferro e aço (metais ferrosos)⁴ em forma primária. A construção civil utiliza muito tais produtos; diretamente, como estrutura de uma edificação, ou na composição do concreto armado[13].

A distribuição geográfica da produção de aço bruto em 1986 permite hierarquizar os estados segundo sua participação: em primeiro está Minas Gerais, com 33,9%, em segundo Rio de Janeiro, com 23,4% e em terceiro está São Paulo, com 19,1%. Estes dados mostram que a região de estudo está próxima dos grandes produtores de aço [13].

³Alto Ponto de Fluidez.

⁴Os metais são geralmente classificados em ferrosos e não ferrosos. O aço é um metal ferroso, pois é uma liga de ferro e carbono, sendo que na sua composição entra no máximo 1,7% de carbono. Esta liga é endurecida pela têmpera, e pode conter outros elementos, de acordo com a finalidade a que se destina.

1.3.1 Caracterização energética

A produção de aço, ferro fundido e metais não-ferrosos envolve vários tipos de energia: energia elétrica, óleo diesel, óleo combustível, GLP (gás liquefeito de petróleo), querosene e álcool. Para o ferro fundido utilizam-se também o coque nacional e importado e carvão mineral e vegetal [14]. A energia é o insumo de maior importância no processo de produção do ferro-gusa, segundo a Companhia Energética de Minas Gerais. O carvão vegetal contribui com cerca de 75% da energia consumida na fabricação do aço [15].

A quantidade total de energia consumida na fabricação do aço é de 5219 kcal/kg [9].

1.4 Estrutura de Concreto

A composição de um concreto (também chamada de traço) depende do seu emprego, e é o resultado da combinação de areia, pedra britada, cimento e água segundo proporções adequadas. O concreto pode ser comum ou armado; neste último caso contam-se com os componentes citados anteriormente e também a ferragem. Dos materiais citados, o principal é o cimento, ao qual dedica-se atenção especial nesta etapa do trabalho pelo seu envolvimento com a questão energética.

- Cimento

Existem dois tipos de cimento, o natural e o artificial (Portland). O último é um aglomerante obtido de uma composição mais regular do que a resultante de uma única rocha calcário-argilosa, que é a matéria prima para o cimento natural. É obtido pelo cozimento da mistura calcário-argilosa, até a fusão parcial (cerca de 1450°C) [5]. Quanto a quantidade, o cimento é um dos principais produtos fabricados industrialmente pelo homem, e a sua produção é apontada como a quarta maior consumidora de energia do mundo [16].

- Agregados - Areia e Pedra britada

Os agregados são definidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como qualquer material natural, obtido da fragmentação artificial de pedra. Os agregados podem ser classificados em *graúdos*: as pedras britadas, brita ou pedregulho grosso de dimensões nominais compreendidas entre 100mm e 4,8mm; e *miúdos*: os pedregulhos finos, pedrisco grosso, médio ou fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais compreendidas entre 4,8mm e 0,0075mm [18]. O concreto utiliza os dois tipos de agregados, graúdos e miúdos.

1.4.1 Caracterização energética

A indústria de cimento pode ser classificada como uma *indústria utilizadora intensiva de energia*. Isto faz com que o interesse por este material se torne neste trabalho o alvo de muita atenção, além do fato de ser muito utilizado na construção civil. O processo de produção do cimento é composto por três etapas principais: a preparação do cru, a transformação do cru em clínquer, a moagem final e o ensacamento.

O consumo maior de energia, cerca de 83% do total, está ligado ao forno (onde é feita a transformação do cru em clínquer) e usa principalmente óleo combustível. Os outros 17% do total são usados na preparação do cru e moagem final, sendo então a eletricidade a principal forma de energia utilizada [19].

As principais fontes de energia utilizadas na fabricação do cimento provêm dos derivados leves de petróleo, diesel e gasolina. O consumo de óleo combustível é preponderante no forno de cimento e na caldeira, embora o consumo de óleo nesta última seja, nas instalações existentes no Brasil, bem menor que em fornos de cimento.

Os tipos e o consumo de energéticos necessários à fabricação do cimento são apresentados no trabalho de Pietrobon et al [9], baseado em dados de um fornecedor de cimento. Segundo estes autores a quantidade de energia consumida para a fabricação é de 1185 kcal/kg.

Segundo Silva [16], para produzir 1 kg de cimento são necessárias em torno de 1.000 kcal. Este é um valor médio que sofre alteração de acordo com o processo de fabricação (por via úmida ou via seca) e também depende das misturas, escórias e materiais pozolâmicos adicionados ao material [20].

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) [19] fez um levantamento para determinar o consumo energético do cimento no Rio de Janeiro e Minas Gerais, obtendo uma média de 1220 kcal/kg de clínquer. Este dado, quando comparado com dados encontrados em outros países, não chega a ser alarmante, pois, no Japão, o consumo era de 1050 kcal/kg, e, nos EUA, de 1730 kcal/kg, em 1972. Esta vantagem brasileira se deve às instalações relativamente novas no país, que são por via seca, ao crescimento da produção de cimentos de alto forno e pozolâmico, e também à melhoria das instalações existentes. Trabalhos mais recentes mostram um consumo de energia inferior, cerca de 25%, segundo o CETEC, podendo chegar a 912 kcal/kg [17].

Outros materiais entram na composição do concreto, a brita e a areia. O processo produtivo para obtenção da brita usa energia elétrica e óleo Diesel, consumindo 6 kcal/kg. A produção de areia emprega o óleo Diesel, e consome cerca de 4 kcal/kg [9].

1.5 Materiais da infra-estrutura

Os materiais da infra-estrutura são aqueles necessários às instalações comuns em uma edificação, ou seja, instalações de água, esgoto, elétrica, telefônica, aquecimento, resfriamento e pavimentação. São as manilhas cerâmicas, os tubos de PVC para água e esgoto, conduítes, eletrodutos e outros.

- Manilhas Cerâmicas

As manilhas cerâmicas servem para o escoamento de esgotos e das águas pluviais, e estão atualmente sendo substituídas por outros materiais mais leves por apresentarem

desvantagens quando comparadas com eles. A sua substituição se deve principalmente aos problemas decorrentes do transporte, pois apresentam volume e peso maiores que os tubos plásticos; todavia, devido à possibilidade de ataque de roedores, em algumas regiões elas ainda são usadas.

Segundo Pietrobon et al [9], a fabricação das manilhas cerâmicas envolve o consumo de energia elétrica, óleo combustível e lenha, num total de 1632 kcal/kg.

- Polímeros

Os polímeros são a base de muitos materiais usados na construção civil e sua principal aplicação é na forma de *tubos plásticos*. Os tubos usados nas instalações hidráulicas são comumente chamados de tubos de PVC⁵ devido ao tipo de polímero do qual são constituídos.

Estes materiais são muito resistentes à corrosão e à erosão e não são atacados por bactérias, fungos e outros microorganismos, embora possam ser atacados por roedores. São flexíveis, podendo sofrer deformações de acordo com as necessidades.

O levantamento feito por Pietrobon et al [9] mostra que, em Florianópolis, a fabricação do PVC consome 129 kcal/kg de energia elétrica.

- Metais não ferrosos

Entre os metais não ferrosos mais comuns usados na construção civil encontram-se o cobre, o alumínio e o chumbo. O cobre é um dos metais mais importantes, depois do ferro e do aço. Ele entra principalmente na confecção de tubulações e conexões de água quente, na enfição e como haste para aterramento. O alumínio é usado onde é necessário um material leve como perfil de apoio, por exemplo para a fixação de placas de aquecedor solar sobre os telhados e esquadrias.

⁵Policloreto de vinila.

- Materiais para pavimentação

As pavimentações são executadas normalmente em asfalto, paralelepípedo ou pré-moldado de concreto. Atualmente, os asfaltos são muito usados para a pavimentação urbana dos municípios. Os paralelepípedos são usados desde a antigüidade, e continuam sendo os melhores na pavimentação quando se opta pela não impermeabilização do solo, permitindo um melhor escoamento e infiltração das águas de chuva, evitando-se as enchentes tão freqüentes nas cidades *modernas*.

Uma outra opção que tem sido adotada é a pavimentação com pré-moldados de concreto. Segundo Pietrobon et al [9], o valor fornecido por um fabricante de Florianópolis para a energia consumida na fabricação de mourões de concreto pré-moldado é de 114 kcal/kg.

1.6 Considerações Finais

Os dados referentes aos materiais apresentados neste capítulo dão uma visão geral da parte bruta da edificação, a estrutura, e a base de funcionamento das construções, ou seja, as instalações. Embora não se conte com abundância de dados a respeito do assunto, pode-se fazer algumas observações no sentido de delinear uma visão geral do que ocorre em relação ao consumo de energia e assim poder comparar as partes envolvidas, a fim de qualificar melhor os materiais de acordo com esse consumo.

As fontes de energia que envolvem o processo produtivo dos materiais são bastante variadas. O consumo específico varia muito dependendo do tipo de processo industrial, porte e idade da instalação, tipo de carvão empregado, grau de elaboração das matérias primas e nível de automação do processo. A tendência deve ser de redução no consumo de energia [21].

Quando se comparam os valores para o consumo de energia dos materiais apresentados neste capítulo, tem-se que o aço é o maior consumidor de energia, com cerca de 5219 kcal/kg,

sendo que 75% de sua produção utiliza o carvão vegetal, segundo os dados de Pietrobon et al [9]. O consumo de energia envolvido na produção do aço, citado pelo IPT [14], para a indústria brasileira, mostra o óleo combustível e a energia elétrica como combustíveis mais usados nessa fabricação, o que difere do estudo de Santa Catarina, onde o carvão vegetal é apontado como responsável por 75% do fornecimento de energia. Isto pode ser motivado pela disponibilidade de energia local.

A seguir vem a manilha cerâmica, que consome 1632 kcal/kg, sendo 53% de óleo combustível A e 43% de lenha. O valor de 1267 kcal/kg, encontrado para a madeira a coloca como maior consumidora que o cimento, este dado deve estar considerando o elevado consumo de energia utilizado no transporte do material, da região norte do país até o local onde o estudo foi desenvolvido. O cimento com 1185 kcal/kg, tem sua principal fonte de energia no óleo combustível A. Estes materiais estão entre os maiores consumidores, e utilizam como fonte principal de energia os derivados do petróleo. As telhas e tijolos cerâmicos com 700 e 685 kcal/kg, respectivamente, juntamente com areia e brita, são os menores consumidores de energia. Como estes dados estão baseados em situações regionais, podem sofrer variações significativas na medida em que envolvem o transporte do local da fábrica ao ponto final onde será usado.

A tabela 1.1 mostra os materiais apresentados neste capítulo, os tipos de energia envolvidos, as quantidades parciais consumidas na sua fabricação e o respectivo percentual de participação no todo.

No próximo capítulo faz-se uma apresentação dos materiais de acabamento envolvidos na edificação.

Tabela 1.1: Tipos e quantidades de energia consumidos nos processos de fabricação dos materiais básicos, bem como seu respectivo percentual de participação no todo. Fonte: Pietrobon et al [9].

Material	Tipo de energia	Quantidade (kcal/kg)	Participação %
Aço para estrutura	Elétrica	344	7
	Óleo combustível tipo A	956	18
	Óleo Diesel	9	0
	Carvão vegetal	3910	75
Total		5.219	100
Manilha cerâmica (valor médio)	Elétrica	64	4
	Óleo combustível tipo A	860	53
	Lenha	708	43
Total		1.632	100
Cimento (valor médio)	Elétrica	86	7
	Óleo combustível tipo A	1099	93
Total		1185	100
Madeira aglomerada	Elétrica	215	10
	Óleo combustível tipo A	1052	90
Total		1267	100
Telha cerâmica (valor médio)	Elétrica	35	5
	Óleo combustível tipo A	478	68
	Lenha	187	27
Total		700	100
Tijolo cerâmico (valor médio)	Elétrica	22	3
	Óleo combustível tipo A	509	74
	Óleo Diesel	8	1
	Lenha	146	22
Total		685	100
Brita	Elétrica	1	17
	Óleo Diesel	5	83
Total		6	100
PVC	Elétrica	129	100
Areia	Óleo Diesel	4	100

Capítulo 2

Materiais de acabamento

A variedade dos materiais de acabamento é bem maior que a dos materiais básicos. Por isso é necessário agrupá-los, a fim de melhor relacionar suas características gerais. Apresentam-se neste capítulo a cerâmica branca, o gesso, argamassas, materiais metálicos, madeira de marcenaria, vidros e polímeros.

2.1 Cerâmica branca

A cerâmica branca abrange todas as peças refratárias, pisos e azulejos usados na edificação. Sua produção implica grande consumo de energia, pela necessidade de elevadas temperaturas nos fornos, onde está *a alma do processo cerâmico*. A fabricação de pisos e azulejos exige controle rigoroso da matéria-prima e do processo de queima. Segundo o IPT, o processo envolve três operações básicas: preparação da matéria-prima, conformação e processamento térmico. Sem dúvida alguma o processamento térmico é a etapa mais importante no que se refere ao consumo de energia [12].

2.1.1 Caracterização energética

O tratamento térmico pode ocorrer em cada uma das três operações básicas referidas anteriormente, ou seja, na preparação da matéria-prima, secagens intermediárias e tratamento térmico final. Os fornos chegam a atingir 1100°C no caso de pisos e azulejos; acima desta temperatura obtêm-se materiais com as características das porcelanas (louças de mesa), cuja temperatura de processamento pode chegar a 1400°C. As instalações para produção de pisos e azulejos pelo processo de biqueima têm seus principais equipamentos consumidores de energia térmica abastecidos com óleo BTE,¹ gás ou eletricidade. As louças sanitárias utilizam o processo de monoqueima, e a energia térmica é obtida com óleo BTE, BPF, Diesel, gás ou energia elétrica [12].

A fabricação de cerâmica branca na Inglaterra usa cerca de 50% de gás natural, 22% de eletricidade, 12% de óleo, 12% de GLP e cerca de 1,5% de carvão. Na Itália ocorreu uma substituição dos outros combustíveis pelo gás natural a partir do ano de 1952, chegando à quase totalidade em 1980 [22]. O tipo de energético envolvido na produção depende do processo produtivo, da disponibilidade e do preço do energético, portanto os combustíveis podem variar de região para região. No Brasil, segundo Pietrobon et al [9], 13% da energia consumida na fabricação de azulejos é elétrica e os restantes 87% são obtidos de óleo baiano. O total consumido é de 3090 kcal/kg e 606 kcal/kg para azulejos e piso cerâmico, respectivamente.

2.2 Gesso

O gesso pode ser empregado como forro, acabamento de forro, em divisórias e em substituição ao reboco usual para paredes. É um material pouco usado no Brasil, embora apresente algumas vantagens em relação a outros materiais, do ponto de vista da conservação de energia e preservação do meio ambiente.

¹Baixo Teor de Enxofre.

A disponibilidade de matéria-prima (gipsita, comumente chamada de gesso natural) é elevada, e as reservas são de 407 milhões de toneladas, segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 1984. A maior parte das reservas naturais encontram-se nas regiões Norte e Nordeste. Na região sul o gesso aparece como um subproduto de certos processos industriais, em uma forma denominada fosfogesso. Estes resíduos, em 1982, já atingiam o montante de 3,5 milhões de toneladas por ano [23].

A fabricação do gesso, obtido pela desidratação térmica da gipsita, compreende três etapas principais: a britagem da rocha, a trituração e a queima [23].

Quando a temperatura atinge entre 130°C e 160°C a gipsita perde três quartas partes de água e obtém-se o gesso de Paris, como é conhecido, ou ainda gesso de estucador ou gesso rápido. A quantidade de água adicionada para trabalhar o gesso tem influência sobre a rapidez da pega e sobre o endurecimento e resistência. Os gessos comuns têm uma resistência à compressão que não ultrapassa 100 kgf/cm² [5].

O gesso, por suas características específicas, como pega e endurecimento rápido, plasticidade da pasta, lisura da superfície e estabilidade volumétrica, é extremamente interessante em aplicações nas edificações, proporcionando componentes eficientes para a isolamento térmica e de resistência ao fogo. No Brasil seu uso está restrito aos revestimentos de paredes e execução de painéis para divisórias e forros. Em alguns casos ele é reforçado com fibras naturais ou artificiais. Os painéis mais comuns são os *plaster-boards*, que são placas de gesso revestidas com papelão [23].

As características do gesso nacional, segundo estudos feitos pelo IPT, são bastante variadas. Os valores obtidos para resistência à tração vão de 4,40 até 10,50 MPa, a resistência à compressão vai de 9,93 até 27,29 MPa e a dureza varia de 13,55 até 53,08 MPa. Essa gama ampla de valores limita um pouco seu uso e as decisões sobre sua aplicação em situações nas quais a resistência aparece como fator importante [23].

2.2.1 Caracterização energética

O gesso, que depende de matéria-prima vinda do norte e nordeste, tem custo ainda muito elevado, devido ao transporte. Para que se torne economicamente viável seu aproveitamento, é necessário que aumente seu consumo [23].

Para se ter uma idéia do baixo consumo de energia envolvido na fabricação do gesso, basta saber que a temperatura de processamento do clínquer Portland é de 1450°C , e que a da cal varia entre 800° e 1.100°C , enquanto que a do gesso, não ultrapassa em geral os 300°C , com exceção de alguns casos especiais [23]. O consumo de energia elétrica para a fabricação de gesso para forro é de $0,95 \text{ kcal/kg}$ [9].

Além dessa vantagem clara com relação à conservação de energia, o incremento da utilização do gesso em edificações representa um passo à frente também com relação à preservação da natureza, na medida em que o gesso químico (fosfogesso) é um subproduto da indústria de fertilizantes. A capacidade de produção atual é de dez mil toneladas por dia [23], um volume que será aumentado à medida que as indústrias passarem a utilizar equipamentos de dessulfurização de gases nas chaminés de fornos que utilizem carvão mineral.

2.3 Argamassas

As argamassas são o resultado da combinação de uma pasta com um agregado miúdo. A pasta é feita com um aglomerante e água. As pastas quando preparadas com excesso de água, são chamadas de natas. Existem argamassas de cal, de cimento, de cal com cimento e de gesso, esta última mais restrita ao uso em decoração [5]. Atualmente o gesso vem sendo bastante empregado em revestimentos de paredes, substituindo as aplicações tradicionais. Isto dispensa outros tratamentos especiais nas paredes, para obter o mesmo acabamento de uma massa corrida.

As argamassas devem apresentar boa resistência mecânica, compacidade, impermea-

bilidade, aderência, constância de volume e durabilidade. Uma boa argamassa depende da qualidade e quantidade do aglomerante, do agregado e da água adicionada [5].

- Tipos de argamassas

Pode-se classificar as argamassas em geral em comuns e refratárias. As primeiras destinam-se ao rejuntamento de alvenarias, revestimentos, colocação de pisos e preenchimento de vazios. As refratárias devem resistir a altas temperaturas e por isto são feitas com agregados especiais [5].

2.3.1 Caracterização energética

Dos três aglomerantes usados na construção civil, o único que ainda não foi tratado é a cal, considerada maior consumidora de energia que o gesso e menor que o cimento, segundo dados já apresentados.

O processo produtivo para a fabricação da cal hidratada consome 0,6% de energia elétrica, 99% de óleo combustível A e 0,4% de óleo diesel, segundo pesquisa desenvolvida no Estado de Santa Catarina [9], porém essas proporções variam de um local para outro. O consumo total da cal virgem é de 962 kcal/kg enquanto que a cal hidratada é de 963 kcal/kg.

2.4 Metais não ferrosos

O alumínio é considerado o mais importante entre os metais não ferrosos usados na construção civil, quanto ao consumo de energia elétrica. O emprego deste metal é restrito aos casos em que se necessita aproveitar alguma de suas propriedades características como resistência à corrosão, propriedades elétricas e magnéticas, características especiais de resistência, ductilidade e fusibilidade [5].

O alumínio é também uma boa opção para a construção civil na execução de esquadrias, pois são bastante eficientes quanto ao sistema de vedação de som e infiltrações de ar e chuva.

O processo para obter o metal primário envolve basicamente duas etapas. Primeiramente obtém-se a alumina pura de minerais que a contenham; nesta fase a demanda de energia é basicamente na forma de calor. Na segunda etapa ocorre a redução do Al_2O_3 a alumínio metálico, fase esta que demanda grandes quantidades de energia elétrica.

Segundo o IPT, o alumínio é o segundo entre os metais mais procurados e também o que apresenta maior valor de energia agregada por unidade de massa produzida [13].

A fabricação do alumínio encontrava-se, em 1986, em primeiro lugar em relação aos metais não ferrosos, no consumo de energia elétrica, cerca de 88%, restando apenas 12% do consumo para a fabricação de outros metais não ferrosos como: zinco, cobre, chumbo, silício, estanho e níquel [13]. Segundo dados da Associação Brasileira de Alumínio, a evolução histórica do consumo específico de energéticos na redução do alumínio primário é a seguinte: em 1981 o consumo de energia elétrica foi de 17,51 MWh/t; em 1985, 16,15 MWh/t; em 1990, 15,87 MWh/t e em 1994, 15,24 MWh/t. Isto mostra que houve uma redução no consumo específico de energia elétrica de aproximadamente 20% [24].

Dados de 1994 mostram que a eletricidade responde por cerca de 70% da energia necessária para a produção de alumínio primário [21]. Segundo dados de Pietrobon et al [9], a fabricação do alumínio consome 66% de energia elétrica, 15% de óleo combustível A, 15% de coque de petróleo, e os restantes 4% são distribuídos entre pixe e coque metalúrgico, em pesquisa desenvolvida no Estado de Santa Catarina. O consumo total de energia no processo de fabricação do alumínio é de 22898 kcal/kg.

2.5 Madeira

Nesta seção trata-se especificamente das madeiras destinadas ao revestimento de pisos (assoalhos), paredes e tetos (forros de lambril), aos parapeitos, corrimãos e divisórias.

A resistência à passagem do som confere à madeira boas qualidades de isolante. A natureza celular da madeira é tal que, quando fixada, ela não vibra facilmente, por isto é muito usada nas construções [6]. Segundo Petrucci,[5] com relação ao isolamento acústico, é válida para a madeira a lei das massas: *o enfraquecimento do som é função logarítmica do peso da parede.*

- Madeiras transformadas

Quando se altera a estrutura fibrosa do material para corrigir características indesejadas, a madeira está sendo transformada. Temos três tipos de madeira transformada: transformada reconstituída, transformada aglomerada e compensada. As madeiras transformadas apresentam como vantagens, em relação às outras, a homogeneidade de composição e isotropia no comportamento físico e mecânico; possibilidades de tratamento de preservação; melhoria de determinadas características físicas ou mecânicas; e possibilidade de execução de chapas de grandes dimensões, para construção modulada [5].

2.5.1 Caracterização energética

A relação da madeira com a questão energética foi tratada no primeiro capítulo, no qual são apresentados os materiais básicos. Os aspectos a serem considerados nesta parte do trabalho dizem respeito a outros usos e aplicações da madeira. Para ser usada em pisos, forros, portas e janelas, a madeira deve passar por secagem em estufa e tratamentos especiais para preservação, o que significa um acréscimo de consumo de energia. As divisórias feitas com madeiras transformadas e outros detalhes de uma edificação requerem complexos

processos de industrialização. No caso específico da madeira aglomerada empregam-se cerca de 17% de energia elétrica e 83% de óleo combustível, totalizando 1267 kcal/kg [9].

2.6 Vidros

O vidro foi descoberto por volta de 5000 a.C., porém só próximo de 100 a.C. ocorreu o desenvolvimento, pelos romanos, da produção por sopro dentro de moldes, o que tornou possível sua fabricação em série. Foram os romanos os primeiros a utilizar o vidro na vedação de janelas [25].

O vidro é composto por 72% de sílica, 10,7% de cal, 0,7% de alumina, 13,5% de soda, 2,6% de magnésia e 0,5% de anidrido sulfuroso [25]. Os fornos usados no processo de fabricação do vidro foram, a partir de 1865, os responsáveis pelo grande desenvolvimento da indústria do vidro. Estes fornos eram os mesmos usados na indústria do aço [5].

Os vidros podem ser classificados de acordo com o tipo [5]:

- a) Vidro Recozido: é aquele que após a saída do forno é resfriado lentamente e não recebe nenhum tratamento térmico ou químico.
- b) Vidro Temperado: é aquele que foi submetido a um tratamento térmico, através do qual foram introduzidas tensões adequadas para que ao partir se desintegre em pedaços que sejam menos cortantes que os recozidos.
- c) Vidro Aramado: é composto de uma chapa de vidro que contém no seu interior uma malha de fios metálicos, incorporada na hora da fabricação.
- d) Vidro Térmico Absorvente: absorve 20% dos raios infravermelhos, reduzindo deste modo o calor transmitido através dele.
- e) Vidro Composto: é formado de duas ou mais chapas de vidro seladas na periferia, formando vazios entre as chapas, contendo no interior gás desidratado, com a finalidade de melhorar o isolamento termo-acústico.

As principais propriedades dos vidros que interessam ao ramo da construção civil são as relacionadas com a resistência e a transmissão do raio luminoso [25], [26].

A resistência à ruptura a flexão é de 400 kgf/cm² para o vidro polido recozido, e varia de 1200 a 2000 kgf/cm² para o vidro temperado, conforme a espessura e o acabamento das bordas. O vidro temperado tem elevada resistência devido ao tratamento térmico, o qual confere às superfícies forte resistência à compressão. A resistência do vidro à compressão é muito elevada, 10000 kgf/cm², por isto é amplo o campo de suas aplicações.

Um estudo que compara vidros refletivos metalizados à vácuo e os pirolíticos, quando submetidos à radiação solar, mostra que os vidros obtidos por metalização

2.6.1 Caracterização energética

O processo de fabricação do vidro consistia inicialmente em verter o conteúdo líquido de um pote sobre uma mesa de ferro e aplainar com um rolo também de ferro. Em 1918 o processo foi melhorado e o vidro passou a ser fundido entre dois rolos, que ao girarem formavam a placa de vidro. O processo contínuo de fabricação consiste em correr o vidro fundido diretamente através dos dois rolos, passando por uma área de recozimento e indo diretamente para a esmerilhagem e polimento.

Existem muito tipos diferentes de vidros, cada um dos quais usará uma maior ou menor quantidade de energia na fabricação. Segundo Pietrobon et al [9], a produção do vidro plano consome 2% de energia elétrica e 98% de óleo combustível A, totalizando 4683 kcal/kg.

2.7 Polímeros

Os polímeros são materiais cada vez mais empregados na construção civil. Eles podem ser naturais, como a celulose e as borrachas naturais, ou sintéticos, na forma de resinas (se-

lantes, tintas e adesivos) ou plásticos (tubos, telhas, isolantes térmicos, laminados e outros) [27].

O policloreto de vinila (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP) e o poliacetato de vinila (PVAc) são os polímeros mais usados. No Brasil, os mais comuns são PVC e Fiberglass. Este último é uma resina poliéster reforçada com fibra de vidro [27].

2.7.1 Plásticos

Os plásticos são materiais que contêm como constituinte principal uma ou mais substâncias poliméricas. Eles são divididos em termoplásticos e termofixos: os termoplásticos podem ser amolecidos por variação da temperatura e os termofixos não. A seguir apresenta-se as principais aplicações dos plásticos, com referência aos acabamentos [27].

- Telhas

As telhas de plástico podem ser lisas, onduladas, transparentes ou translúcidas e ainda coloridas. As principais vantagens destes materiais são:

- a) elevado grau de transparência;
- b) facilidade de manuseio e baixo peso (materiais leves);
- c) maior resistência ao impacto que o vidro;
- d) facilidade de moldar formas variadas.

O principal problema negativo com relação a este material é que ao queimar-se emite gases que podem ser altamente tóxicos. A degradação e perda da transparência causada pela radiação ultravioleta é outro problema a ser destacado.

2.7.2 Tintas

Uma das principais e mais tradicionais aplicações dos polímeros na construção civil são as tintas látex. Elas são fabricadas geralmente com resinas de PVAc e resinas acrílicas. Apresentam excelentes propriedades seladoras e bom desempenho em acabamentos internos. As tintas látex acrílicas são recomendadas para exteriores, por sua elevada durabilidade, em diferentes tipos de clima.

O processo de fabricação das tintas envolve cerca de 19% de energia elétrica e 81% de óleo diesel, totalizando 299 kcal/kg [9].

2.7.3 Outras aplicações

Na construção civil encontram-se ainda outras aplicações dos polímeros como, por exemplo, em isolamento térmico, na fabricação de janelas e venezianas e no revestimento de pisos, forros, divisórias e paredes.

Como isolantes térmicos utilizam-se na construção civil apenas dois polímeros, o poliestireno e o poliuretano.

Na Europa as janelas e venezianas de PVC já são usadas há mais de 25 anos. O PVC apresenta elevado coeficiente de dilatação térmica, entre $5,0$ e $10,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, o qual é cerca de dez vezes maior que o do aço. O PVC usado na fabricação de janelas e venezianas deve resistir ao ataque da radiação ultravioleta e ser auto-extingüível, não propagando chama.

Os revestimentos de pisos são materiais poliméricos do tipo ladrilhos semiflexíveis, também chamados pisos vinílicos ou de vinil amianto; ladrilhos rígidos, revestimentos monolíticos ou revestimentos têxteis.

Os forros, divisórias e revestimentos de paredes, podem ser do tipo termoplástico ou

termofixo. O PVC é o termoplástico mais empregado, tanto para divisórias quanto para forros, ou na forma plastificada, para revestimento de paredes.

Convém ressaltar ainda o uso de materiais poliméricos para preparar concreto leve. Além disto, existem também os materiais que auxiliam na concretagem, como os filmes plásticos, formas plásticas e espaçadores.

2.8 Considerações Finais

Os dados apresentados sobre materiais de acabamento, unidos àqueles sobre os materiais básicos e de infra-estrutura, possibilitam uma visão geral das opções para utilização de materiais de menor consumo energético. Alguns comentários já podem ser feitos, mas apenas no que se refere a quantidades e tipo de energia envolvidos.

O alumínio é o maior consumidor de energia com 22898 kcal/kg, e envolve a utilização de várias fontes, das quais a principal é a elétrica (cerca de 70%) ficando os restantes 30% distribuídos entre óleo combustível A, coque metalúrgico e pixe. Depois do alumínio tem-se o vidro, cujo processo produtivo consome cerca de 4683 kcal/kg e usa praticamente somente óleo combustível como fonte de energia. O azulejo vem logo a seguir, com 3090 kcal/kg, o que o torna o terceiro maior consumidor de energia. As madeiras aglomeradas consomem menos que 50% do consumo do azulejo, 1267 kcal/kg. A cal tem um valor bem pequeno quando comparado com os anteriores, cerca de 963 kcal/kg, porém ainda é superior ao piso cerâmico,² com 606 kcal/kg, e ao gesso para forro, que consome apenas 0,95 kcal/kg. A tabela 2.1 mostra os materiais apresentados neste capítulo, bem como os tipos de energia envolvidos e as quantidades consumidas e o seu respectivo percentual de participação do todo.

No próximo capítulo são feitos a apresentação e os comentários a respeito de materiais alternativos.

²É comumente conhecido por lajota cerâmica

Tabela 2.1: Tipos e quantidades de energia envolvidos nos processos de fabricação dos materiais de acabamento, com o respectivo percentual de participação em relação ao todo. Fonte: Pietrobon et al. [9].

Material	Tipo de energia	Quantidade (kcal/kg)	Participação %
Alumínio	Elétrica	15.050	66
	Óleo combustível tipo A	3537	15
	Coque metalúrgico	3475	15
	Pixe	836	4
Total		22.898	100
Vidro	Elétrica	94	2
	Óleo combustível tipo A	4589	98
Total		4683	100
Azulejo	Elétrica	413	13
	Óleo baiano	2677	87
Total		3090	100
Cal hidratada	Elétrica	4	0,5
	Óleo combustível tipo A	956	99
	Óleo diesel	3	0,5
Total		963	100
Cal virgem	Elétrica	3	0,5
	Óleo combustível tipo A	956	99
	Óleo diesel	3	0,5
Total		962	100
Piso cerâmico	Elétrica	32	5
	Óleo combustível	574	95
Total		606	100
Tintas	Elétrica	57	19
	Óleo diesel	242	81
Total		299	100
Gesso	Elétrica	0,95	100

Capítulo 3

Materiais alternativos

Este capítulo trata de uma série de materiais alternativos que podem ser utilizados em edificações. O objetivo é encontrar produtos que demandem menor consumo de energia para sua fabricação, não apenas em relação ao processo produtivo propriamente dito, mas também em relação aos componentes que entram na sua formação, e ainda no modo como é utilizada a mão de obra em decorrência de tais inovações. Com este objetivo tenta-se apontar as vantagens e desvantagens de materiais que utilizam o solo, compósitos,¹ madeira, agregado leve a partir de lodo de esgoto, e resíduos industriais e agrícolas como cinzas, palha de arroz e serragem [28], [29], [30].

3.1 Uso do solo

Alguns materiais fazem parte da história da civilização. Os mais antigos e mais conhecidos materiais alternativos são os que usam como principal componente o solo.

O uso do solo pode ser feito de diversas formas [31]:

– *Adobes*: São blocos feitos de terra, com dimensões variadas. Depois de prontos são

¹Ver definição na seção 3.2.

colocados ao sol para secar, para logo após serem colocados nas paredes e serem rejuntados com a mesma pasta de terra que originou o bloco. Este é um dos mais antigos métodos de construção e também um dos mais primitivos. Apresentam pouca resistência à umidade.

– *Taipa de sopapo ou taipa de sebe*: É a construção de uma parede através de uma malha de madeira ou bambu com uma pasta de solo que é lançada dos dois lados simultaneamente, deixando-se secar naturalmente. Este tipo de material também é sensível à umidade.

– *Taipa de pilão*: É aquela em que a construção das paredes é feita pela compactação do solo úmido em uma forma, normalmente duas pranchas de madeira que vão sendo movimentadas ao longo da parede. O tipo de solo mais empregado é o argiloso e não são adicionados aglomerantes ou agregados. Este tipo de construção deve ser protegido por beirais, para aumentar sua durabilidade.

– Tijolos de argila sem queima: Neste caso o solo (argila) é compactado por máquinas. Apresentam boas características mecânicas e um bom isolamento térmico, mas são pouco duráveis e com baixa resistência à umidade.

Estudos desenvolvidos com solos deram origem ao documento *Arquitetura da Terra* [32] onde são apresentadas as vantagens e desvantagens dos tijolos feitos com solos estabilizados no lugar dos tradicionais tijolos maciços. Os tijolos de solo estabilizado com cal, cimento ou outro aditivo dispensam a queima, portanto apenas o processo de reações químicas é suficiente para adquirir a resistência à umidade e à carga exigidas [32].

3.1.1 Solo-cimento

Este material passa pelo mesmo processo de fabricação dos tijolos cerâmicos: destoramento, peneiramento e secagem do solo. O solo-cimento é constituído de solo, cimento e água; em alguns casos são misturados aditivos com o objetivo de obter um material mais resistente que o solo. Os estudos sobre solo-cimento só foram iniciados em 1935 pela PCA, Associação de Cimentos Portland.

A adição de cimento ao solo traz vantagens com relação à absorção e à perda de umidade. Os tijolos feitos dessa forma não sofrem variações volumétricas consideráveis, não se deterioram quando submersos em água e apresentam resistência à compressão equivalente à do tijolo tradicional.

3.1.2 Solo-cal

O uso da cal em substituição ao cimento dá um passo à frente em relação ao objetivo deste trabalho, ou seja, substituir um material que envolve um maior consumo energético para a sua fabricação por outro com menor consumo energético.

O interesse em pesquisar este material é baseado em que se os constituintes do solo reagem com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento, portanto devem reagir de modo análogo com a cal hidratada, que tem consumo de energia bem menor que o cimento [5].

Existem também estudos feitos por Silveira [32] com solo-cal-cinza. A cinza é um material proveniente de resíduos industriais, composta em grande parte por sílica (95 a 98%). A cinza reage com a cal e é um ótimo material para misturar com solos, melhorando a qualidade do produto final.

3.1.3 Sílico-calcário

A mistura homogênea de areia silicosa (quartzosa) e cal virgem em pó permite a fabricação de peças estruturais para usar na construção dos edifícios. O produto deste sistema industrial permite a obtenção de blocos com dimensões mais regulares e com resistência à compressão variável para dois tipos básicos: peças de vedação, que servem para fazer o fechamento dos vãos, e que portanto não recebem carga; e as peças estruturais, indicadas para paredes que recebem carga, tendo a resistência à compressão de 80 a 350 kgf/cm² [33].

As edificações feitas com este tipo de material apresentam as vantagens de serem elementos corta-fogo e resistirem à combustão. O coeficiente de condutividade térmica varia entre 0,60 e 0,90 kcal/h.m.°C, ou seja, é três vezes mais isolante que o concreto (3,0 kcal/h.m.°C)[33].

O uso deste material permite economia na construção através da redução do tempo gasto, pois elimina vigas, pilares, concreto, formas, andaimes e a mão de obra correspondente, bem como propicia uma distribuição mais uniforme da carga, provocando alívio na fundação. Além das vantagens apresentadas, há também a possibilidade de deixá-los aparentes, revestidos com gesso, ou com apenas uma camada de massa, sem necessidade de chapisco e emboço. Podem também receber pintura sem revestimento. Estas vantagens devem ser consideradas uma vez que se sabe que, dentre os desperdícios na construção civil, as argamassas são campeãs.

3.2 Compósitos

Os compósitos são materiais reforçados com fibras. Este tipo de composição tem como objetivo melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, como resistência à tração, flexão e compressão. As fibras podem ser vegetais ou artificiais. As vegetais apresentam alguns inconvenientes como sua heterogeneidade e facilidade de deteriorar-se. As fibras vegetais mais empregadas são a de coco, que apresenta boa durabilidade em meio alcalino, a de agave, que é matéria prima para corda ou sisal e apresenta boa resistência mecânica, e as fibras de celulose, que apresentam propriedades mecânicas elevadas e boa durabilidade em meios alcalinos. As fibras de celulose, em alguns casos, substituem o amianto do fibrocimento [34].

Estes materiais fibrosos são utilizados na confecção de painéis para paredes e divisórias com 7 a 15 cm de espessura, para guarda-corpo, formas, tubos, forros e pisos. São usados também para pisos e pavimentos sujeitos a impactos (bases para máquinas e pistas de aeroportos). O cimento amianto foi o primeiro material a ser industrializado com fibras. Desde

então, passou a ser muito usado, o que ocorre até hoje, mesmo com as restrições em relação ao amianto, por apresentar riscos à saúde [34].

- **Compósitos Plásticos**

Segundo a Norsk Hydro A.S. [35] os plásticos são freqüentemente mais leves e finos que os materiais tradicionais, necessitando menor consumo de energia para produção e transporte, e apresentando menor disposição de resíduos.

A construção civil dos países mais desenvolvidos utiliza cada vez mais materiais compósitos de plásticos [25]. Hoje é possível construir uma edificação feita desses compósitos, desde a estrutura até os acabamentos mais requintados. Para isso existem compósitos reforçados com fibras de vidro que permitem a fabricação de superfícies planas que servem para revestir e/ou isolar as paredes. Estes podem ser de matriz polimérica ou de cimento. Há, ainda, revestimentos externos sem papel estrutural, na forma de painéis que são aplicados diretamente nas fachadas e tetos, ou com função estrutural. Finalmente, existem também elementos para telhados que imitam telhas cerâmicas, em forma de placas. São muito leves e aliviam a estrutura de madeira necessária.

3.3 Madeira de reflorestamento

A madeira já foi apresentada no primeiro capítulo como material básico estrutural e não estrutural, no segundo capítulo como material de acabamento, usado em marcenaria em geral,² e volta novamente a ser colocada aqui como um material alternativo, na forma do uso de madeira de reflorestamento. O IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) [36] tem desenvolvido experiências para a utilização de *Pinus spp*³ na construção de moradias.

Em Campos do Jordão foram feitos estudos para a construção de casas de madeira com

²Esquadrias, forro, parapeitos e peitoris.

³*Pinus spp* - *Pinus* de espécies variadas

o fim de permitir o acesso da população de baixa renda à moradia. O projeto envolveu um estudo abrangente na forma de uma proposta para um núcleo habitacional com unidades residenciais, de comércio, áreas livres e de equipamento comunitário. O local apresenta topografia acidentada, situação na qual a construção em madeira é bastante adequada [36].

3.4 Resíduos

Segundo Cincotto [37], o uso de resíduos na construção civil começou a ser estudado por três razões: o esgotamento das reservas de matéria prima; a preservação do meio ambiente e a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta do petróleo, sobretudo em países carentes desta matéria-prima.

O primeiro passo, antes mesmo de se pensar onde colocar tanto *lixo*, consiste em revisar o processo produtivo para que seja gerada a menor quantidade possível de resíduos. Num segundo momento é preciso analisar o que fazer com o lixo gerado. A construção civil é o ramo de atividade tecnológica com maior potencial para absorver resíduos sólidos [37].

Os resíduos são classificados em cinco categorias: resíduos e subprodutos de mineração, resíduos e subprodutos metalúrgicos, resíduos e subprodutos industriais, resíduos municipais e resíduos e subprodutos agrícolas e florestais.

Os resíduos provenientes da mineração, como rejeitos de minas de carvão, xisto betuminoso e minério de ferro, de pedreiras e outros são utilizados em rodovias. Os resíduos metalúrgicos, como escórias ferrosas e não ferrosas, são usados em rodovias, aterros, concreto asfáltico, concreto, agregado leve, alvenaria, produção de cimento, piso industrial, ladrilho cerâmico, tijolos e outros. As principais utilizações dos resíduos industriais, dos resíduos urbanos e dos resíduos vegetais e florestais podem ser vistos na tabela 3.1.

A utilização de resíduos deve ser compatibilizada com a relação entre os recursos disponíveis (matéria-prima) e os gastos de energia envolvidos na sua utilização e transporte, pois

somente através deste balanço é que se pode fazer uso dos resíduos de uma forma harmônica com os objetivos propostos.

3.5 Considerações finais

O interesse em pesquisar materiais alternativos decorre da necessidade de economizar energia a fim de diminuir custos. Os custos variam em função da obtenção da matéria-prima, do processo produtivo e da quantidade de energia necessária para a industrialização do produto.

Entre os materiais alternativos existem os que usam o solo como o adobe, a taipa de sopapo ou taipa de sebe, a taipa de pilão e os tijolos de argila sem queima, não necessitam de energia para a sua fabricação, considerado apenas esta etapa do processo produtivo eles podem ser considerados como de consumo energético nulo. Com relação aos tijolos de solo-cimento, solo-cal e solo-cal-cinza deve ser computado o consumo de energia para a fabricação do cimento e da cal.

Este capítulo restringe-se a uma avaliação apenas qualitativa, pois o sucesso da aplicação de materiais alternativos depende dos recursos do local, do transporte envolvido e da propaganda para que o produto passe a ser conhecido pelos consumidores.

Tabela 3.1: Utilização de resíduos industriais, urbanos, vegetais e florestais. Fonte: Cincotto [37].

Resíduos	Fontes	Utilização
Cinzas de carvão	Usinas termoelétricas, queima de carvão pulverizado	Concreto asfáltico, cal, gesso, concreto, base de rodovias, aterros, produção de cimento, agregado leve, tijolos e blocos
Gesso	Indústria de fertilizantes	Bases e acostamento de rodovias, produção de cimento, vedações e argamassas
Resíduo cerâmico	Indústria cerâmica	Concreto e blocos de concreto
Papel	Caustificação do efluente	Tijolos, painéis isolantes
Vidro	Material descartado	Concreto asfáltico, blocos, ladrilhos, materiais cerâmicos e fibras
Pneus	Material descartado	Concreto asfáltico
De incineração	Lixo doméstico	Base de rodovias, aterros, concreto asfáltico
Plásticos	Lixo doméstico	Concreto asfáltico
Concreto asfáltico, concreto, aço	Demolições	Reciclagem de concreto asfáltico, agregado para concreto, concreto
Serragem, casca e cavacos de madeira	Campo, desdobro, beneficiamento, picadores, descartadores de serraria	Aglomerados, placas e vedações verticais, tijolos comuns e refratários
Casca de arroz (cinza)	Beneficiamento do arroz	Tijolo sílica-cal, pozolana, produção de cimento

Capítulo 4

Estudos de Caso

Neste capítulo realiza-se uma análise comparativa dos valores de conteúdo energético dos materiais de construção encontrados pelos vários pesquisadores citados, e em seguida, a partir dessa análise, apresenta-se o resultado dos cálculos para a avaliação do conteúdo energético de algumas construções.

4.1 Análise comparativa entre os valores dos conteúdo energético dos materiais

Para entender os valores encontrados pelos diferentes autores para o consumo energético na fabricação dos materiais, apresentam-se aqui as metodologias envolvidas em cada um dos trabalhos pesquisados.

- 1) O Centro Tecnológico de Minas Gerais, no trabalho *Balanco energético de edificações típicas* [17], adota um índice energético correspondente à energia total consumida para a fabricação de 1 kg de material. Para a determinação dos diversos índices foram feitos levantamentos, junto aos fabricantes, dos vários tipos de recursos energéticos consumidos para a produção de cada material. A energia total requerida é calculada

por meio das quantidades gastas de cada recurso e de seus poderes caloríficos. Este trabalho encontra-se entre os primeiros realizados no país a respeito deste assunto.

- 2) O trabalho de Guimarães define alguns conceitos básicos, que servem de orientação para o cálculo do consumo de energia envolvido nos materiais de construção [10]. Este autor chama de *Conteúdo Energético* dos materiais o somatório das energias que entram no processo de fabricação, incluindo a extração e transporte das matérias-primas. Este estudo foi desenvolvido com dados dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo .

Para determinar o Conteúdo Energético, é necessário partir do Índice Energético, que é a quantidade de energia consumida por unidade de massa. O Índice Energético é obtido dividindo-se a produção total de cada produto pela energia consumida pelas respectivas indústrias, considerando separadamente cada forma de energia.

Para isto, Guimarães tomou o consumo energético médio mensal de um ano e usou os dados sobre a produção do mesmo ano. Seguindo o mesmo raciocínio foi feito o cálculo do número de horas-pessoa de trabalho requeridos por unidade de material. Os dados usados foram de pessoal ocupado na produção industrial, sem discriminar a mão-de-obra especializada da não especializada.

Os dados assim obtidos foram comparados com outros trabalhos. Alguns apresentaram-se inconsistentes, e por este motivo as informações encontradas foram complementadas diretamente com alguns fabricantes; as diferenças encontradas foram atribuídas à disparidade de processos de fabricação. Por exemplo o cálculo feito pela Associação Brasileira de Produtores de Cal considera o consumo de óleo combustível em fornos de barranco descontínuo que é três vezes maior que nos fornos de cuba simples vertical [10].

- 3) A pesquisa de Pietrobon e al [9],[38] foi desenvolvida no Estado de Santa Catarina. O trabalho trata de uma análise comparativa entre o consumo energético envolvido na fase de fabricação dos materiais de construção. A metodologia proposta e aplicada baseou-se na planilha do M.I.C. (1982). Essa planilha apresenta todos os tipos de energia usados para a fabricação dos materiais de construção o que permite verificar através do somatório de cada item, o consumo de energia por produto. Um fator de correção é usado para unificar as diversas unidades de forma que os resultados possam

ser comparados. O consumo de energia foi obtido junto aos fabricantes dos materiais na região de Santa Catarina.

- 4) Roméro, [39] adota em sua metodologia dados primários obtidos junto aos fabricantes dos materiais de construção na Região Metropolitana de São Paulo. Foram feitas visitas aos locais de produção e foram estudadas as etapas do processo produtivo, para coletar os dados e identificar os tipos de energéticos empregados. Os dados referem-se ao consumo de energia nas fases de extração, produção e transporte dos materiais, incluindo o consumo metabólico durante a fabricação dos materiais.

Os valores encontrados nesses quatro casos apresentam diferenças que merecem investigação. As causas podem estar relacionadas à delimitação das etapas e à abrangência com que estas foram consideradas no processo produtivo total. Outra causa possível de discrepância está relacionada com a transformação da energia elétrica.

A sugestão é que a avaliação do consumo de energia envolvido no processo de fabricação dos materiais siga normas técnicas pré-estabelecidas, para que assim se obtenham dados mais homogêneos e menos conflitantes.

Embora se discorde de alguns dos resultados obtidos, uma parte destes foram reunidos na tabela 4.1, de forma que se possa compará-los. Nessa tabela aparecem, na última coluna, os valores adotados para o cálculo do consumo de energia das construções analisadas a seguir. Os valores adotados provêm de Pietrobon et al, [9], [38] e do CETEC, [17], pois ambos apresentam os dados dos materiais básicos, enquanto o mesmo não ocorre com os outros dois autores citados.

Tabela 4.1: Consumo de energia na fabricação de algumas matérias primas usadas na construção civil. Os valores são dados em kcal/kg. Fonte: [9], [10], [17], [39].

Material	Pietrobon et al	Roméro	CETEC	Guimarães Adotado	
Alumínio	22.898	16.323	23.688	-	-
Acrílico	-	12.834	13.267	-	-
Aço carvão veg.	-	5.676	-	-	-
Aço red. direta	-	2.872	-	-	-
Areia	4	-	4,1	14	4
Azulejo	5.570	19.402	3.088	5.578	-
Cal	962	-	944	561	-
Cerâmica refratária	-	2.427	-	-	-
Cimento	959	955	912	965	959
Ferro	5.219	-	5.235	-	5.219
Fibrocimento	-	955	1364	-	1364
Gesso	0,95	0,50 (pó)	1,0	-	-
Ladrilho esmaltado	-	2.030	-	-	-
Louça sanitária	-	2.288	-	-	-
Madeira	1.267	-	1.290	799	1267
Metalon	-	6.202	11.291	-	-
Pedra britada	8	-	-	-	8
PVC	129	-	129	17.758	-
Portas e janelas de madeira	283	-	-	-	-
Revestimento de pastilha	-	3.999	-	-	-
Telhas cerâmicas	700	1.281	860	747	700
Tijolo cerâmico	685	-	955	-	685
Tubos e conexões de PVC	-	8.428	129	828	-
Tinta	299	-	281	17.453	-
Tubo de concreto	125	-	103	-	-
Tijolo de concreto	103	-	114	-	114
Vidro plano	4.683	-	4.973	6.673	-
Vidro temperado	-	2580	-	-	-

4.2 Conteúdo energético de edificações selecionadas

Nesta seção são apresentados os resultados das análises efetuadas nos projetos arquitetônicos construídos. Estes projetos, bem como um resumo de suas características mais importantes, constam do anexo A. Cada projeto foi primeiramente analisado levando-se em consideração os materiais efetivamente utilizados na construção. Após a conclusão dos primeiros cálculos foram introduzidas modificações hipotéticas e novas análises foram feitas, a fim de quantificar os efeitos das modificações. As modificações dizem respeito somente aos materiais de construção, sem considerar as alterações do projeto arquitetônico, pois este assunto será tratado com detalhes na Parte II deste estudo.

O cálculo do conteúdo energético, considera somente os materiais básicos usados na infra-estrutura (fundação), supra-estrutura (pilares e vigas), fechamento dos vãos (tijolos), estrutura do telhado (madeira) e vedação da cobertura (telhas) de cada uma das obras. Optou-se por esta restrição porque os materiais escolhidos são aqueles que se empregam com mais freqüência na maioria das construções residenciais.

O cálculo do consumo de energia foi feito multiplicando-se a quantidade de material gasto na obra pelo valor (o valor adotado, mostrado na tabela 4.1) do consumo de energia.

4.3 Resultados Obtidos

As construções residenciais estudadas apresentam um uso preponderante de materiais cerâmicos (tijolos e telhas, para os fechamentos), ferro, cimento, areias, pedra britada (na estrutura) e madeira (formas e estrutura do telhado). Portanto, tais materiais interessam particularmente, no que se refere ao seu percentual de participação na composição do todo e a sua classificação em relação ao consumo energético. Na medida em que são responsáveis por 51% do consumo de energia envolvido nas construções [38], merecem também atenção especial por sua importância para a conservação de energia e a realização de um planejamento energético global.

Os resultados dos cálculos efetuados para quantificar o consumo energético das edificações selecionadas são apresentados na tabela 4.2, onde aparecem os totais de consumo de cada material básico utilizado em cada uma das obras. Todos os valores constantes da tabela são em 10^3 kcal, isto quer dizer que todos os materiais já sofreram as transformações de unidades para se obter a uniformidade desejada para tratamento dos dados.

Considerando apenas os dados mostrados na tabela 4.2 torna-se difícil estabelecer a comparação entre os valores encontrados. Resolveu-se por isso expressar o conteúdo energético em função da área construída. Obteve-se assim valores de consumo energético expressos em 10^3 kcal/m² para cada uma das obras avaliadas, valores estes que aparecem na primeira coluna da tabela 4.3. Esta tabela mostra também outras duas opções hipotéticas para avaliar e comparar o consumo de energia, no que diz respeito somente aos materiais. A primeira opção, chamada de Modificação 1, consiste em substituir o tijolo cerâmico pelo tijolo de concreto. A segunda opção consistiu na troca da telha cerâmica, usada nas edificações E01 a E06 e E08 a E10, por telha fibrocimento, trocando a telha fibrocimento por cerâmica na edificação E07. Os resultados são apresentados na coluna Modificação 2 da tabela 4.3.

O maior consumo de energia por unidade de área construída foi registrado na versão original de uma obra, atingindo 590.10^3 kcal/m², e ocorreu em uma edificação com 77,00 m², de forma regular, estrutura em concreto, vedação das paredes com meio tijolo cerâmico maciço e do telhado com telha cerâmica. O menor consumo, 326.10^3 kcal/m², corresponde a uma edificação de 126,00 m², com forma regular, estrutura em concreto e vedação das paredes com tijolo cerâmico tipo baiano, e do telhado com telha fibrocimento. A diferença entre um consumo e o outro é de cerca de 45%.

Na modificação 1, na qual se troca tijolo cerâmico por tijolo de concreto, observa-se uma redução de mais de 50% no consumo de energia. A explicação é simples: o consumo de energia envolvido na fabricação do tijolo cerâmico, 685 kcal/kg, é cerca de seis vezes maior que o necessário para a fabricação do tijolo de concreto, 114 kcal/kg. O tijolo de concreto adotado tem dimensões 9 cm × 14 cm × 39 cm e peso unitário de 8,6 kg.

No caso da Modificação 2, observa-se uma alteração mínima no consumo de energia

Tabela 4.2: Consumo total de energia, em 10^3 kcal, por espécie de material, usado em cada obra. Fonte: Elaboração própria.

Obra	Areia	Cimento	Ferro	Madeira	Pedra	Telha	Tijolo	Total
E01	104	5.514	2.693	3.050	163	4.004	23.975	39.503
E02	87	8.152	4.556	2.719	245	4.987	27.400	48.146
E03	139	6.953	4.060	2.719	326	4.987	28.770	47.954
E04	139	7.672	3.810	1.470	245	4.386	28.085	45.807
E05	104	5.035	1.900	3.086	204	2.730	38.360	51.419
E06	174	6.809	4.128	2.881	204	5.760	26.030	45.986
E07	139	6.809	9.274	2.205	245	5.270	23.975	47.917
E08	174	8.056	6.618	3.019	326	3.276	33.565	55.034
E09	174	13.330	4.556	4.042	326	4.914	41.110	68.452
E10	255	30.928	13.475	8.083	979	10.010	113.025	176.755

porque embora a telha fibrocimento apresente um peso menor por metro quadrado de área coberta ela consome quase o dobro de energia na sua fabricação.¹

4.4 Discussão dos resultados e considerações finais

Os resultados obtidos, apresentados na tabela 4.3 estão expressos como a razão entre o consumo energético e a área construída. Esta relação pode não expressar claramente a relação entre o consumo e a obra edificada, pois para uma mesma área pode-se ter um maior perímetro de paredes internas ou, ao contrário, é possível nem haver paredes internas. Resolveu-se incluir uma análise diferente, mais abrangente. Além da área de construção passa-se a considerar o tipo de edificação (térrea ou com mais de um pavimento), o número de compartimentos,² e faixas de área construída, seguindo a metodologia adotada pelo CUB (Custo Unitário Básico) para a classificação das construções.

¹ Adotou-se um consumo energético de 1364 kcal/kg para a fabricação do fibrocimento e de 700 kcal/kg para a telha cerâmica.

² O termo compartimento, adotado aqui, inclui banhos, área de serviço, cozinha, áreas de circulação e outros, expressando melhor o número de divisões com paredes internas, importante nos cálculos de consumo de energia.

Foi observado que as três unidades E01, E02 e E03, com área de construção menor que 100,00 m², todas térreas, com 6 compartimentos, apresentaram consumo entre 480 e 590.10³ kcal/m². As unidades E04, E05 e E08, com área de construção na faixa entre 100,00 e 150,00 m², todas construídas em dois pavimentos, com 8 compartimentos, apresentaram consumo entre 400 e 450.10³ kcal/m² o que permite inferir que somente o aumento da área de uma edificação não implica aumento proporcional do consumo de energia. As unidades E06, E07, E09 e E10 não foram incluídas na comparação pelas seguintes razões:

- E06 é térrea, tem 124,00 m², difere das demais porque em sua supra-estrutura foram usados pilares em madeira.
- E07 é térrea, tem 126,00 m², difere das demais quanto aos materiais usados, pois é a única construída com tijolos furados e telha fibrocimento.
- E09 e E10 são obras maiores, encontram-se fora da faixa de área analisada.

Embora não tenham sido incluídas, estas obras encontram-se entre os mais baixos consumos de energia, como se pode ver na tabela 4.3.

Uma conclusão já pode ser destacada: edificações térreas³ apresentam fundações e telhados menos otimizados que edificações com mais de um pavimento. Antes deste estudo apresentava-se como vantagem das edificações com mais de um pavimento somente o custo. Agora também se pode afirmar que construções de dois pavimentos podem ser classificadas como maiores conservadoras de energia que as edificações térreas, e portanto preservam mais a natureza.

³Através de experiência profissional na área pode-se afirmar que existem vantagens econômicas em construções com mais de um pavimento.

Tabela 4.3: Comparação entre os consumos totais de energia, por metro quadrado de construção, entre os projetos originais e duas modificações hipotéticas. Modificação 1: troca dos tijolos de cerâmica por tijolos de concreto. Modificação 2: troca das telhas de cerâmica por fibrocimento. Fonte: Elaboração própria.

Obra	Original 10^3 kcal/m^2	Modificação 1 10^3 kcal/m^2	Modificação 2 10^3 kcal/m^2
E01	590	280	602
E02	476	223	463
E03	505	240	525
E04	416	193	406
E05	447	267	456
E06	371	189	389
E07	326	216	316
E08	402	185	411
E09	380	179	391
E10	429	155	438

Capítulo 5

Conclusão da Parte I

O consumo energético das edificações tem sido tema constante das discussões que envolvem a conservação de energia. Neste contexto, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre iluminação, equipamentos elétricos, aquecimento e refrigeração, isto é, sobre o uso, manutenção e operação dos edifícios, sem que se leve em conta a fabricação dos materiais utilizados na construção.

A quantidade de energia despendida na fabricação dos materiais da construção civil pode ser determinada adotando-se uma metodologia que procure contemplar todo o processo produtivo, desde a extração da matéria prima até a sua participação na edificação. Os resultados das pesquisas já realizadas apresentam diferenças bastante significativas em relação a alguns materiais.

As diferenças são decorrentes dos diferentes processos produtivos e também da metodologia adotada para avaliar cada etapa da fabricação. Outro fator que pode ser apontado como responsável pela alteração nos resultados é o valor adotado para a transformação da energia elétrica. Encontramos tabelas que consideram $1\text{kWh} = 3.132\text{ kcal}$, adotado pelo Balanço Energético Nacional, [2] enquanto que a World Energy Council - International Energy Data, adota $1\text{kWh} = 860\text{ kcal}$, isto é 3,64 vezes menor que o valor do Balanço Energético Nacional. Mesmo assim não conseguimos explicação para alguns valores excessivamente discrepantes.

Os autores consultados são unânimes com relação a dois pontos. O primeiro trata da existência de materiais-chave no consumo energético, dentre todos aqueles que compõem um edifício. São identificados cinco deles como responsáveis por 51% do consumo embutido dos edifícios: aço e ferro (23%), concreto (14%), madeira e seus compósitos (9%) e cerâmica e areia (5%). O segundo ponto é que há evidências de uma relação direta entre a quantidade de energia necessária para a fabricação e o valor monetário dos materiais de construção e dos componentes construtivos. Embora o objeto deste trabalho seja o consumo de energia e não os custos dos materiais, é muito importante que se verifique a relação entre consumo de energia e custos, pois o uso deste tipo de argumento pode levar a uma maior ponderação sobre o assunto por parte do usuário na hora da escolha do material para a construção [9].

É importante salientar que as fontes de energia mais importantes na fabricação de materiais de construção são a energia elétrica, para a produção de alumínio, pvc e gesso; o óleo combustível, para a produção da cal, cimento, lajes, pisos, telhas cerâmicas e vidros; e o óleo Diesel, para a fabricação das tintas e extração da brita e areia. O carvão tem uso preponderante na produção do aço, e a lenha ainda é muito usada nas pequenas olarias [13, 38]. Os materiais usados atualmente na construção civil, na região de estudo, são na sua maioria dependentes, para sua fabricação de energia proveniente de fontes não renováveis. A predominância é o uso de derivados do petróleo e, em alguns casos, da energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas, o que na região é crítico, devido à escassez de recursos hídricos.

O material mais energointensivo apontado por todos os autores é o alumínio; o menos energointensivo é o gesso.

O consumo energético da madeira é superior ao do cimento, vale a pena observar que o cimento não pode ser usado sozinho, ele precisa de outros materiais na sua composição, inclusive a madeira para a confecção das formas, enquanto que a madeira pode ser empregada diretamente.

Considerando apenas os materiais avaliados nas construções dos Estudos de Caso encontra-se o ferro como o maior consumidor de energia. O ferro é o principal compo-

nente do concreto armado, na fundação, pilares, vigas e lajes, constituindo a estrutura da obra.

A Parte I apresentou a análise comparativa entre os consumos de energia envolvidos na fabricação de materiais de construção, e também a aplicação destes consumos energéticos em obras realmente edificadas, para ilustrar o assunto com dados concretos da região de estudo. Verificou-se que as edificações com áreas de até 100 m², térreas, com 6 compartimentos, apresentam um consumo entre 480 e 520.10³ kcal/m². Para a faixa entre 100 e 150 m², com 8 compartimentos e dois pavimentos, encontra-se um consumo variando de 420 a 450.10³ kcal/m². As modificações propostas mostram a diminuição de 50% do consumo de energia quando se troca o tijolo cerâmico por tijolo de concreto e a alteração é insignificante quando a troca feita é da telha cerâmica pela telha de fibrocimento. É importante salientar que não está sendo considerado o conforto apenas o consumo de energia com a fabricação do material.

Estes dados visam estimular o prosseguimento de pesquisas sobre o assunto, por parte dos envolvidos, direta ou indiretamente, tanto dos órgãos governamentais como da iniciativa privada e das instituições de ensino.

O trabalho realizado nesta Parte I não representa a única forma possível de avaliar, sob o ponto de vista da conservação de energia, os materiais estudados. Na Parte II, na qual estuda-se o projeto arquitetônico bioclimatizado, será verificado o comportamento destes e outros materiais com respeito à carga térmica, e seus reflexos no conforto dos ambientes.



Parte II

Projeto arquitetônico bioclimatizado

Introdução da Parte II

A Parte II trata do projeto arquitetônico bioclimatizado, o projeto adaptado ao clima. O assunto foi desenvolvido nos capítulos 6, 7, 8 e 9.

No capítulo 6 é apresentado o conceito de projeto arquitetônico bioclimatizado, os principais aspectos relativos ao clima, as questões envolvidas no conforto térmico além de mostrar as partes de uma edificação.

No capítulo 7, sobre a conservação de energia nas edificações, são apresentados os recursos naturais, como a ventilação e a iluminação naturais, e os recursos técnicos que influem na conservação de energia, trazendo ainda relatos de algumas experiências sobre o assunto.

No capítulo 8, Estudos de Caso, é apresentado o resultado de análises efetuadas em projetos arquitetônicos quanto ao cálculo da carga térmica. Este assunto foi desenvolvido utilizando o programa Arqitrop, por apresentar um banco de dados que incluía os materiais utilizados nas construções da região de estudo. Primeiramente as simulações foram feitas com os projetos originais, já usados no cálculo do consumo energético (Estudos de Caso, capítulo 4 da parte I) e que estão reunidos no anexo A. Em seguida são feitas simulações com base em variações hipotéticas do projeto e dos materiais utilizados.

Dos 10 projetos analisados na Parte I, foram selecionados 4 para a realização das simulações. Foram selecionadas obras de diferentes tamanhos, configurações geométricas e materiais. É bom ressaltar que uma delas não chegou a ser completada, por questões

econômicas, mas mesmo assim foi usada como exemplo pois os resultados da análise correspondente servem para mostrar o que ocorre com a maioria das habitações populares que são iniciadas e, por falta de recursos, ficam sem reboco, sem forro, ou sem telhado, apenas na laje de concreto. Trata-se de um caso crítico e que serve para mostrar o que pode ser feito para melhorar as condições de conforto. Os projetos arquitetônicos selecionados tratam de construções classificadas como econômicas, quanto às soluções arquitetônicas e à escolha dos materiais.

No capítulo 9 é apresentada a conclusão desta parte II, na qual procura-se mostrar como a arquitetura adaptada ao clima pode ajudar na conservação de energia.

Capítulo 6

O projeto arquitetônico bioclimatizado

O termo *bioclimatic design*, traduzido como *projeto bioclimático*, foi usado pela primeira vez por Victor Olgyay em 1953, quando este pesquisador pertencia ao grupo de Arquitetura Solar do MIT.¹

A proposta da *Arquitetura Bioclimática*, segundo Corbella [40], é harmonizar o edifício ao clima e às características locais, pensando no homem que morará ou trabalhará nele. Ele acrescenta, ainda, que para isso deve-se considerar a tecnologia, os conhecimentos atuais, os materiais e suas características físicas, químicas, óticas, mecânicas e estéticas, os recursos humanos, os materiais e a energia de que se dispõe.

O projeto arquitetônico bioclimático é adaptado ao clima, portanto leva em consideração as mudanças diárias e sazonais de temperatura, umidade, insolação e chuvas. Ele substitui o uso ativo de energia por uso passivo, ou pelo menos o diminui, na medida em que o projeto arquitetônico e a escolha dos materiais e técnicas construtivas levam em consideração o ambiente. A análise do local e dos materiais de construção disponíveis também fazem parte do projeto, que procura, assim, melhorar o uso dos recursos naturais, que são limitados. A figura 6.1 mostra a área de estudo.

¹Massachusetts Institute Technology.

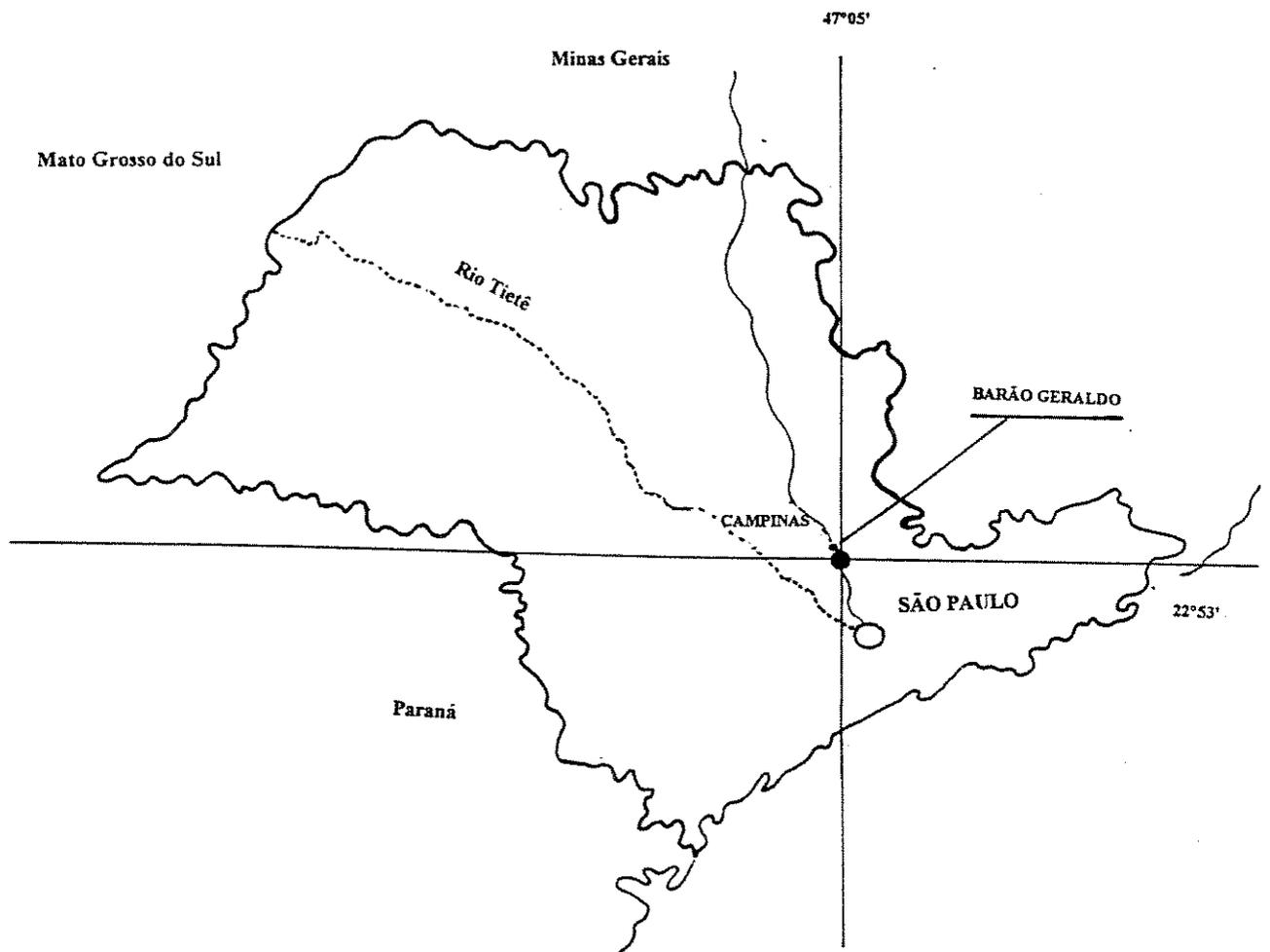


Figura 6.1: Localização da área de estudo.

O usuário da edificação é o principal motivo da existência do projeto. Desde que o homem necessitou abrigar-se, as soluções encontradas foram as mais variadas possíveis. As aldeias árabes foram construídas com casas térreas, as ruas sombreadas, as fachadas quase cegas e as aberturas reduzidas a frestas protegidas da radiação solar direta. As aldeias dos climas quentes-úmidos se caracterizam por apresentar grandes aberturas em paredes leves, sombreadas por varandas ou largos beirais que as protegem do sol e das chuvas intensas, próprias desse tipo de clima [41].

Após a Revolução Industrial, segundo Lúcio Costa [42] as fachadas (paredes) não tem mais a função estrutural,² surge a possibilidade de não fechá-las, permitindo fachadas feitas inteiramente de vidro e obrigando ao condicionamento artificial dos ambientes como solução para o conforto ambiental, acarretando elevado consumo de energia.

O projeto bioclimático deve empregar tecnologias adequadas. Não oferece resistência a altas tecnologias, porém baseia-se de uma forma imperativa na *moral ecológica*. Isto não significa um retorno aos princípios reinantes na pré-história, mas um avanço no emprego controlado e equilibrado dos recursos [43].

Os fatores que influem no projeto arquitetônico bioclimatizado têm ampla abrangência. Compreendem desde as alterações do clima devido ao entorno mais imediato até os detalhes mais específicos da edificação.

- Caracterização climática da área de estudo

Clima é o conjunto das condições meteorológicas que caracterizam uma determinada região, também conhecido como o tempo predominante do lugar, e é determinado por fatores estáticos e dinâmicos. Os estáticos são a posição geográfica e o relevo; os dinâmicos são temperatura, umidade, ventos e radiação. Os fatores dinâmicos, além de afetar o homem, também influem nas mudanças de temperatura das edificações.

²Pois foi substituída pelos pilares e vigas de concreto.

A área de estudo sofre influência do clima sub-tropical de altitude, apresentando duas estações bem definidas: verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 20,5°C. O clima na área de estudo é o *tropical úmido*. O clima tropical úmido apresenta temperaturas médias superiores a 18°C, praticamente uniformes durante grande parte do ano, e períodos com chuvas intensas quando o sol está alto (verão) e seco quando o sol está baixo (inverno) [44].

A precipitação anual média entre os anos de 1959 e 1993 foi de 1.394mm. Os dois meses em que mais chove são janeiro e dezembro; julho e agosto são os meses mais secos da região [44].

A direção preferencial dos ventos na maior parte do ano é de sudeste para noroeste. A velocidade média dos ventos é próxima de 10 km/h. Como segunda direção preferencial os ventos sopram do noroeste para sudeste com velocidades um pouco superiores às anteriores. Deve-se destacar ainda que na estação chuvosa a direção dos ventos é alterada e passa a soprar no sentido de sudoeste para nordeste [45]. A única direção em que realmente não ocorre ventilação é com ventos vindos do nordeste.

Maiores detalhes sobre clima e conforto térmico serão apresentados nas próximas seções.

6.1 Principais aspectos relativos ao clima

Existem muitos fatores que provocam alterações no clima, alguns mais globais e outros mais locais.

A atmosfera funciona como um amortecedor para a radiação solar que chega até a superfície da Terra. Parte da energia solar que chega à atmosfera é absorvida pela camada de ozônio e pelo vapor d' água, parte é refletida pelas nuvens e pela superfície terrestre, restando cerca de 60% para iluminar e aquecer a terra e a atmosfera [46].

O efeito da nebulosidade pode ser bastante significativo para a penetração da radiação solar. A quantidade refletida depende da quantidade, da espessura e do tipo de nuvens. A fração de radiação solar refletida por um céu totalmente encoberto oscila entre 44 e 50% quando as nuvens são cirros³ e entre 55 e 80% quando são estrato-cúmulos⁴. A radiação solar incidente aumenta em média de 5 a 15% para cada 1000 m de elevação, pois está diretamente relacionada à quantidade de massa de ar existente.

A latitude⁵ está diretamente relacionada com a quantidade de radiação solar, pois ela determina a duração do dia e também a distância que os raios solares percorrem na atmosfera para atingir o solo.

Segundo Lawford [48], existem variáveis climatológicas como temperatura, umidade, ventos, radiação e chuvas que sofrem oscilações em função da topografia. As características topográficas que influem nas variáveis climatológicas são altitude, natureza das superfícies, presença de corpos d'água, vegetação e relevo [49]. A temperatura, por exemplo, tem uma relação inversa com a altitude do local, pois quanto maior a altitude menor será a temperatura e quanto menor a altitude, maior será a temperatura. A umidade, os ventos, as nuvens, a radiação e as chuvas aumentam com a altitude.

A temperatura do ar e o clima como um todo são modificados pela presença de corpos d'água [49]. A concentração de vapor de água interfere na evaporação, que é um dos principais mecanismos usados pelo corpo humano para efetuar trocas de calor com o ambiente [50].

A figura 6.2 mostra a carta solar de Campinas, no solstício⁶ de inverno, no solstício de verão e nos equinócios.⁷ Na mesma figura é possível verificar como ocorre a insolação para diversas orientações das edificações. As linhas verticais permitem calcular o ângulo incidente do raio solar sobre a fachada nos solstícios de verão e de inverno e no equinócio.

³São nuvens que se formam a grandes alturas (8000 a 11000 metros) de cor branca e uniforme e de aspecto fibroso, conhecidas popularmente como rabo de galo.

⁴São nuvens constituídas de amontoados de cor cinzenta, não muito espessas.

⁵É a distância de qualquer ponto da Terra ao Equador, medida em graus no meridiano desse ponto.

⁶Tempo em que o sol, tendo chegado aos trópicos, parece estacionário durante alguns dias, antes de começar a aproximar-se novamente do equador; é quando se registra a maior diferença entre o dia e a noite, dias 21 de junho e 21 de dezembro

⁷Quando ocorre que o dia é igual a noite, 21 de março e 23 de setembro.

As observações seguintes devem considerar que o ângulo de incidência muda de acordo com a época do ano [47].

- Leste: recebe sol durante todas as manhãs em todas as estações do ano.
- Oeste: recebe sol durante todas as tardes em todas as estações do ano.
- Norte: ocorre a incidência dos raios solares em todas as épocas do ano.
- Sul: não recebe nenhum sol no inverno, e recebe pouco sol nos equinócios (primavera e outono), somente no início e final do dia, o sol é mais presente no verão no início e final do dia.

O chamado *ângulo de incidência da radiação solar* por definição é igual à latitude local, que em Campinas é de 22° e $53'$. O ângulo máximo de inclinação do sol ao meio dia no inverno é de aproximadamente 45° , no verão é de aproximadamente 90° e no equinócio é igual a $67^{\circ}07'$; ou seja a colatitude.⁸ Este detalhe é útil no cálculo dos beirais do telhado e dos protetores solares, que devem permitir a captação do sol no inverno e impedir a entrada direta no verão.

- Dia típico de projeto

Akutsu e Pedroso desenvolveram uma metodologia para a determinação dos *dias típicos de projeto*, um instrumento auxiliar para o desenvolvimento do projeto arquitetônico [51].

Os dias típicos de projeto são o resultado de um conjunto de valores para cada hora do dia, o qual é definido de acordo com um critério pré-estabelecido para cada uma das variáveis climáticas que interferem no desempenho térmico de uma edificação, quais sejam: a temperatura e a umidade do ar, a velocidade e direção dos ventos e a intensidade da radiação solar. O critério consiste, de uma maneira geral, no tratamento de dados climáticos

⁸É o resultado da subtração entre 90° e $22^{\circ}53' = 67^{\circ}07'$

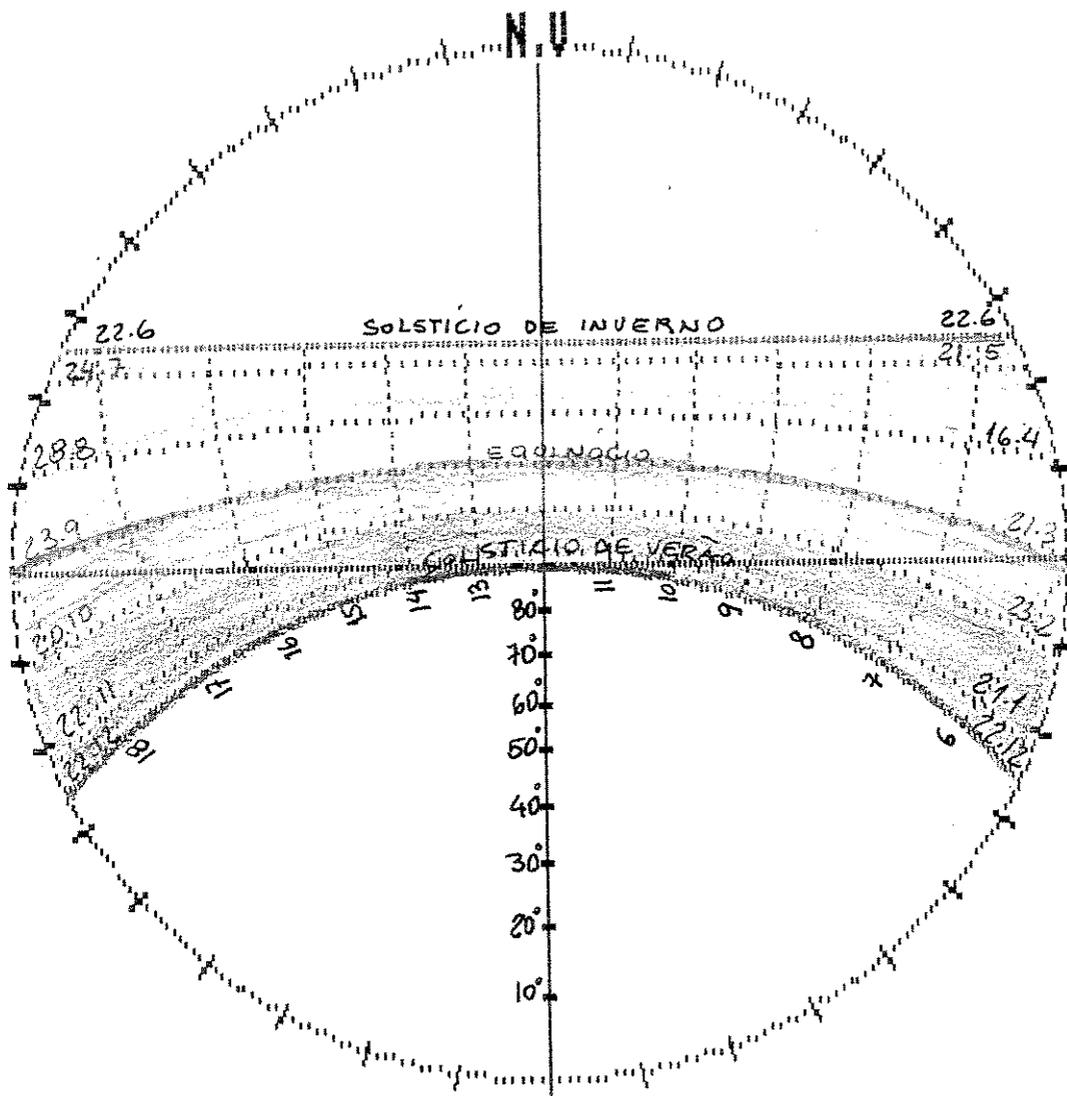


Figura 6.2: Carta solar de Campinas. Fonte: Programa Arqutrop [53]

registrados em posto meteorológico, de forma que os dias típicos se caracterizem segundo níveis de frequência de ocorrência [51].

A caracterização climática ao nível regional pode ser útil para a definição dos dias típicos de projeto, pois as informações, ainda que sejam gerais, podem suprir a ausência de dados na escala local, embora a metodologia se baseie em dados de um posto meteorológico, que fornece apenas as condições locais [51]. O posto meteorológico selecionado fornecerá as informações para determinar os dias típicos de projeto dentro da sua área de influência. Para que os dados sejam compatíveis devem-se considerar ainda as semelhanças topográficas e os fenômenos decorrentes do processo de urbanização, os quais podem acarretar o aumento das temperaturas da periferia para o centro das áreas urbanas [51].

Esta metodologia, aplicada ao Estado de São Paulo mostrou que os meses mais frios são junho e julho para a maioria das regiões climáticas, exceto para as regiões do litoral, nas quais o mês de agosto apresenta temperaturas mais baixas. Os meses mais quentes do ano são janeiro, fevereiro e março para a maior parte do estado; porém, em regiões com latitude 20, 21, 22 e 23° Sul e/ou posicionadas mais para o oeste do estado ocorre uma alteração, sendo que os meses mais quentes passam a ser janeiro, fevereiro e outubro [51].

Este trabalho utiliza os dados coletados de 1956 a 1990 pelo Instituto Agrônomo de Campinas [52], pois são os mesmos que constam do banco de dados do programa Arqitrop, [53] usado para avaliar a carga térmica de projetos arquitetônicos selecionados para análise, parte do capítulo 8.

O clima tropical úmido acarreta dias muito quentes e úmidos no verão. As temperaturas máximas absolutas variam entre 30,0 e 37,8°C. No inverno as temperaturas mínimas absolutas variam entre 0,2 e 13,6°C. A região de estudo apresenta uma variação de 191,1 a 246,2 horas por mês de insolação, umidade relativa média entre 64,7% e 77,2%, nebulosidade entre 3,2 e 6,6 numa escala de 0 a 10, e velocidade dos ventos entre 1,6 e 2,7 m/s.

6.2 Conforto térmico

Pode-se iniciar este assunto com a pergunta: O que é conforto térmico? A resposta não é fácil, pois as sensações térmicas são diferentes de pessoa para pessoa. A ASHRAE⁹ define o conforto térmico para uma pessoa como aquela condição na qual ela expressa satisfação com o ambiente térmico. O conforto térmico ótimo é a condição na qual mais pessoas estão termicamente confortáveis, pois não é possível fazer com que todas as pessoas estejam confortáveis simultaneamente [47].

Alva [54] define conforto térmico como o ponto de equilíbrio entre a temperatura do organismo humano e a temperatura ambiente, capaz de permitir a realização das atividades regulares sob condições satisfatórias. O equilíbrio pode ser obtido levando em consideração a temperatura, a umidade relativa do ar e sua velocidade, pois elas influenciam a dissipação do calor excedente do corpo, que ocorre por evaporação do suor acumulado na pele e que é transferido para o ar que a envolve. Além destes fatores ambientais existem outros, relativos ao nível de atividades e à resistência térmica do vestuário. O sol deve ser captado de acordo com as necessidades; o que é vantajoso em uma estação ou em uma certa hora do dia pode ser uma desvantagem em outra. A vegetação pode atuar como moderadora do micro-clima da área, bloqueando ventos, cortando a radiação solar direta ou refletida no verão e diminuindo a temperatura em relação à área em geral [55].

Existem diversos trabalhos sobre a avaliação do desempenho térmico das pessoas, dentre os quais pode-se citar o carta bioclimática e os estudos de Fanger [46], [58].

- Carta bioclimática

A carta bioclimática analisa as condições ambientais com base na temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, determinando zonas de conforto de acordo com esta variação (figura 6.3). O que pode ser conferido nesta carta é que a região de Barão Geraldo encontra-

⁹American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

se durante o verão na zona chamada abafada, muito desconfortável, enquanto que no inverno tem necessidade de umidade, pelo excesso de calor seco [46], [47].

- O trabalho de Fanger

O trabalho desenvolvido por Fanger [57] [58] levou ao estabelecimento de uma equação geral de conforto que correlaciona a sensação térmica com a combinação das variáveis, como temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, atividade física e vestimenta [58] com o objetivo era encontrar um índice de conforto. A equação foi obtida através de dados registrados de indivíduos com base numa escala de sete níveis, a mesma adotada pela ASHRAE [47]. A escala pode ser vista a seguir :

- Muito quente (+3)
- Quente (+2)
- Leve sensação de calor (+1)
- Confortável (neutralidade térmica) (0)
- Leve sensação de frio (-1)
- Frio (-2)
- Muito frio (-3)

A sensação térmica é denominada *voto médio estimado*, mais conhecido como PMV (Predicted Mean Vote). O trabalho experimental de Fanger envolveu cerca de 1300 pessoas. O resultado mostra que podemos estimar a *porcentagem de pessoas insatisfeitas em função do voto médio estimado*. A ASHRAE também especifica, na norma ANSI/ASHRAE 55-1981, as condições em que 80% das pessoas consideram o ambiente termicamente aceitável, ou seja, quando somente 20% das pessoas estão insatisfeitas.

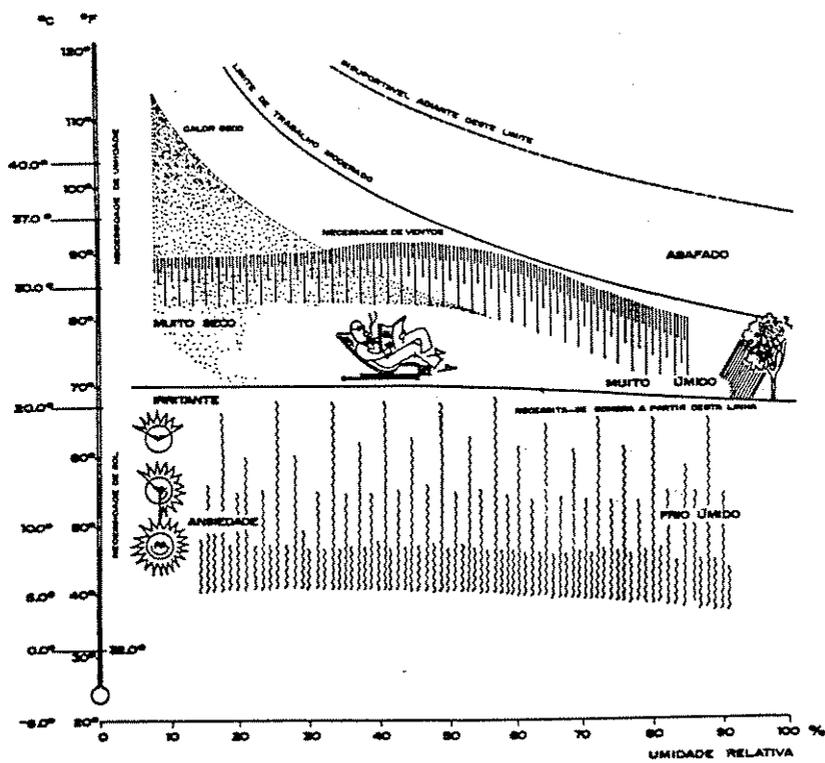


Figura 6.3: Diagrama Bioclimático. Fonte: Mascaró [46].

6.3 Fatores que influem no projeto arquitetônico bioclimatizado

A produtividade e a qualidade de vida do ser humano são bastante afetadas pelo nível de conforto térmico a que ele está submetido. Para obter melhorias nas condições ambientais a que está sujeito o usuário de uma edificação, contamos com vários recursos, dentre os quais citamos a ventilação e a iluminação naturais como recursos de elevada importância para o projeto bioclimatizado. Além destes um projeto também deve considerar o entorno, a vegetação, a insolação e a presença de água.

Os fatores que influem no projeto arquitetônico bioclimatizado são os mesmos que proporcionam a conservação de energia nas edificações e que devem ser incorporados no planejamento urbano, assunto que é detalhado nos próximos capítulos. O uso da vegetação e a análise do entorno são contemplados na Parte III deste estudo, onde é tratada a questão energética relacionada ao planejamento urbano.

6.3.1 Ventilação natural

A falta de ventilação adequada pode gerar uma série de conseqüências indesejáveis para os usuários de uma edificação, envolvendo desde a saúde até fatores econômicos, como é o caso da degradação de materiais pela ocorrência de bolor.

Para resolver o problema da ventilação nos edifícios é preciso primeiro conhecer as exigências dos usuários. Estas exigências podem ser classificadas em três grupos principais [59].

O primeiro trata da ventilação visando a higiene dos usuários. Neste caso é necessário que sejam satisfeitas as condições mínimas de fornecimento de oxigênio e eliminação de odores indesejados e dos riscos de contaminação por gases tóxicos. Considerando como atividades realizadas no interior da edificação o repouso, trabalho leve e trabalho moderado, a vazão

mínima necessária será de 0,4 a 1,7 m³/h por pessoa [59].

O segundo grupo trata da ventilação visando o conforto higrotérmico dos usuários. A ventilação deve remover o excesso de calor acumulado no interior da habitação, facilitar as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente e resfriar ou aquecer os elementos do edifício.

Por último a ventilação visando a durabilidade dos materiais e componentes da edificação. A função da ventilação é a remoção do vapor d'água dos ambientes, com a finalidade de evitar a condensação do mesmo. Quando a ventilação dos ambientes é inadequada pode ocorrer a condensação de vapor d'água, provocando mofo.

A ventilação natural aproveita os ventos dominantes para ser captada pelas aberturas das edificações e pode ser empregada nas formas cruzada e forçada. A ventilação natural cruzada é aquela que força a circulação do ar através de aberturas localizadas em paredes opostas. A ventilação natural forçada, utiliza o mesmo princípio dos dutos usados para retirar a fumaça das chaminés de lareiras e churrasqueiras sem auxílio mecânico.

A legislação municipal, através de seu código de obras, determina as áreas mínimas para a ventilação dos compartimentos de acordo com seu uso. Normalmente a área de ventilação mínima é reduzida em 50% devido ao sistema utilizado para abrir. O código de obras traz também as exigências mínimas relativas aos afastamentos, recuos e altura máxima dos prédios para garantir que a ventilação natural possa ser captada por todos.

6.3.2 Iluminação natural

A iluminação natural depende do acesso à principal fonte natural de luz, o sol. O projeto arquitetônico deve levar em consideração a captação da iluminação natural através de aberturas laterais e zenitais,¹⁰ visando atingir o conforto visual adequado às finalidades dos diferentes ambientes.

¹⁰Iluminação obtida pelo zênite, através de aberturas nos telhados.

O tipo de captação de luz natural mais comum é a lateral, embora a iluminação zenital seja mais eficiente e uniforme. A escolha de um dos dois sistemas depende também de questões relacionadas com o funcionamento, a manutenção e o custo. A iluminação lateral tem acesso e manutenção mais facilitados que a zenital, pois o acesso ao local onde se localiza a iluminação zenital, geralmente na parte mais alta do telhado, torna difícil a limpeza. Portanto, dependendo das características climáticas, do entorno edificado e da circulação de veículos, a superfície transparente pode perder sua eficiência, devido ao acúmulo de resíduos sobre ela. Em relação aos custos, a iluminação lateral também é mais econômica, inicialmente, do que a zenital.

A iluminação zenital é muito recomendada para locais grandes, onde a iluminação lateral perde parte de sua eficiência. A eficiência da iluminação lateral diminui muito rapidamente à medida que a distância da parede onde está localizada a abertura aumenta na direção do interior do compartimento.

Existem vários tipos de iluminação zenital: dente de serra ou *shed*, lanternim, cobertura de dupla inclinação e *domus*. Os três primeiros são muito usados em indústrias, enquanto que o *domus* é mais usado em residências.

Os códigos de obras dos municípios, como já foi dito, regulamentam as áreas mínimas de aberturas (janelas e portas) para receber a insolação, a fim de assegurar um mínimo de conforto aos usuários das edificações. Entretanto, ao circular pela cidade percebe-se que existe um descumprimento da lei: encontram-se aberturas menores do que o necessário, ou colocadas em lugar errado ou muros muito altos, impedindo a livre circulação do ar. Além disso, a própria legislação é em alguns casos insuficiente, na medida em que ao estabelecer padrões que assegurem esse mínimo de conforto, atém-se separadamente, de forma estanque, aos diversos aspectos da edificação que o influenciam, sem levar em consideração o resultado final da combinação de todos os fatores envolvidos. Um exemplo real pode ilustrar melhor esta afirmação:

Em um projeto de residência submetido pela autora à Prefeitura Municipal de Campinas, previa-se a construção de um cômodo com teto inclinado, com pé direito menor de 2,5 m

e pé direito maior de 3,7 m. Na defesa do projeto expliquei que o volume de ar seria maior que o exigido pela legislação, e que a construção de uma janela na parte superior da parede mais alta permitiria utilizar o efeito chaminé, melhorando a circulação do ar e aumentando o conforto do ambiente. Apesar disso, o projeto foi rejeitado por não respeitar a exigência legal de pé direito mínimo de 2,70 m. Este fato mostra que, ainda que detalhada e exigente, a legislação (ao menos a do município de Campinas) não contempla o conforto ambiental como um todo, mas considera apenas os fatores que o determinam.

6.4 Partes da edificação

Uma edificação é composta basicamente por três partes principais. A estrutural, que é responsável por sua sustentação; a envolvente, ou seja, o fechamento dos vãos, constituído pelas paredes, coberturas e aberturas (portas e janelas); e a parte responsável pelo seu funcionamento, as instalações de água, esgoto e elétrica.

A definição dos materiais que serão usados nas diversas partes da edificação deve prever o uso de materiais da região, aproveitando de forma racional os recursos naturais e proporcionando o conforto desejado. O emprego de materiais existentes próximos ao local onde serão usados evita a necessidade de transporte por longas distâncias, e com isto o elevado consumo de combustíveis, um dos maiores responsáveis pelo consumo energético de uma edificação em sua fase de construção.

- Estrutura

Segundo DuBois [55], o projeto estrutural para uma edificação, quando tomados os cuidados necessários quanto aos padrões de segurança, pode reduzir muito a necessidade de material. Além da diminuição do próprio material nos componentes estruturais, tem-se também o alívio da fundação e, como consequência, o menor envolvimento de transportes, bem como um menor espaço a ser utilizado no canteiro de obras.

O tipo de estrutura escolhido para cada edificação implicará uso maior de um determinado tipo de material. As estruturas metálicas e de madeira, utilizam o ferro e a própria madeira, respectivamente. A estrutura de concreto necessita de madeira para formas, ferro como parte da estrutura e uma composição com cimento, areia e pedra britada.

- Paredes

As paredes externas têm a importante função de retardar o fluxo de calor incidente lateralmente, podendo assim controlar a sua passagem de um meio para outro. Em climas quentes pode-se empregar paredes duplas, de forma a criar uma circulação ascendente do calor e assim obter paredes ventiladas. O tipo de material, a espessura e a orientação das paredes influem muito na eficiência térmica total dos edifícios.

A transmissão de calor pode ocorrer por condução, convecção e radiação. A condução ocorre porque o calor passa de molécula para molécula através do objeto, movimentando-se do meio quente para o meio frio. Seu estudo é importante no projeto das edificações, quando se define o tipo de material a ser usado para a execução das paredes. A convecção é a transmissão de calor por um fluido em movimento, como o ar.

Sempre que um corpo é aquecido passa a ser uma nova fonte de energia, que é devolvida ao ambiente na forma de radiação. Este fato também deve ser considerado quando se define o material que será usado nas paredes, cobertura e aberturas das edificações, pois poderão ser fontes de ganho ou perda de calor: por exemplo, uma parede em tijolo à vista ou pintada em cor escura na face oeste é um acumulador de calor.

- Coberturas

A maior carga térmica recebida numa edificação térrea, ou pelo último pavimento de um prédio, ocorre pelo telhado, atingindo cerca de 70% da carga total. A quantidade total de insolação absorvida depende da área superficial exposta à radiação solar, do volume, da

forma e da orientação da edificação. Alguns tipos de cobertura criados pelo homem visam melhor adaptação ao clima; este é o caso do iglu, cuja forma, imitando uma calota, diminui a superfície de contato com o ar exterior para não perder calor. O chalé típico das regiões montanhosas dos climas frios tem a cobertura para escoar rapidamente a neve, expondo-se quase totalmente para receber os raios solares.

As telhas de cerâmica usadas para fazer a vedação dos telhados são de cor vermelha, com tendência a tornarem-se mais escuras com o passar do tempo, o que proporciona um maior aquecimento interno e torna necessário um maior isolamento para melhorar o conforto. As demais telhas, embora quando novas apresentem uma cor mais clara, também sofrem alterações causadas pelas intempéries. Nas telhas de fibrocimento este problema é bem mais crítico do que nas telhas cerâmicas.

As coberturas comumente recebem uma vedação interna, que pode ser feita acompanhando ou não a inclinação do telhado. No primeiro caso a vedação interna é feita com um forro de madeira, preso diretamente à estrutura do telhado. O telhado pode também ser executado sobre uma laje de concreto armado, que acompanha sua inclinação. No segundo caso, a vedação interna é feita com um forro de madeira ou laje de concreto planos, criando um espaço para a ventilação chamado de espaço de ático. A existência desse espaço entre o telhado e o teto do pavimento superior, quando é adequadamente ventilado proporciona um maior conforto para os usuários.

- Aberturas (portas e janelas)

As aberturas de uma edificação são recursos importantes utilizados pelo projeto arquitetônico bioclimatizado, para obter a iluminação e a ventilação naturais, tão desejadas em climas quente-úmidos. Elas devem portanto ser planejadas, projetadas e executadas tendo em vista essa finalidade.

As aberturas são variações de três tipos básicos: aberturas de abrir simples, do tipo basculante (também conhecidas como pivotantes) e de correr. O tipo de abertura escolhido

deverá atender à área necessária para a iluminação e ventilação. Certos tipos de abertura proporcionam uma iluminação de 100% com sua área, mas aproveitam apenas 50% para a ventilação. Estas aberturas são um sinônimo de desperdício. Também são muito usadas as aberturas basculantes, que abrem somente 30°, o que torna a ventilação muito deficiente. A melhor opção é recorrer ao tipo que permita a abertura total, quando necessário.

- Instalações

As instalações nas edificações compreendem a parte hidráulica (canalizações para abastecimento de água e canalizações de esgoto), a parte elétrica, telefônica, alarmes, som, sistemas de aquecimento de água, refrigeração e outros.

As instalações de uma edificação, principalmente o sistema de aquecimento de água, devem fazer parte dos projetos para melhor se adequarem ao clima. O aquecimento de água pode empregar diversas fontes de energia: elétrica, gás, solar e óleo Diesel. Em termos de praticidade, cultura regional e conhecimentos técnicos, o chuveiro elétrico ainda pode ser apontado como a escolha mais adequada para o aquecimento de água residencial. Isto não quer dizer, contudo, que essa preferência deva ser mantida, na medida em que se pretende neste trabalho apontar opções para a utilização dos recursos naturais que não comprometam o sistema de suprimento de energia.

A refrigeração artificial, por outro lado, é usada como solução nas edificações em que é necessário diminuir a temperatura, e é muito comum nas *caixas feitas de vidro* ou edifícios envidraçados, para resolver o problema criado pelo *efeito estufa* decorrente da super-exposição à luz solar.

6.5 Considerações Finais

É possível fazer alguma coisa para melhorar as condições de conforto em uma edificação através de um projeto que adote as diretrizes recomendadas pela arquitetura bioclimatizada

e assim obter uma melhor qualidade de vida. O projeto de arquitetura deve procurar sua linha básica em função de:

- Atender as características do desenvolvimento sustentável.
- Usar de modo racional as fontes e materiais não renováveis.
- Reduzir o consumo de energia.
- Melhorar as condições de conforto e saúde.

Segundo Alva [54], é preciso tentar criar um microclima no interior da edificação de modo que as condições existentes no meio natural possam ser substituídas por outras, artificiais, criadas com a finalidade de conseguir o conforto térmico almejado. Para o clima tropical úmido, com verão muito quente, pode-se seguir algumas recomendações, lembrando sempre que não se pode reduzir a zero a situação de desconforto, pois, como já foi visto, a sensação térmica difere entre os indivíduos. Os seguintes procedimentos servem para melhorar o conforto no verão:

- Captar a ventilação natural para refrescar e ventilar.
- Proteger do sol quando faz muito calor.
- Evitar produzir umidade adicional.
- Usar a vegetação como regulador de temperatura.
- Prever ventilação adicional.
- Criar ventilação cruzada.
- Escolher o tipo de material mais adequado.
- Usar cores claras.

Para melhorar o conforto no inverno, por outro lado, pode-se [60]:

- Captar a energia proveniente do sol permitindo a sua entrada nos compartimentos de permanência prolongada.
- Dotar de esquadrias que vedem bem a entrada do ar frio.
- Isolar as paredes da edificação.
- Prever aquecimento adicional.

Capítulo 7

Conservação de energia x edificações

Neste capítulo são analisadas as diversas formas de conservar energia através do projeto adequado das edificações. O projeto arquitetônico bioclimatizado é o ponto de partida, pois deve estar de acordo com o clima predominante no local onde será desenvolvido. Um projeto é considerado bom quando inclui a definição do material que será usado na construção, por ser este um fator importante na avaliação final do consumo de energia.

As características dos materiais foram detalhadas na primeira parte deste trabalho, onde foi apresentado o consumo energético envolvido em todas as etapas da sua fabricação.

As edificações, como já foi visto, são constituídas por uma estrutura e um fechamento (também chamado de envolvente do edifício), formado pelas paredes e aberturas (portas e janelas). A relação entre as quantidades de superfícies fechadas e abertas permite diagnosticar as possibilidades de obtenção de luz, radiação solar e ventilação naturais, a partir da consideração do entorno existente.

7.1 Os recursos naturais

Existem vários recursos que podem ser aproveitados pelo projeto arquitetônico para criar formas de conservar energia. O projeto deve ser o resultado da análise do terreno: sua localização e posição em relação ao sol e aos ventos dominantes e a presença ou ausência de vegetação, barreiras naturais e também de corpos d'água. Em outras palavras, é necessário realizar uma análise detalhada do entorno.

Nesta seção são apresentados alguns detalhes sobre a ventilação, a insolação e a vegetação enquanto recursos naturais usados pelo projeto arquitetônico bioclimatizado para conservar energia.

7.1.1 Ventilação natural

O movimento do ar ocorre por diferença de pressão: ele se desloca da zona de alta pressão para a zona de baixa pressão. Como o ar quente tende a subir, é recomendado que sejam planejadas aberturas na orientação correta e com diferentes alturas para aproveitar a ventilação natural, de modo a proporcionar perfeita circulação de ar.

Nos climas quente-úmidos é recomendado que a abertura de entrada do ar esteja na parte inferior e a saída esteja na parte superior da parede. Não basta que o projeto esteja com a localização correta das aberturas, também é necessário que o tipo de abertura permita a maior ventilação possível, pois relacionado com o conforto a sensação de diminuição da temperatura é mais influenciada pela velocidade do ar do que pelo volume.

O espaço criado entre a telha e o forro de uma edificação, chamado *espaço de ático*, proporciona, quando ventilado, a melhor opção de conforto possível. Aberturas de ventilação no espaço de ático de 1% a 3% da superfície da planta proporcionam a retirada do calor recebido num percentual de 30% a 60% [41]. Isto dá uma idéia da importância de determinados detalhes de construção que podem ser previstos no projeto arquitetônico.

7.1.2 Radiação solar

A captação da radiação solar visando seu aproveitamento para iluminação natural é bastante desejável, porém pode ser causa do aumento da carga térmica que penetra na edificação. Um bom projeto de iluminação deve otimizar a relação entre a necessidade de iluminação e a carga térmica decorrente das soluções adotadas, podendo assim minimizar o consumo de energia e permitindo um condicionamento ambiental adequado [61].

- Fator luz do dia

A relação entre a claridade interna, em certo ponto de um local, e a claridade externa, medida num plano horizontal que passa por aquele ponto, é constante, qualquer que seja a hora do dia; a esta relação chamamos *fator de luz do dia*. Este fator permite calcular a intensidade luminosa de um determinado local em um ponto próximo da janela e na situação mais desfavorável, na parede do fundo. Tudo isto depende da forma como o fluxo luminoso incide nessa janela [25].

A iluminação natural pode ser captada pelas laterais ou pelo teto (iluminação zenital). A redução do consumo de energia quando usamos este último recurso é da ordem de 30% para o tipo Shed, 50% a 75% para o lanternin, e 90% para a cobertura de dupla inclinação e *domus* (clarabóia). Deve-se ter em mente, todavia, que a iluminação zenital é também responsável pela captação de uma elevada carga térmica. Por outro lado, para diminuir a intensidade luminosa deve-se lançar mão de fatores de sombra. Tais fatores são apresentados neste capítulo, na seção que trata dos recursos técnicos para a conservação de energia.

- Efeito estufa

Dotar uma edificação de vastas áreas envidraçadas foi durante algum tempo, uma prática comum entre os arquitetos. Criaram-se assim verdadeiras estufas, nas quais toda a

energia dos raios solares incidentes na fachada de vidro é absorvida pelos corpos existentes no interior do prédio, que passam a aquecer o ambiente por radiação.

A energia incidente num local através de uma vidraça é absorvida pelos objetos e paredes internas, que ao se aquecerem emitem novamente radiação, principalmente na faixa do infravermelho distante (comprimento de onda superior a 5.10^6 m). Este processo é chamado efeito estufa [25].

O uso do vidro nas aberturas das edificações deve ser restrito a suas funções de iluminar, vedar as infiltrações de ar, integrar o interior à vegetação que existe no entorno e vedar ruídos.

7.1.3 Vegetação

A vegetação é um importante fator a ser considerado, pois serve como controlador da carga térmica incidente na edificação, além de proporcionar um micro-clima agradável no seu entorno.

Uma barreira de vegetação serve para diminuir o excesso de ventos em locais onde isto é necessário, como nas zonas de praia. A barreira pode ser feita com arbustos ou árvores maiores, de acordo com o resultado que se deseja obter. A vegetação também pode ser usada como um canal que facilita a circulação e captação dos ventos. As cercas vivas podem, quando colocadas de forma alternada, uma na zona de pressão e outra na zona de sucção, determinar a melhoria da ventilação do local. A distância e a altura da vegetação influenciam a trajetória do ar [46]. Um detalhamento maior sobre o uso da vegetação com o objetivo de criar maior conforto ambiental pode ser visto no capítulo 11, Planejando o acesso aos recursos naturais.

Além do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, existem também recursos técnicos que, quando incorporados ao projeto, permitem conservar energia.

7.2 Recursos técnicos

Existem vários recursos que podem ser usados para que o conforto das edificações seja melhorado. Dentre eles citamos os beirais, os brises, o isolamento das superfícies, o emprego do tipo mais adequado de material e as cores usadas. Os materiais apresentam comportamentos diferentes com relação à radiação solar incidente, e a quantidade de energia absorvida, refletida e transmitida depende ainda do comprimento de onda [41].

A cor branca é muito refletora das ondas visíveis e curtas, mas muito absorvente das radiações de onda longa. A cor branca apresenta um coeficiente de absorção de radiação solar baixo e um coeficiente de absorção alto em relação ao meio imediato, cujos corpos apresentam uma temperatura baixa, por exemplo pessoas [41].

A incidência solar indesejada pode ser regulada por meio de *brise-soleils*.¹ Estes podem ser horizontais e verticais, fixos e móveis ou até uma combinação de ambos e são considerados como uma das mais importantes descobertas, em termos de inovação, na área de projetos que envolvem a construção civil. O brise vertical serve para a regulação da incidência do raio solar nas faces leste e oeste. O brise horizontal serve para a regulação da incidência solar da face norte e tem o mesmo funcionamento que o beiral do telhado, para as edificações térreas, quanto à entrada do sol, deixando entrar o sol no inverno e impedindo sua entrada no verão. Na figura 7.1 pode ser visto esquematicamente os modelos de brises verticais, horizontais e a combinação de ambos bem como o ângulo de incidência do raio solar de acordo com cada tipo. Nas edificações térreas, ou no pavimento superior de um edifício, a entrada do sol pode ser regulada também através do uso dos beirais.

A utilização destes recursos técnicos é extremamente importante para reduzir a insolação no verão, porém sua definição deve ser muito bem estudada em cada detalhe, pois uma vez que se impeça a entrada de sol pode-se também criar dificuldades para a captação e circulação dos ventos.

¹Também conhecidos popularmente como quebra-sóis.

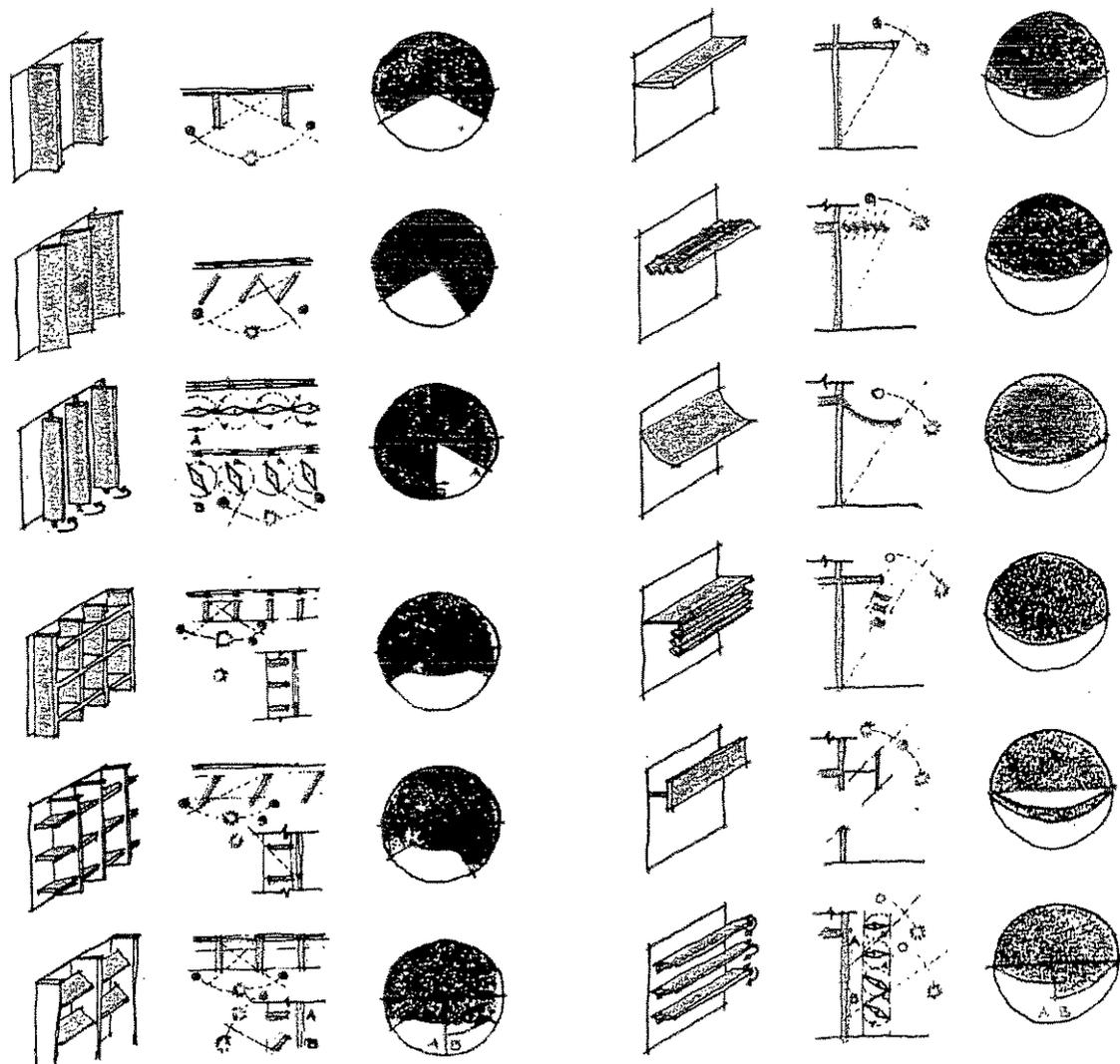


Figura 7.1: Modelos de brise-soleil. Fonte: [46]

Existem projetos que empregam técnicas de conservação de energia que sobrecarregam mais a estrutura, para poder suportar, por exemplo, um jardim com grama e telhados de água. Tais técnicas devem ser consideradas após ser feita uma análise do ciclo de vida dos materiais envolvidos e do uso, manutenção e operação das edificações.

- Isolamento

Existem dois tipos de isolamento térmico. O mais simples é chamado de isolamento por resistência, e é usado para diminuir a passagem do calor de um meio constantemente mais quente a um constantemente mais frio. Tal isolamento é proporcionado por materiais de baixa condutividade térmica. A proteção com material isolante e o revestimento das paredes podem evitar esta passagem de calor indesejada, principalmente no verão. É possível também usar paredes duplas com isolamento entre elas, paredes com isolamento externo e paredes isoladas apenas internamente.

- Sistemas de aquecimento de água e ar

Para climas frios, o que não é o caso da área de estudo, o consumo de energia para manter aquecido os ambientes no inverno, é bastante elevado. O clima da área de estudo, ao contrário, requer que seja previsto um recurso adicional para o período quente. A primeira opção, em termos de conservação de energia, é fazer uso da ventilação natural. A segunda opção é criar um micro-clima que possibilite um conforto razoável e, se ainda for necessário, empregar um ventilador para os dias excessivamente quentes. Neste último caso existe o consumo de energia elétrica.

Para o aquecimento do ar no inverno contam-se com algumas alternativas, como fogão a lenha e lareiras, cujo combustível é de uma fonte renovável de energia, a lenha, ainda que tais alternativas nem sempre possam ser usadas. Embora a lareira seja considerada normalmente um item de luxo, a sensação agradável proporcionada por ela justifica, em muitos casos, o investimento necessário.

Neste trabalho não foi feita uma análise técnica, para mostrar as diferenças entre o aquecimento através da energia solar e de outros tipos de aquecimento usando gás ou eletricidade. Pode-se dizer, contudo, que o aquecimento solar deve ser a meta quando o objetivo é a preservação dos recursos naturais. Estudos mais aprofundados a este respeito devem ser desenvolvidos, pois se trata de uma fonte de energia primária renovável e abundante, faltando apenas os recursos financeiros e técnicos e a decisão política para sua viabilização. Por outro lado, com o incentivo à utilização do gás nos estados das regiões sul e sudeste, está se configurando o seu uso intensivo, pelas próximas décadas, pois a tecnologia é conhecida e os custos para o usuário têm tendência adiminuir. A eletricidade não pode ser apontada como um recurso adequado, uma vez que está cada vez mais sujeita à escassez, como se deduz dos noticiários que tratam do assunto.

7.3 Relatos de algumas experiências

Nesta seção são apresentados os resultados de dois trabalhos que mostram a relação entre alguns detalhes construtivos e seus reflexos no conforto térmico das edificações.

7.3.1 Geometria das edificações

As relações geométricas presentes num projeto podem aumentar as condições de exposição de um edifício de acordo com sua implantação no terreno. Além disso, a geometria dos ambientes também é um fator determinante do desempenho térmico das edificações. No estudo realizado por Alucci et al [62] foram consideradas também as demais variáveis que interferem nesse desempenho, ou seja, a orientação da edificação e o sistema construtivo empregado. As condições de exposição empregadas foram as de um dia típico de verão, com temperatura do ar exterior máxima de 31°C e mínima de 22°C, e taxa de 1 renovação de ar por hora (1R/h).

O trabalho comparou a variação de temperatura do ar interior para ambientes com

pé-direito de 2,40 m e 3,00 m e dimensões variadas para largura e comprimento. O trabalho considerou apenas uma das faces dos ambientes estudados expostas à radiação solar, na qual se encontra a área envidraçada de $1,44 \text{ m}^2$. A influência da cobertura não foi considerada uma vez que permanece a mesma em todos os casos. Os volumes resultantes foram com 25 m^3 , 36 m^3 e 72 m^3 . O estudo foi desenvolvido observando as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste e dois sistemas construtivos. Os dois sistemas construtivos empregados foram:

- 1) Alvenaria de bloco vazado de concreto com espessura de 9 cm, revestida com argamassa interna e externamente, e coberta por laje e telha cerâmica.
- 2) Tijolo de barro maciço com espessura de 20 cm revestido com argamassa interna e externamente, e cobertura de laje com telha cerâmica.

As características térmicas dos materiais mostram que a resistência do bloco vazado de concreto com revestimento é menor que a do tijolo cerâmico. Além destas características é preciso também considerar a inércia térmica das paredes. O tijolo maciço apresenta uma elevada inércia térmica, enquanto que uma parede com bloco de concreto é considerada como de inércia térmica média.

Os resultados foram os seguintes:

- a) O aumento de volume do ambiente acarreta a redução da temperatura do ar interior, com exceção dos ambientes nos quais não ocorre a incidência de radiação solar direta sobre a fachada, como é o caso da fachada norte no verão.
- b) Para os ambientes com janela voltada para o sul, a influência do volume na variação da temperatura do ar interior é pouco significativa, pois a incidência de radiação solar é muito pequena e bem menor que nas faces leste e oeste.
- c) Para ambientes com volumes iguais, mesmo sistema construtivo e mesma orientação, a temperatura do ar interior é maior nos casos em que o pé-direito é menor.

- d) A influência da geometria do ambiente é maior para o sistema construtivo executado em bloco de concreto, dado que este apresenta menor inércia térmica que o sistema construtivo executado em tijolo maciço, de alta inércia térmica.

7.3.2 Processo construtivo, tipo de material e cores

O trabalho sobre Arquitetura Solar desenvolvido na Unicamp [63] tinha como objetivo quantificar as várias transferências de calor entre o ambiente edificado e o exterior. O estudo utilizou quatro módulos, representando cada um uma concepção diferente em relação ao modo de se obter o conforto térmico. A descrição dos quatro módulos é a seguinte:

- 1) Módulo padrão: Construído em blocos de cimento, coberto com telhas de cimento-amianto, sem forro e sem pintura.
- 2) Módulo semi-enterrado: Igual ao primeiro porém apresenta dois terços de três paredes enterradas, tem telhado plano de laje pré-moldada coberta com uma camada de terra com espessura variando entre 10 cm e 15 cm. As áreas expostas das paredes foram pintadas com látex branco.
- 3) Módulo parede espessa: Foi construído com solo-cimento e tem paredes de 50 cm de espessura, revestidas com reboco e pintadas de branco. O telhado é de telha cerâmica tipo francesa e o forro é de madeira.
- 4) Módulo ventilado: Tem paredes de blocos de cimento cheios de areia seca e foi pintado de branco. Possui forro de madeira e tem o telhado em forma de X com as faces apontando para leste e oeste. O telhado foi construído de forma a atuar como um coletor solar para aquecer e provocar tiragem através do módulo. Foi também previsto, neste módulo, uma abertura na parte superior, para aproveitar o efeito dos ventos e aumentar a tiragem. As telhas são de fibra de vidro transparente.

O procedimento adotado para o desenvolvimento do trabalho foi fazer anotações das medidas de temperatura no interior dos protótipos ao longo do dia, sempre comparando com

o módulo padrão. Também foram testadas 10 cores diferentes e para isto foram construídos dois pequenos módulos de blocos de cimento iguais.

Os resultados mostram que existe uma melhoria das condições de conforto quando o módulo tem paredes espessas ou semi-enterradas, devido à maior inércia térmica. Quanto às cores, foi observado que no caso de uso da cor branca o módulo apresentava temperatura interior mais baixa do que sem pintura. Nada consta com relação aos resultados obtidos com as demais cores testadas.

7.4 Considerações finais

Este capítulo traçou um panorama geral do potencial do planejamento adequado de edificações para a conservação de energia usada na sua utilização e manutenção em níveis de conforto satisfatórios para seus usuários. Os fatos apresentados permitem inferir que esta é uma fonte de economia à qual deve ser dada grande atenção, uma vez que através da utilização de relativamente poucos recursos pode-se obter economias significativas. Os principais pontos para a conservação de energia em edificações são, em nossa opinião:

- Definição do projeto arquitetônico de acordo com o clima e o entorno edificado próximo.
- Definição dos materiais empregados, do básico ao acabamento.
- Definição do uso e manutenção futuros.

O correto aproveitamento do potencial de conservação de energia inicia-se na criação do projeto arquitetônico e deve levar em consideração a extração das matérias-primas e os processos de fabricação dos diferentes materiais, a finalidade e o uso futuro da edificação e ainda a forma como se dará sua manutenção, visto que este último fator pode ter influência na eficiência dos recursos projetados.

Pode-se concluir lembrando que o objetivo final sempre é conseguir uma edificação com consumo energético mínimo, ou seja, uma edificação que seja construída e mantida com um consumo mínimo de energia, sem que para isso seja necessário sacrificar o conforto dos usuários.

O próximo capítulo apresenta o cálculo da carga térmica, aplicando o programa Arquitrop, em projetos arquitetônicos desenvolvidos e construídos pela autora deste trabalho, mostrados no anexo A.

Capítulo 8

Estudo de casos - carga térmica das edificações

Este capítulo, apresenta os resultados das análises térmicas efetuadas nos projetos arquitetônicos selecionados. Cada projeto foi analisado inicialmente considerando o que realmente foi utilizado nas construções, o chamado “projeto referência”. Em seguida, foram introduzidas algumas modificações no projeto arquitetônico e nos materiais usados, e novas análises foram feitas.

Existem vários programas que servem para analisar a carga térmica de edificações. Segundo Rauber et al [64] ao desenvolver os modelos de simulação, são necessárias muitas simplificações, devido à complexidade dos fenômenos envolvidos. Tais hipóteses são responsáveis por diferenças em relação à situação real. Estas diferenças podem tornar-se válidas através de comparação entre modelos. O trabalho de Rauber et al comparou três programas através da aplicação sobre um projeto padrão.¹ Os programas são: 1) Arquipak, desenvolvido por Steven Szokolay da Universidade de Queensland - Austrália; 2) Thedes, desenvolvido por Miguel Satler do CIENTEC, Porto Alegre, RS; e 3) Arqitrop, desenvolvido por Maurício Roriz e Admir Basso da Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, SP.

¹É uma casa popular térrea simulada para um dia real com alta radiação solar, no dia 17 de janeiro de 1991, em Florianópolis. Os dados climáticos foram obtidos na estação meteorológica do aeroporto Hercílio Luz de Florianópolis. Para a ventilação foi adotado $N = 0, 10$ e 17 renovações de ar por hora.

Os resultados obtidos são:

- 1) Quanto à temperatura, considerando ventilação nula, os picos de temperatura dos programas Arquipak e Thedes se aproximam, porém em horários diferentes. No Arquitrop as temperaturas são mais baixas durante todo o dia, coincidindo o pico com o Arquipak. Considerando a ventilação com 10 trocas por hora, as temperaturas são mais próximas para os três programas.
- 2) Quanto ao fluxo de calor, pelas paredes, janelas, piso, cobertura e ventilação, com ventilação nula, o programa Thedes é o que apresenta maiores ganhos, os outros dois apresentam um balanço entre ganhos e perdas. A diferença é muito pequena quando se considera a ventilação com 10 trocas por hora.

8.1 Cálculo da carga térmica

Para a realização dos cálculos de carga térmica, optou-se pela utilização do **Arquitrop** [53], principalmente por conter um banco de dados com os dados climáticos e os materiais usados na região de estudo, e por permitir a inserção de novos dados. O programa permite traçar a carta solar para qualquer cidade, sendo necessário apenas informar a latitude do local, o que possibilita obter os ângulos de incidência dos raios solares sobre as edificações para cada hora do dia e durante todo o ano. O programa fornece, também recomendações para elaboração dos projetos de acordo com o clima local. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos de fácil visualização.

O Arquitrop é um método simplificado de cálculo adaptado do algoritmo desenvolvido por Szokolay, para a avaliação do conforto térmico e do consumo de energia necessário para refrigeração ou aquecimento de ambientes. Os cálculos são efetuados considerando o dia típico de projeto e o número de renovações de ar por hora.

O modelo compreende as seguintes análises: do edifício e da sua ocupação; do clima; do balanço térmico (perdas e ganhos) e a estimativa do consumo de energia para o

condicionamento e/ou aquecimento.

A análise do edifício permite calcular a taxa de trocas térmicas devido à ventilação² e a taxa de produção interna de calor proveniente das diversas fontes (pessoas e equipamentos). O ganho solar é calculado para cada orientação de acordo com a radiação solar incidente na cobertura, nas paredes, vidros e pisos.

No que se refere ao clima, a estimativa de variação horária das temperaturas externas do ar é baseada no método *Deplanches* [53]. É incorporado na análise o conceito de zona de conforto, que depende do ambiente e dos indivíduos, quanto ao tipo de atividade ou vestuário usado. A definição de uma temperatura base permite determinar a quantidade acumulada de calor proveniente do exterior, no verão e o déficit acumulado no inverno.

A análise do balanço térmico com relação as perdas e ganhos é feita através do método gráfico. Se a soma dos ganhos de calor (sol+ocupação) for igual a soma das perdas (condução+ventilação) a carga para refrigeração será nula.

A estimativa do consumo de energia necessária para a refrigeração ou aquecimento do ambiente é obtida, também, através do método gráfico. Quando se define uma temperatura base, o gradiente de temperatura acima desta base significa calor excedente e portanto tem-se necessidade de refrigeração. Para temperaturas abaixo significa necessidade de aquecimento. Assim pode-se estimar a quantidade de Watts por hora necessários em cada caso. A conservação de energia pode ser obtida através de mudanças no projeto arquitetônico.

Os dados dos projetos arquitetônicos, necessários para alimentar o programa computacional, são os seguintes:

- 1) Número de pavimentos;
- 2) Cor da cobertura;

²É o usuário do programa que define o volume de ar renovados por hora, os cálculos efetuados consideraram 5 renovações de ar por hora.

- 3) Pé direito;
- 4) Área útil de ventilação;
- 5) Presença de aberturas em mais de uma fachada;
- 6) Período de ventilação;
- 7) Áreas envidraçadas em cada fachada;
- 8) Espessura dos vidros;
- 9) Ausência ou presença de proteção solar;
- 10) Cor das paredes;
- 11) Extensão das fachadas;
- 12) Ocupação dos ambientes;
- 13) Número de pessoas;
- 14) Período de ocupação;
- 15) Calor dissipado pelos equipamentos;
- 16) Tipo de piso;
- 17) Tipo de paredes externas.

Tendo em vista o grande número de dados necessários para alimentar o programa, optou-se por analisar apenas quatro dos dez projetos apresentados na Parte I, os quais foram selecionados por serem representativos dos demais e por que reuniam as características mais comumente encontradas nas edificações construídas na área de estudo. Para cada um dos projetos selecionados, calculou-se a carga térmica da edificação efetivamente construída (o chamado “projeto referência”) e 15 edificações hipotéticas. Tais edificações são obtidas tomando-se o projeto referência correspondente e alterando-o em um e somente um, dos itens que o compõem. Uma última análise reúne todas as variáveis que somam as melhores

opções para amenizar a carga térmica sobre a edificação, melhorando o conforto ambiental e diminuindo assim o consumo de energia.

Os detalhes dos projetos escolhidos são encontrados no Anexo A.³

Algumas limitações do programa, como por exemplo o fato de só aceitar a forma retangular, foram resolvidas através do traçado de um retângulo imaginário. A forma esquemática definida para cada um dos projetos analisados pode ser vista no Anexo A1.

Os resultados das análises dos projetos arquitetônicos podem ser vistos nas tabelas 8.1, 8.2, 8.3 e 8.4. Estas estão constituídas por quatro colunas, a primeira mostra os projetos e as 15 alterações hipotéticas, a segunda o cálculo da carga térmica para cada situação analisada, a terceira mostra o percentual de diminuição da carga térmica seguido de um sinal negativo (-) e, em caso de aumento da carga térmica o percentual será seguido de um sinal positivo (+). Na última coluna é apresentada a necessidade de refrigeração para cada caso. As mudanças que acarretaram melhorias foram incorporadas ao projeto ótimo, mostrado na última linha das tabelas 8.1 a 8.4. O projeto ótimo deveria ser a meta de todos os arquitetos.

8.2 Análise dos resultados e considerações finais

O projeto E01 referência, apresentou menor necessidade de refrigeração quando comparado com as modificações propostas nos itens 2, 12 e 13. Quando é incluída a iluminação zenital, (item 2), o aumento da carga térmica é cerca de 3%. No item 12, a modificação da laje de concreto por forro de madeira aumenta a carga térmica da edificação, em cerca de 11%. Com relação ao item 13, onde é testado o projeto sem a proteção solar das varandas observa-se um aumento de 14% da carga térmica. A modificação nos vidros, com relação a espessura e proteção com material de alta reflexão causa pequena diminuição da carga térmica. A melhor parede é a de um tijolo cerâmico maciço rebocada dos dois lados, vindo logo a seguir o mesmo tipo de parede aparente. A troca da cor escura por cor clara (item 14)

³A denominação das edificações é a mesma usada na parte I.

Tabela 8.1: Resultados obtidos para E01. Fonte: Elaboração própria.

Projetos e alterações	Máxima carga (W)	Comparação com Referência (%)	Necessidade de refrigeração (kWh/mês)
01. Referência	3661 (18h)	—	940
02. Inclui iluminação zenital	3755 (18h)	+3	945
03. Aumento da espessura e proteção para os vidros	3635 (18h)	-0,7	915
04. Meio tijolo de concreto	3662 (18h)	0	893
05. Um tijolo cerâmico aparente dos dois lados	2255 (17h)	-38	854
06. Um tijolo cerâmico rebocado dos dois lados	2093 (17h)	-43	837
07. Meio tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	2938 (17h)	-20	806
08. Um tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	2482 (17h)	-32	760
09. Meio tijolo de solo cimento	3480 (18h)	-5	911
10. Um tijolo de solo cimento rebocado dos dois lados	3288 (18h)	-10	896
11. Telha de fibrocimento	3268 (17h)	-11	834
12. Forro de madeira	4080 (14h)	+11	1222
13. Presença de proteção solar	4173 (18h)	+14	1120
14. Uso de cores claras	2437 (17h)	-33	522
15. Forro com laje de concreto	3661 (18h)	—	940
16. União de todas as modificações positivas	1117 (18h)	-70	442

Tabela 8.2: Resultados obtidos para E02. Fonte: Elaboração própria.

Projetos e alterações	Máxima carga (W)	Comparação com referência (%)	Necessidade de refrigeração (kWh/mês)
01. Referência	7253 (13h)	—	1460
02. Inclui iluminação zenital	7381 (13h)	+2	1466
03. Aumento da espessura e proteção para os vidros	7062 (13h)	-3	1401
04. Meio tijolo de concreto	7566 (13h)	+4	1470
05. Um tijolo cerâmico aparente dos dois lados	6619 (13h)	-9	1398
06. Um tijolo cerâmico rebocado dos dois lados	6467 (13h)	-11	1382
07. Meio tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	6959 (13h)	-4	1308
08. Um tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	6959 (13h)	-4	1308
09. Meio tijolo de solo cimento	7278 (13h)	+0,3	1452
10. Um tijolo de solo cimento rebocado dos dois lados	7371 (13h)	+2	1403
11. Telha de fibrocimento	5424 (13h)	-25	1006
12. Forro de madeira	3837 (14h)	-47	1096
13. Presença de proteção solar	7246 (13h)	0	1388
14. Uso de cores claras	4047 (17h)	-44	632
15. Forro com laje de concreto	3513 (18h)	-52	825
16. União de todas as modificações positivas	1040 (18h)	-86	322

Tabela 8.3: Resultados obtidos para E03. Fonte: Elaboração própria.

Projetos e alterações	Máxima carga (W)	Comparação com Referência (%)	Necessidade de refrigeração (kWh/mês)
01. Referência	3392 (18h)	—	744
02. Inclui iluminação zenital	3477 (18h)	+3	750
03. Aumento da espessura e proteção para os vidros	3054 (17h)	-10	684
04. Meio tijolo de concreto	3388 (18h)	+10	746
05. Um tijolo cerâmico aparente dos dois lados	2068 (17h)	-39	652
06. Um tijolo cerâmico rebocado dos dois lados	2270 (18h)	-33	700
07. Meio tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	2885 (17h)	-15	683
08. Um tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	2388 (17h)	-30	621
09. Meio tijolo de solo cimento	3655 (17h)	+8	838
10. Um tijolo de solo cimento rebocado dos dois lados	3273 (18h)	-4	732
11. Telha de fibrocimento	3160 (17h)	-7	605
12. Forro de madeira	3771 (14h)	+11	1025
13. Presença de proteção solar	3095 (17h)	-9	668
14. Uso de cores claras	2582 (17h)	-24	450
15. Forro com laje de concreto	3392 (18 h)	—	744
16. União de todas as modificações positivas	1212 (19h)	-64	353

Tabela 8.4: Resultados obtidos para E07. Fonte: Elaboração própria.

Projetos e alterações	Máxima carga (W)	Comparação com referência (%)	Necessidade de refrigeração (kWh/mês)
01. Referência	3868 (16h)	—	930
02. Inclui iluminação zenital	3844 (16h)	-0,6	865
03. Aumento da espessura e proteção para os vidros	3556 (16h)	-8	796
04. Meio tijolo de concreto	4195 (17h)	+8	965
05. Um tijolo cerâmico aparente dos dois lados	3183 (17h)	-18	917
06. Um tijolo cerâmico rebocado dos dois lados	2886 (17h)	-25	880
07. Meio tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	3868 (16h)	—	930
08. Um tijolo cerâmico furado rebocado dos dois lados	3373 (17h)	-13	949
09. Meio tijolo de solo cimento	4448 (17h)	+15	928
10. Um tijolo de solo cimento rebocado dos dois lados	4260 (17h)	+10	900
11. Telha de fibrocimento	3941 (17h)	+2	1171
12. Forro de madeira	4897 (14h)	+27	988
13. Presença de proteção solar	3696 (16h)	-4	880
14. Uso de cores escuras	5071 (16h)	+31	1244
15. Forro com laje de concreto	3868 (16h)	—	930
16. União de todas as modificações positivas	1587 (18h)	-59	631

não é tão eficaz como a mudança da parede de meio para um tijolo (itens 5 e 6). A substituição do tijolo cerâmico pelo tijolo de concreto não causou alteração da carga térmica, pois este projeto apresenta todas as paredes com face leste, oeste e norte protegidas por varandas. O projeto ótimo, último item, é a combinação de todas as melhorias feitas em relação ao projeto referência e resulta uma diminuição da carga térmica de 70% e a necessidade de refrigeração em 53%.

O projeto referência E02 apresenta uma elevada carga térmica pois este projeto foi analisado considerando-se a falta de acabamento da construção. As modificações feitas resultaram melhorias, com algumas exceções, como por exemplo quando se analisa o projeto referência com iluminação zenital (item 2); com meio tijolo de concreto (item 4); com meio ou um tijolo de solo cimento (itens 9 e 10). A alteração da cor escura pela cor clara permite a redução da carga térmica em 33%. A simples inclusão do forro de madeira com espaço de ático ventilado (item 12) provoca uma redução da carga térmica em cerca de 47% e a inclusão da laje de concreto (item 8) reduz mais ainda, cerca de 52%. Este projeto não apresenta nenhum tipo de proteção contra o sol, pois o pergolado que faria a proteção da face norte não foi executado, porém a análise feita no item 13 considerou a proteção projetada e obteve-se uma pequena redução da carga térmica, apenas 5%. O projeto ótimo, que é a combinação de todas as melhorias chega a reduzir 86% a carga térmica e em 78% a necessidade de refrigeração. Este exemplo retrata o que ocorre frequentemente com as construções da população de baixa renda, que não consegue concluí-las, prejudicando o conforto.

O projeto E03, apresenta como a pior situação com relação ao projeto referência a modificação da laje de concreto por forro de madeira, correspondendo a cerca de 11%. A substituição da parede de 1/2 tijolo cerâmico, revestido somente do lado interno, projeto referência, por parede com 1 tijolo aparente sem reboco (item 5), permitiu verificar uma redução da carga térmica em cerca de 39%. A iluminação zenital também é causadora do aumento da carga térmica em cerca de 2,5%, isto pode ser desconsiderado quando se compara com a economia de energia pela iluminação natural que se obtém. O item 15, é uma repetição do projeto referência. A melhor situação, para o projeto ótimo considerou melhorias na espessura, proteção e tipo de caixilho dos vidros, adotando a cor clara para paredes, esquadrias e cobertura, o que permitiu uma redução da carga térmica em aproximadamente

64% e a necessidade de refrigeração em 53%.

O projeto E07, é diferente dos anteriores pelos materiais utilizados na construção, já explicitado anteriormente. As modificações efetuadas nos itens 4, 9, 10, 11, 12 e 14 mostraram resultados maiores para a carga térmica que o próprio projeto referência. Isto significa que a inclusão da iluminação zenital, a troca do tijolo furado do tipo baiano por tijolo de concreto, por tijolo solo-cimento aparente ou rebocado dos dois lados, a modificação da telha fibrocimento por telha cerâmica, a substituição da laje de concreto por forro de madeira e o uso da cor escura não são as melhores opções para diminuir a carga térmica. A modificação da cor clara por cor escura resultou maior carga térmica, cerca de 31%. A situação ótima considerou em todas as situações a cor clara, proteção solar por toldo, cor clara, vidros mais espessos e caixilho duplo, além de paredes de um tijolo maciço rebocado nos dois lados, neste caso a redução da carga térmica chegou a 59% e a necessidade de refrigeração em 32%.

Constatou-se nos projetos analisados, todos de edificações térreas, que a maior carga térmica é proveniente da cobertura e representa um intervalo entre 40% e 70% do total da carga térmica encontrada.

Pode-se concluir destacando os principais aspectos que modificaram os valores da carga térmica, também expressados em termos de necessidade de refrigeração, e que influem diretamente no conforto dos usuários das edificações analisadas e no consumo de energia. Das interferências feitas, algumas tem maior impacto sobre os resultados que as outras; em particular, o tipo de cobertura, seu isolamento e a definição das cores são responsáveis por aumentos ou reduções significativos da carga térmica. A iluminação zenital, mesmo com o pequeno aumento que causa na carga térmica, deve contar com outros recursos técnicos que permitam o seu uso para obtenção da iluminação natural.

Os resultados obtidos da primeira parte do trabalho, mostraram que o tijolo cerâmico, um dos materiais mais usados nas construções da região de estudo, necessita de cerca de 700 kcal/kg para sua fabricação. As análises apresentadas neste capítulo, por outro lado, mostram reduções expressivas da carga térmica em todos os casos em que se propôs o aumento

da espessura da parede de 1/2 tijolo para 1 tijolo, devido ao retardo da passagem do calor para o interior da edificação. Estes dois fatos devem ser pesados na hora de se estabelecer o projeto da obra, lembrando ainda que o consumo de energia para a fabricação do material pode ser amortizado ao longo do tempo do uso da edificação, com a redução da necessidade de refrigeração e mais do que isto com a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

Capítulo 9

Conclusão da Parte II

O clima, as condições especiais da área de estudo em relação a sua localização, o entorno edificado e os acidentes naturais, bem como a definição dos materiais que constituirão a edificação são aspectos que devem ser considerados no projeto bioclimatizado.

O que é preciso observar ao desenvolver projetos para utilização em locais como a área de estudo ?

- A distribuição em planta deve seguir critérios de zoneamento para que os espaços menos importantes sirvam como uma espécie de amortecedores climáticos.
- Especial atenção deve ser dada ao sombreamento das superfícies envidraçadas, mediante o uso de venezianas, cortinas e outros elementos.
- Deve-se prever um bom isolamento das paredes e telhado, tanto para as temperaturas baixas como para as temperaturas elevadas.
- A abertura de janelas para a fachada norte nas edificações térreas aumenta muito o ganho de calor solar no inverno, deixando o sol baixo entrar.
- Deve-se reduzir as infiltrações de ar e proteger dos ventos frios.

- A orientação, arborização, beirais do telhado, venezianas e elementos de sombreamento horizontais e verticais protegem a edificação da radiação solar.
- Nos meses mais quentes, a orientação do edifício deve aproveitar as brisas dominantes como fonte de ventilação em volta da casa, e dentro dela, quando a planta apresentar espaços abertos.
- Os projetos com geometria estreitas e compridas, janelas amplas e tiragens verticais facilitam a circulação do ar através da edificação.

Um projeto arquitetônico bioclimatizado busca fontes alternativas de energia para suprir as necessidades de aquecimento, ventilação, resfriamento e iluminação de uma edificação. Uma edificação adequadamente projetada [60], pode aumentar em cerca de 20% o tempo total de conforto natural ao longo de um período de um ano, reduzindo a necessidade de lançar mão dos aparelhos de ar condicionado e ventiladores a base de energia elétrica. Neste trabalho não foi feita uma análise das diferenças entre o aquecimento solar e o aquecimento por gás ou eletricidade, embora se acredite na importância deste recurso natural como forma de diminuir o consumo durante a utilização da edificação; isto deverá ser incorporado nas discussões do projeto arquitetônico bioclimatizado.

As análises da carga térmica, resultantes dos Estudos de Caso, permitem concluir que existem alguns problemas de projeto que podem ser controlados pelo arquiteto ainda na fase de elaboração do mesmo. Destacam-se:

- A melhor cobertura é aquela com telhas de cor clara sobre uma laje de concreto que apresente o espaço de ático ventilado.
- A melhor parede é a executada com um tijolo maciço rebocada dos dois lados
- A melhor cor é a clara.

Verificou-se que grande parte da carga térmica das edificações térreas é causada pela cobertura. Os materiais usados na cobertura, telha cerâmica ou tipo fibrocimento, escurecem com o tempo e aumentam ainda mais o calor nas edificações.

Quanto à escolha do melhor material neste caso indica-se as telhas cerâmicas, preferencialmente de cor clara, pois as de cimento amianto, responsáveis por uma carga térmica menor, devido à cor clara, quando novas, não podem ser indicadas como melhor opção devido a dois fatos que envolvem o processo produtivo, podem causar danos à saúde dos trabalhadores e são maiores consumidoras de energia, praticamente 100% a mais que as telhas cerâmicas.

Outro ponto importante a ressaltar é que as simulações mostraram que as edificações com paredes na cor do tijolo natural, conhecidas como tijolo à vista, são mais quentes que edificações com reboco e pintadas em cores claras. Esta diferença é bastante significativa e merece maior atenção por parte dos arquitetos. A carga térmica sobre as paredes de um tijolo maciço é muito menor do que em todas as outras situações estudadas, principalmente quando for rebocada dos dois lados e for pintada em cores claras.

Em suma, somente com uma edificação estudada em todos os detalhes, e que conte com componentes reguláveis para serem acionados quando necessário, pode-se melhorar as condições de conforto através do melhor uso dos recursos naturais. A conservação de energia baseada apenas a escolha dos materiais nem sempre fornecerá o melhor conforto os usuários.

Esta parece ser a principal contribuição da arquitetura para a conservação de energia, e deve portanto passar a fazer parte do planejamento energético.

Parte III

A questão energética no planejamento urbano

Introdução da Parte III

Nesta terceira parte, são apresentados os principais pontos, que devem ser levados em consideração pelo planejamento urbano visando o planejamento energético.

No capítulo 10 é apresentada uma visão geral do planejamento energético e do planejamento urbano. Neste último a ênfase é dada ao zoneamento urbano do Distrito de Barão Geraldo, através do Plano Local de Gestão Urbana, por ser a área de estudo, é apresentado de forma resumida o zoneamento urbano do Distrito de Barão Geraldo. No capítulo 11 é tratado o uso dos recursos naturais e de que forma estes recursos devem ser usados no planejamento urbano, os pontos principais destacados são o traçado das vias de circulação e a ventilação natural. No capítulo 12 é apresentado Estudos de Caso aplicados em bairros da área de estudo, analisados segundo a definição de alguns critérios básicos, como ventos, insolação, vegetação, vias de circulação, topografia, presença de corpos de água e áreas de risco. No capítulo 13 é mostrada a contribuição para o planejamento energético, concluindo esta parte do trabalho.

Os estudos sobre o consumo de energia usado para a fabricação dos materiais de construção não são suficientes para uma avaliação com relação à conservação de energia nas edificações, foi necessário acrescentar os detalhes que envolvem o projeto arquitetônico bioclimatizado para verificar quanto estes materiais podem interferir no conforto térmico dos usuários. Com a finalidade de completar estes estudos foi proposto o desenvolvimento desta terceira parte.

Capítulo 10

Planejamento energético e planejamento urbano

A história da civilização mostra que o homem procura a convivência de outros homens, fazendo surgir as cidades e com elas o planejamento urbano. O planejamento energético, por sua vez decorre da necessidade de suprir a sociedade com a energia necessária para sua sobrevivência. As primeiras formas de energia usadas pelo ser humano foram sua própria força muscular, a tração animal e a lenha, usada para aquecimento e para o cozimento dos alimentos, como ocorre até hoje em muitas partes do mundo. Ao lado destas, a queda d'água e o vento foram as mais importantes fontes de energia durante o período pré-industrial.

Depois da Revolução Industrial o carvão mineral passou a ser usado como combustível para a máquina a vapor. O sucesso da máquina a vapor é atribuído principalmente às minas de carvão e à indústria de ferro, pois o carvão vegetal era escasso e não havia mais reservas de florestas, nem água para obter a energia hidráulica.

A revolução industrial provocou mudanças substanciais na vida da cidade. Atualmente a maioria da população mundial é urbana, enquanto que na civilização pré-industrial a cidade era destinada apenas a pequena minoria socialmente dominante [65]. A mudança do homem do campo para a cidade provoca o inchaço e o caos nas mesmas.

A energia é tão fundamental e especialmente importante para o desenvolvimento das atividades diárias que é impossível imaginar sem ela, o mundo em que se vive atualmente. As pessoas já não vivem sem a iluminação artificial, sem usar os aparelhos para aquecer ou refrigerar os ambientes, sem os eletro-domésticos, sem as máquinas e os computadores tanto em casa como no trabalho. Além disto convém lembrar que as edificações são também altas consumidoras de energia, tanto no que se refere à fabricação dos materiais nela envolvidos como na sua construção propriamente dita e na utilização das mesmas. Todos estes detalhes devem ser considerados quando do planejamento.

Segundo a Carta dos Andes, “*Planejamento é o processo de previsão para conseguir, mediante a fixação de objetivos e por meio de uma ação racional, a melhor utilização dos recursos de uma sociedade, em uma época determinada.*” Quando o planejamento é energético ou urbano surgem as características específicas sem alterar o conceito original [66].

Os planos relacionados com a organização das cidades são, em geral, bastante precisos e detalhados em tudo que se refere ao uso e ocupação do solo, mas vagos e mesmo omissos quando o assunto é o abastecimento de água, suprimento de energia ou poluição. A análise das características, potencialidades e recursos naturais de um município é o ponto de partida para o estabelecimento de seu Plano Diretor. Esses planos, para serem aplicados, precisam de regulamentação própria, o que é feito através de leis e decretos nos âmbitos municipal, estadual e federal.

A questão energética envolve planos mais abrangentes, fazendo sempre parte de um planejamento de grande escala, cujos objetivos são definidos a longo, médio e curto prazos, e dependem de elevados investimentos e de políticas internas e externas ao país. O planejamento energético define as diretrizes para o suprimento da demanda por energia. O planejamento urbano é um plano local, que pode ter influência no planejamento energético.

10.1 Planejamento energético

O planejamento energético, ou, mais especificamente, planejamento integrado de recursos energéticos, é o processo no qual as opções de oferta e as possibilidades de demanda são avaliadas, planejadas e implementadas, e envolve o setor energético e a sociedade como um todo, afetando particularmente o consumidor de energia.

Os gastos nesta área, dentro dos moldes atuais de produção e consumo de energia, são muito elevados e demandam investimentos de longo prazo. O Balanço Energético Nacional mostra que o consumo total de energia primária e secundária envolve cerca de 40% de energia proveniente de fontes não renováveis, como petróleo, gás natural, carvão, carvão metalúrgico e urânio, e 60% de fontes renováveis, distribuídos entre energia hidráulica, lenha, subprodutos da cana-de-açúcar e outras fontes. O gasto com energia proveniente de fontes renováveis, em termos mundiais, é bem menor que os 60% do caso brasileiro. Entre os países mais ricos, da América do Norte e Europa, os gastos com energia são muito elevados e servem de mau exemplo para as nações mais pobres.

As mudanças ocorridas após a crise do petróleo e as ameaças de racionamento de energia elétrica no Brasil, na década de 90, por atrasos no cronograma de obras de hidrelétricas da ELETROBRÁS [67], fizeram com que se passasse a pensar cada vez mais em formas de conservar energia.

Uma das soluções encontradas é pensar em formas alternativas combinadas de energia, sempre considerando como uma parte integrante deste processo a conservação de energia.

10.2 Planejamento urbano

O zoneamento urbano, determinado no plano diretor de cada município, deve ser o resultado de uma análise detalhada de todos os aspectos físicos, sociais e econômicos relevantes para, a partir desses dados, definir ações que devem ser contempladas na legislação

do município.

Atualmente, merecem especial atenção, com relação ao planejamento energético, os suprimentos de água e energia, dois dos principais problemas enfrentados pelas cidades contemporâneas. Tais problemas são considerados críticos no Estado de São Paulo, pois mesmo com a escassez de recursos hídricos para o abastecimento público estes têm sido utilizados para a geração de energia. Neste trabalho a ênfase relaciona-se com o problema da energia.

Embora as transformações sofridas pelas cidades após a Revolução Industrial tenham sido imensas, pode-se prever que as próximas poderão ser ainda mais profundas e radicais. O planejamento urbano terá por isso de adaptar-se aos novos conceitos de cidade, surgidos de mudanças nas características das populações em função de fatores como o aumento da expectativa de vida e a diminuição das taxas de natalidade. Devido a esse tipo de mudanças o planejamento atual das cidades também deve ser revisto, levando em consideração as prováveis modificações na forma de morar, nas formas de trabalho e na urbanização regional.

10.3 Zoneamento urbano de Barão Geraldo

O Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo - PLGU/BG, [68] define, em acordo com o Plano Diretor de Campinas, orientações estratégicas, diretrizes e normas para as três Áreas de Planejamento¹ em que o distrito de Barão Geraldo foi dividido:

- Área de Planejamento 2 (AP2) - Região do Vale das Garças;
- Área de Planejamento 4 (AP4) - Região de Barão Geraldo;
- Área de Planejamento 6 (AP6) - Eixo da D.Pedro I entre o CEASA e o bairro Santa Cândida

¹São partes de um zoneamento urbano que seguem as mesmas diretrizes quanto ao uso do solo.

O plano diretor do município [69] define como pode ser usado o solo, através do zoneamento das áreas. As áreas podem ser de quatro tipos principais, residencial, comercial, mista e industrial, porém pode também ocorrer uma combinação de usos de menor importância. A área de estudo é constituída em sua maior parte por zona residencial, tendo uma parte destinada ao comércio local. Conforme o PLGU/BG, em seu artigo 28, parágrafo 1º, não é permitida a instalação de indústria poluidora em Barão Geraldo, de acordo com a Lei 4930/79. Em Barão Geraldo tem-se o seguinte zoneamento das áreas:

- Zona 3 - Zona Residencial destinada predominantemente aos usos residenciais unifamiliares e multifamiliares horizontais. É também permitido neste zoneamento indústria domiciliar associada à residência e uso institucional, comércio e serviços de pequeno porte.
- Zona 4 - Zona Residencial, predomina o uso residencial e tem como característica diferente da anterior o fato de ser de baixa densidade.
- Zona 11 - Zona Central, destinada ao uso misto e usos habitacional vertical, comercial e de serviços de pequeno e médio porte.
- Zona 14 - Zona Industrial, destinada ao uso industrial não incômodo de pequeno e médio porte, aos usos comerciais, de serviços de pequeno porte e ao uso institucional.
- Zona 18 - Zona Especial é destinada à proteção de áreas e/ou espaços de interesse ambiental, preservação de patrimônio arquitetônico de interesse histórico e cultural, áreas institucionais, área do Parque II do CIATEC, ² e grandes glebas não parceladas dentro do perímetro urbano.

10.4 O sistema viário e de transportes

A forma como se dá a urbanização sofre muitas transformações ao longo da história. O sistema viário e os tipos de transporte acompanham essas transformações. Inicialmente, os

²Companhia de Desenvolvimento do Pólo de Alta Tecnologia de Campinas.

meios de transportes eram limitados, e o homem contava apenas com suas próprias pernas. Os animais eram utilizados para a carga ou tração. O transporte usando animais não permitia que a carga transportada fosse grande, o que foi possível somente após a invenção da roda. Era também bastante usado o transporte pelos rios. Na urbanização pré-industrial não havia divisões para o uso do solo, como adota o conceito moderno de planejamento. Os suprimentos básicos estavam todos próximos ao centro urbano, assim como as residências. O gasto com energia não renovável era zero. Esta época pode ser chamada como a *era do pedestre*, pois o homem deslocava-se por onde necessitava sem grandes dificuldades.

Atualmente tem-se a *era do automóvel* [56], que permite a descentralização e o afastamento maior entre o centro da cidade e os bairros residenciais. Com os deslocamentos da população, as ramificações para o transporte tornaram-se cada vez maiores e mais complexas. A infra-estrutura deve chegar até lugares distantes, percorrendo vazios entre o centro urbano e eles. Além dos gastos com a infra-estrutura temos também um maior consumo de energia, principalmente aquela proveniente de fontes não renováveis, uma vez que nos meios de transporte em geral são empregados derivados do petróleo como combustível. O planejamento urbano e o sistema de transportes são alguns dos principais desafios, neste momento, para os governos municipais.

O Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo (PLGU-BG), em seu artigo 7º, trata das diretrizes gerais do sistema viário e de transportes. A estrutura do sistema viário de Barão Geraldo pretende:

- hierarquizar as vias e orientar o tráfego, visando separar o fluxo local e o de passagem;
- valorizar o pedestre e os ciclistas visando uma maior segurança;
- estabelecer áreas de estacionamento público e melhoria das existentes;
- preservar os leitos férreos desativados e respectivas faixas de preservação para transporte de passageiros local, turístico ou lazer;
- implantar vias marginais às rodovias Gal. Milton Tavares de Lima, D.Pedro I e Adhemar Pereira de Barros;

O distrito de Barão Geraldo é cortado por vias importantes do ponto de vista de tráfego: a Estrada da Rhodia e a rodovia Milton Tavares de Lima, estradas que levam ao município de Paulínia, onde se concentra um dos maiores parques industriais do país, com a maior refinaria de petróleo do território nacional, e indústrias químicas como Rhodia, ICI e concessionárias de gás e combustível.

Este plano serve portanto para disciplinar o que já existe de fato, para amenizar o caos que se está configurando a cada dia que passa.

10.5 Considerações finais

Os blecautes ocorridos recentemente no Rio de Janeiro e em São Paulo, reforçam a proposta deste trabalho, que é utilizar os setores que envolvem a construção civil, a fabricação dos materiais, o projeto bioclimatizado e o planejamento urbano, com relação a seu potencial para conservação de energia.

Um bom planejamento procura detectar os problemas, cria as perspectivas de solução e supre as falhas já existentes. Com relação à questão energética, um plano municipal pode adotar políticas de incentivo ao aproveitamento dos recursos naturais através de uma compensação na redução dos impostos. Um plano regional pode facilitar melhorias de infraestrutura para os municípios que adotem tal política. Todos os segmentos devem fazer parte de uma política mais ampla que é o planejamento energético em nível nacional.

Este capítulo apresentou em linhas gerais o planejamento urbano de Barão Geraldo. Esses dados servem como subsídio para o desenvolvimento desta terceira parte, na qual se estuda a contribuição do planejamento urbano para a conservação de energia, através do melhor aproveitamento dos recursos naturais.

Capítulo 11

Planejando o acesso aos recursos naturais

A utilização dos espaços nas cidades apresentava já na época dos gregos e romanos, a preocupação com o acesso de todos aos recursos naturais, sobretudo a insolação e a ventilação. Uma residência aquecida pelo sol era chamada de *Heliocaminus* e contou até com uma lei para assegurar-lhe este direito. A lei dizia que “*se um objeto é localizado em forma tal que tire os raios solares de um Heliocaminus, será afirmado que este objeto cria uma sombra num lugar onde a radiação solar é absolutamente necessária. Isto viola o direito do Heliocaminus a ter sol.*” Esta lei fez parte do Código Justiniano, do século VI d.C. [40]. A preocupação com o planejamento do espaço urbano pode ainda ser exemplificada através da organização de cerca de 1.200 habitantes em estrutura semicircular com base na posição do sol, em Pueblo Bonito, Novo México (USA), entre 919 e 1180.

O processo do planejamento urbano deve avaliar as condições climáticas, visando obter um clima urbano ideal [70]. Esse clima urbano ideal destaca dois aspectos principais a serem considerados, a poluição do ar¹ e o conforto térmico.

O estudo pormenorizado de todos os aspectos físicos de um município, tais como o clima, apresentado na segunda parte deste trabalho, volta a ser de fundamental importância,

¹Principalmente quando se trata de regiões altamente industrializadas.

nesta terceira parte, para a melhor utilização dos recursos naturais.

11.1 O traçado das vias de circulação

O planejamento das vias de circulação é o ponto de partida para se obter a melhor posição das edificações em relação ao sol e à ventilação. O traçado das vias de circulação deve também ser otimizado, de forma que os deslocamentos possam ser feitos com menor percurso possível o que economiza combustível e portanto conserva energia. No caso de loteamentos em áreas planas, por exemplo, é possível estabelecer o sentido leste-oeste para as vias já durante a fase de planejamento, sem que isso implique em aumento de custos [71]. As vias neste sentido permitem fachadas voltadas para o norte, e devido aos recuos exigidos por lei fica fácil captar a radiação solar. Quando o terreno apresenta uma declividade acentuada a própria topografia exige que as edificações ocorram em patamares facilitando o acesso ao sol.

A figura 11.1 mostra um exemplo de uma subdivisão de uma gleba que permitiu melhorar o acesso solar. Não é apresentada a divisão interna dos lotes, o que certamente dificulta a visualização e a análise mais pormenorizada destes benefícios, mas a importância maior deste exemplo é mostrar que existem alternativas para o planejamento das vias de circulação[71]. A distribuição espacial das vias de circulação pode melhorar também a captação dos ventos dominantes.

Além do traçado das vias precisa-se também escolher a melhor divisão interna dos lotes nas quadras. A divisão mais comumente encontrada é a que permite o maior aproveitamento do espaço, visando obter o maior número possível de lotes. Caso o loteador considerado tenha alguma preocupação maior com as questões ambientais e a qualidade de vida de seus usuários poderá abrir mão do aproveitamento máximo da área. Assim sendo, alternativas diferentes podem ser propostas para a subdivisão de uma quadra.

Os terrenos tradicionalmente apresentam testadas muito pequenas e uma profundidade

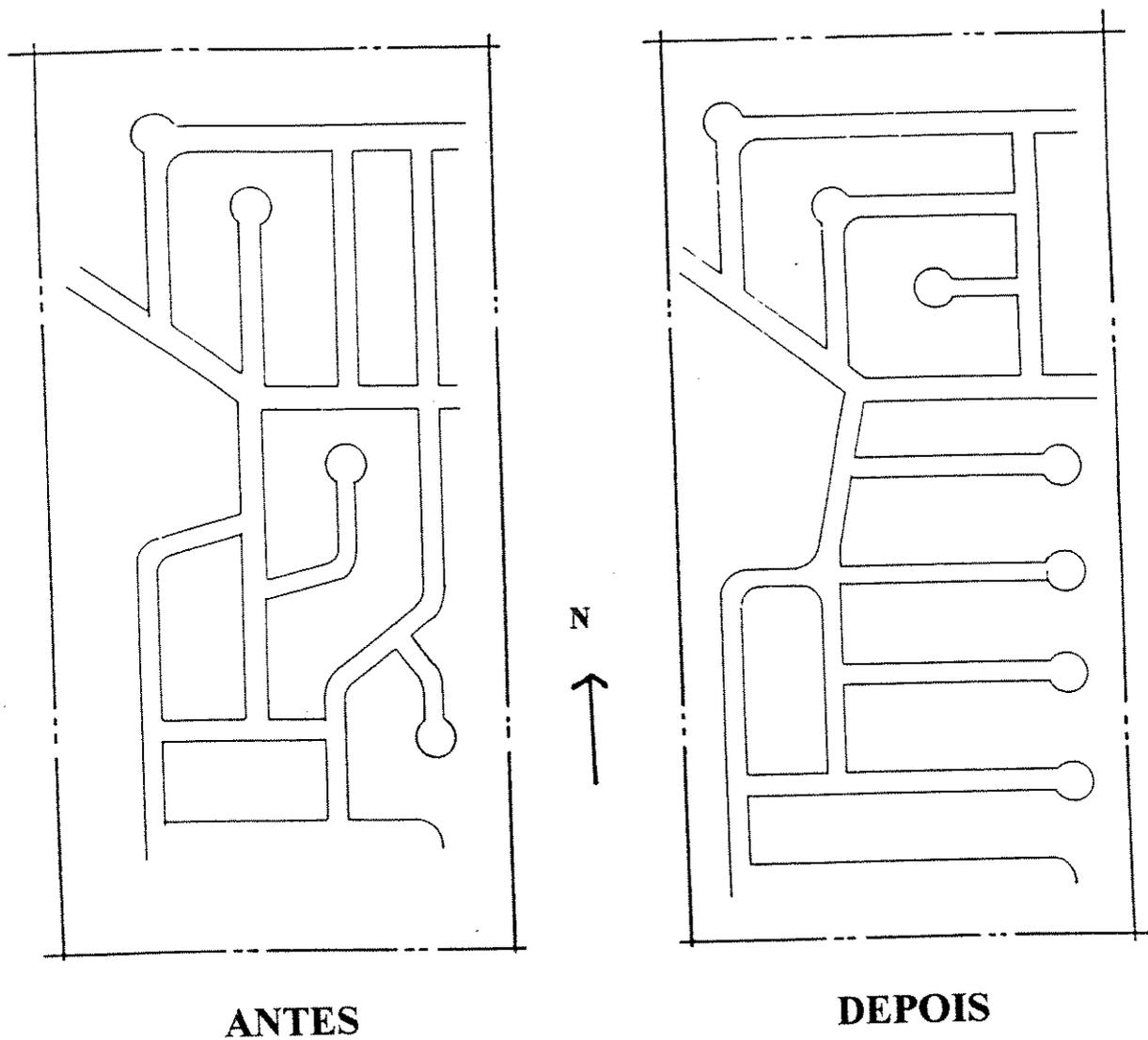


Figura 11.1: Correção de subdivisão de lotes. Fonte: California Energy Commission [71]

grande, o que obriga o projetista a lançar mão de recursos como a utilização máxima da largura do lote para uma melhor distribuição dos compartimentos da edificação. Este tipo de solução impossibilita a circulação do ar na fachada externa e o acesso à insolação em grande parte da edificação.

A presença de corpos d'água e vegetação deve ser considerada, pois estudos mostram a redução de temperatura nas proximidades destas áreas [49], [72], [73], [74]. Quando a vegetação não existe é possível planejá-la de forma que possa atender às necessidades tanto para captar a ventilação e a insolação quando for preciso, como para regular a insolação direta.

Existem muitas espécies de barreiras que podem obstruir o acesso à energia solar. Dentre elas podemos citar a vegetação e a construção de muros, cercas e outros edifícios. Todas estas variáveis devem ser consideradas no desenvolvimento do projeto.

Além da insolação deve-se lembrar também da ventilação natural, procurando a melhor forma de captá-la. Quando as ruas são paralelas à direção do vento dominante formam-se canais livres para que o fluxo de ar aconteça livremente. Naturalmente, quanto mais amplas forem as vias, melhor será a circulação do vento, o que é recomendado em locais com clima quente e úmido, como a área de estudo.

11.1.1 Como facilitar o acesso à ventilação

A ventilação incidente nas edificações pode sofrer alterações devido às características do entorno. Estas podem ser características naturais, como topografia, presença de vegetação e lagos, e artificiais, como outras edificações, muros, etc.

A avaliação da ação de um bloco de edifícios como barreira para o vento, depende do conhecimento de suas medidas e do ângulo dos prédios em relação ao vento. A área de estudo apresenta uma altura máxima permitida para edificações de apenas dois pavimentos e, em casos de declividade acentuada, um terceiro pavimento. Poucos prédios, edificadas

anteriormente à lei e localizados no centro do Distrito de Barão Geraldo, apresentam alturas superiores ao permitido.

A implantação dos edifícios no terreno pode seguir várias orientações, estes podem ser dispostos paralelamente ou não. Quando as posições dos edifícios são deslocadas obtém-se melhor acesso à ventilação para todos.

O acesso à ventilação deve ser tratado como um direito de todos, principalmente num clima tropical úmido como o da área de estudo. A ventilação é em alguns casos mais importante que a própria insolação, uma vez que através dela tem-se a higienização dos ambientes, com reflexo direto na saúde dos usuários e melhor conservação das edificações.

11.2 Considerações finais

O planejamento urbano é definido a partir de princípios previamente determinados para atingir todas as suas metas nas diversas áreas sociais, econômicas, urbana e de meio ambiente. O destaque, no caso em estudo, deve ser dado à redução da poluição do ar, previsão de espaços livres, criação de áreas verdes, captação da energia solar e dos ventos dominantes, uso da iluminação natural. Este estudo sobre o aproveitamento dos recursos naturais visa fornecer subsídios para prefeituras municipais em dois aspectos fundamentais: a melhor distribuição espacial das zonas que compõem o município, determinação das vias de circulação, a orientação da melhor forma e distribuição de lotes nos loteamentos e os princípios que devem ser implementados nos próximos planos.

Como foi visto neste capítulo, os fatores climáticos não podem ser desprezados quando se pensa em planejamento urbano com conservação de energia. O assunto estudado aqui será aplicado nos Estudos de Caso do próximo capítulo.

Capítulo 12

Estudo de Caso

Os estudos apresentados até agora foram aplicados no Distrito de Barão Geraldo. A área escolhida para estudo é complexa, pois encontra-se na região conurbada de Campinas, próxima a um dos maiores pólos industriais do país, o município de Paulínia. Portanto o planejamento urbano deve considerar estas questões para proteger os moradores, podendo para tanto fazer uso dos recursos naturais ou artificiais existentes no sentido de proporcionar as condições mínimas de conforto e qualidade de vida.

12.1 Fatores ambientais que influem no planejamento urbano e energético

A variação do clima urbano pode acontecer numa distância muito pequena, de aproximadamente uns 150m [70], é importante identificar as causas que permitem este tipo de mudança no clima [49]. Já foi comentado anteriormente, quando foi feita a caracterização climática de Campinas, que não existe um clima único mas vários micro-climas.

Segundo Santamouris [75] a temperatura do ar é mais elevada em áreas urbanas densamente construídas do que em zonas rurais. O fenômeno conhecido como *ilha de calor* é causado por vários fatores tais como tipo de pavimentação utilizada, localização geográfica,

presença ou ausência de vegetação, densidade demográfica, barreiras naturais ou artificiais que impedem o fluxo natural do ar e zonas limítrofes do centro urbano.

Através de uma análise visual dos mapas e de visitas para verificação *in loco*, foram estudados três bairros, com o objetivo de mostrar como eles se encontram em relação ao aproveitamento dos recursos que interferem no conforto dos usuários das edificações. A avaliação adotou Ruim, Regular, Boa e Excelente como resultado de uma análise subjetiva feita pela autora baseada nos critérios descritos abaixo; a palavra chave no final de cada uma será usada nas tabelas. Segundo os critérios estabelecidos: Ruim, significa que não está de acordo (nulo); Excelente, significa que está totalmente de acordo(máximo); Regular, parte do critério é contemplado e, Boa, significa não estar totalmente de acordo.

- 1) Compatibilidade entre as vias de circulação e possibilidade de captação dos ventos dominantes (Ventos).
- 2) Compatibilidade entre a distribuição dos volumes edificáveis e a possibilidade de captação da insolação (Insolação).
- 3) Presença e tipo de vegetação no interior dos lotes e nas ruas, passeios públicos e parques, para obter o sombreamento no verão (Vegetação).
- 4) Presença de corpos d'água (ribeirões e lagos) (Corpo d'água).
- 5) Tipo de pavimentação das vias de circulação e porcentagem de áreas permeáveis (Pavimentação).
- 6) Otimização dos sistemas de circulação para que os meios de transportes público percorram menor itinerário (Vias Circulação).
- 7) Características dos lotes, testada e orientação solar (Lotes).
- 8) Barreiras físicas, naturais ou artificiais (Barreiras).
- 9) Detalhes das edificações em relação uso de materiais, tipo de aberturas e cores (Características das edificações).

- 10) Topografia, situação em relação a cota de nível (Topografia);
- 11) Áreas de risco (inundações, acidentes, contaminação, mortes) (Riscos);

Cumprе ressaltar que a análise feita não considera as questões de segurança embora estas sejam causa de alguns abusos nas construções em geral, como a elevação dos muros acima do permitido e aconselhado legalmente, formando barreiras para a circulação do ar, além da diminuição das aberturas (janelas e portas), tão úteis para ventilar e insolar sem necessidade de se usarem recursos mecânicos.

12.2 Resultados obtidos

Foram analisados três bairros, com características diferentes: Cidade Universitária I, Cidade Universitária II e Jardim Independência. A localização dos mesmos no interior do Distrito pode ser vista na figura 12.1.

A tabela 12.1 mostra a avaliação qualitativa do bairro Cidade Universitária I, escolhido por encontrar-se entre o centro do Distrito de Barão Geraldo e a Universidade Estadual de Campinas. A área apresenta pouca declividade; foi por muito tempo área estritamente residencial, porém atualmente já conta com comércio de pequeno e médio porte. Seus habitantes são da classe média-alta e apresenta baixa densidade populacional.

A tabela 12.2 mostra a avaliação qualitativa do bairro Cidade Universitária II. Este bairro apresenta maior declividade que o anterior, é estritamente residencial, e é mais preservado por seus habitantes com relação à instalação de comércio. Seus habitantes são da classe média-alta e o bairro tem baixa densidade populacional.

A tabela 12.3 mostra a avaliação do bairro Jardim Independência. Este bairro encontra-se limitado pela estrada SP 332¹ e a Avenida Santa Isabel, ambas conduzindo ao município

¹Rodovia Milton Tavares de Lima.

BARÃO GERALDO

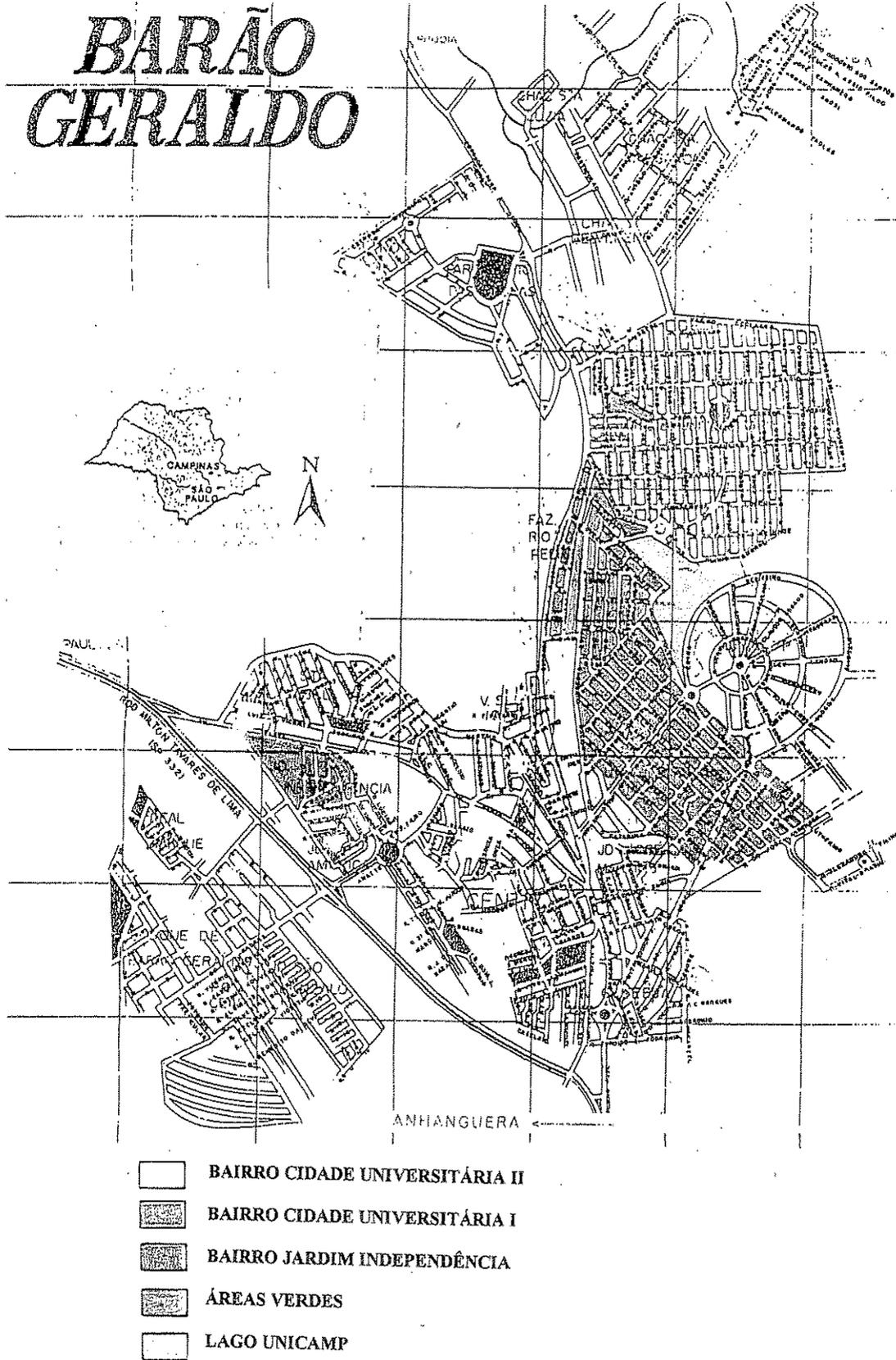


Figura 12.1: Distrito de Barão Geraldo com destaque dos bairros analisados

Tabela 12.1: Análise do bairro Cidade Universitária I, do Distrito de Barão Geraldo, segundo o aproveitamento dos recursos naturais. Fonte: Elaboração própria.

Critérios	Observações	Avaliação
1. Ventos	Presentes na maior parte do ano; vias secundária corretas, as principais não.	Excelente
2. Insolação	Recuos, testadas dos lotes e alturas.	Boa
3. Vegetação	Interna (lote) e externa.	Boa
4. Água	Córrego pequeno e poluído.	Ruim
5. Pavimentação	Asfalto nas ruas	Ruim
6. Vias de circulação	Otimizadas apenas circula principais avenidas.	Boa
7. Lotes	Testadas de 15 m, boa insolação.	Boa
8. Barreiras	Não existem na proximidade.	Boa
9. Detalhes das edificações	Uso predominante de material cerâmico, aberturas pequenas, cores variadas.	Boa
10. Topografia	Pequena declividade, cerca de 5 m	Boa
11. Áreas de risco	Inundações e poluição do ar por indústrias e queimadas.	Ruim

Tabela 12.2: Análise do bairro Cidade Universitária II, do Distrito de Barão Geraldo, segundo os recursos naturais. Fonte: Elaboração própria.

Critérios	Observações	Avaliação
1. Ventos	Vias incompatíveis	Regular
2. Insolação	Recuos, testadas dos lotes e altura das edificações.	Boa
3. Vegetação	Interna(lote) e externas.	Boa
4. Água	Lagoa e córrego pequeno.	Boa
5. Pavimentação	Asfalto nas ruas	Ruim
6. Vias de Circulação	Otimizadas apenas nas principais avenidas.	Boa
7. Lotes	Testadas de 10 m a 15 m, boa insolação.	Boa
8. Barreiras	Não existem nas proximidades.	Boa
9. Detalhes das edificações	Uso predominante de material cerâmico, aberturas pequenas e cores variadas.	Boa
10. Topografia	Ocupa parte mais alta com declividade.	Boa
11. Áreas de risco	Poluição do ar.	Ruim

de Paulínia. Os habitantes são operários de classe média-baixa, devido ao tamanho dos lotes e às características dos moradores, apresenta uma maior densidade populacional.

12.3 Análise dos resultados e considerações finais

O primeiro bairro analisado, Cidade Universitária I, conta com vias secundárias de circulação no sentido da melhor captação dos ventos dominantes na maior parte do ano, porém as avenidas mais largas encontram-se praticamente perpendiculares a esta melhor orientação. Não existem restrições para a captação da insolação, pois os lotes apresentam testadas de 15 m. Também é comum o uso de dois lotes contíguos, dobrando assim a testada para 30 m. As residências mais antigas são térreas e ocupam lotes maiores. Verifica-se também a ocorrência de construções térreas com piscina, em lotes menores, fazendo com que não seja respeitada a área mínima para drenagem natural. As mais recentes foram construídas com dois pavimentos, gerando mais áreas livres, que podem ser usadas para vegetação. Ao percorrer o bairro observam-se grandes áreas com vegetação nas avenidas, além de um parque ecológico e um lago que fica no limite com o outro bairro analisado. Sua topografia apresenta pouca declividade, cerca de 5 m na extensão toda. Os ventos dominantes são facilmente captados, pois conta, nesta direção, com o descampado da fazenda Santa Genebra, que faz limite com o bairro. As cores predominantes no bairro são cerâmica, proveniente do tijolo à vista, e paredes rebocadas pintadas de cores variadas, com predominância maior de cores claras. Observa-se o uso de aberturas com aproveitamento deficiente, principalmente para a ventilação. A pavimentação é em asfalto, o que provoca uma maior impermeabilização do solo, e maior aquecimento do bairro. As inundações são freqüentes nos períodos de chuvas. O transporte público é feito pelas avenidas principais, é precário e exige o uso constante do automóvel particular. A avaliação permite considerá-lo um bairro com restrições para o aproveitamento dos recursos naturais, por encontrar-se praticamente todo construído.

O segundo bairro apresenta maior declividade que o primeiro, cerca de 8 m. Embora suas vias de circulação não se apresentem com a orientação mais adequada para a captação dos ventos dominantes, grande parte do bairro é bem ventilada. Este fato pode ser atribuído

Tabela 12.3: Análise do bairro Jardim Independência, do Distrito de Barão Geraldo, segundo os recursos naturais. Fonte: Elaboração própria.

Crítérios	Observações	Avaliação
1. Ventos	Vias incompatíveis.	Regular
2. Insolação	Recuos, testadas dos lotes e alturas.	Boa
3. Vegetação	Interna (lote), externa escassas.	Ruim
4. Água	Não existe nas proximidades.	Ruim
5. Pavimentação	Asfalto nas ruas.	Ruim
6. Vias de Circulação	Otimizadas.	Boa
7. Lotes	Testadas de 10 m, áreas menores.	Ruim
8. Barreiras	Rodovia SP332 e Reserva Florestal.	Ruim/Boa
9. Detalhes das edificações	Uso predominante de material cerâmico, cores variadas, aberturas pequenas	Boa
10. Topografia	Ocupa parte alta.	Boa
11. Áreas de risco	Poluição do ar, acidentes.	Ruim

à sua declividade e às regiões limítrofes, com a Fazenda Eudóxia em um de seus lados e o lago da Unicamp, no outro, que permitem o livre fluxo dos ventos dominantes. A insolação é problemática nas áreas onde os lotes foram subdivididos e apresentam testada e área menores, encontrando-se edificações escuras, sem aproveitamento da iluminação natural. A presença da vegetação neste bairro ocorre com maior intensidade na avenida principal e vias secundárias. Quanto às cores, encontram-se muitas construções feitas em tijolo aparente, e as demais rebocadas e pintadas em cores variadas. Mais uma vez, é importante salientar o aproveitamento deficiente das aberturas para a ventilação e iluminação naturais. A pavimentação também é em asfalto como em praticamente todo o Distrito, (com exceção de bairros Guará, Jardim Independência e Bosque Barão Geraldo). O sistema de transporte público é precário e só percorre a via principal. Este bairro encontra-se em situação mais privilegiada em relação aos outros dois quanto aos riscos de inundações e poluição do ar. Pode-se considerar o bairro com condições para aproveitamento dos recursos naturais para obter o conforto ambiental nas áreas que ainda estão livres.

O terceiro bairro, Jardim Independência, é o que apresenta maior probabilidade de riscos ambientais decorrentes de acidentes, devido ao fato de estar mais próximo de Paulínia e ter como limite a rodovia SP332, considerada de alto risco pelo número de acidentes. A captação dos ventos só é possível por que o bairro está numa das cotas mais altas do Distrito de Barão Geraldo. Conta com pouca área verde, embora seja o bairro que fica mais próximo da Reserva Florestal da Fazenda Santa Genebra, tombada pelo governo do Estado de São Paulo. O que se verifica é que toda a vegetação da Reserva Florestal não atinge o bairro, no sentido de causar alguma melhoria do conforto ambiental. A insolação é prejudicada pelo tamanho da testada dos lotes e de sua área. Os materiais são praticamente os mesmos, vêem-se muitas construções de padrão baixo, inacabadas, sem pintura, com aberturas muito pequenas, que não servem para ventilar. É comum o uso de revestimento cerâmico nas edificações, imitando o tijolo à vista, proporcionando com isto aumento da carga térmica. Além disto observou-se também que grande parte do interior dos lotes é totalmente pavimentada com concreto ou outro piso qualquer, dificultando a infiltração das águas das chuvas. Este bairro pode ser considerado com maiores problemas quanto ao uso dos recursos naturais para a obtenção do conforto ambiental, devido ao tipo de construção, sem projeto, cuja execução deixa a desejar. O resultado são pessoas muito desconfortáveis

nos dias muito quentes; o consumo de energia só não é maior porque os moradores não dispõem de recursos para compra de aparelhos que melhorem o conforto.

Os bairros analisados estão praticamente todos construídos, por isso, o aproveitamento dos recursos naturais visando o conforto ambiental e a economia de energia encontram-se parcialmente comprometidos sendo que esta situação já não podem ser alterada por meios legais. O que resta é usar os dados obtidos para implementar novas medidas para os novos loteamentos.

As propostas para um planejamento futuro de moradias devem considerar as características locais quanto ao tipo de população e principalmente as condições climáticas. É preciso dar respostas para perguntas como: qual é a melhor forma para serem desenvolvidos os novos loteamentos e as zonas de expansão urbana ?

Os loteamentos e condomínios fechados são aprovados pela prefeitura municipal dentro da área urbana; na área rural, a competência é do INCRA. Os condomínios fechados têm sido a principal solução encontrada para um problema que atinge diretamente a população - a falta de segurança. Os loteamentos novos são localizados cada vez mais distantes da área central, o que exige altos investimentos em infra-estrutura e decisões sobre como deve se desenvolver a malha urbana, em relação ao transporte individual e coletivo.

O Plano Diretor do município de Campinas, através do Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo, deve prever formas de controle para que o crescimento não cause desperdícios de energia, atendendo as necessidades básicas do moradores e usuários dos serviços.

As diretrizes para o planejamento urbano e energético constam do capítulo seguinte, conclusão da parte III.

Capítulo 13

Conclusão da Parte III

Nesta Parte III foi possível verificar que a arquitetura, através do planejamento urbano, pode contribuir com o planejamento integrado de recursos energéticos. A pergunta é: De que forma? A resposta é que o planejamento deve começar pelo entendimento das características climáticas, do aproveitamento dos recursos naturais para efetuar o traçado das vias de circulação e da melhor distribuição espacial dos lotes.

Apresentam-se aqui, resumidamente, as linhas gerais para a elaboração de projetos de novos loteamentos e áreas de expansão urbana. Tais diretrizes devem trazer recomendações básicas relacionadas com os seguintes assuntos: clima, redução da poluição do ar, sistema viário, melhor aproveitamento da topografia para drenagem natural, acesso a insolação e ventilação e tipo de lotes (testada e área).

Algumas recomendações para que o planejamento urbano atinja a conservação de energia, na área de estudo, são enumeradas a seguir:

- 1) Entendimento das características do clima quente-úmido, da distribuição dos valores da temperatura, determinação das ilhas de calor, da velocidade e direção dos ventos e da pluviosidade.
- 2) Criação de barreiras, tipo cinturão verde, para proteger da poluição do ar.

- 3) Para áreas com declividade, melhor uso da topografia, aproveitando as curvas de nível para o traçado das vias de circulação, drenagem natural e acesso à insolação e ventilação naturais.
- 4) Estudo das melhores medidas para testada e área dos lotes, de forma a captar a energia solar e a ventilação e iluminação naturais.
- 5) Estudo detalhado para a definição mais adequada da vegetação, de forma que esta não impeça a captação do sol no inverno e promova o sombreamento, quando necessário, no verão.
- 6) Otimização do sistema viário de forma a atender o maior número de usuários no menor percurso possível.

Espera-se que este trabalho, ao propor uma metodologia que considera os três segmentos envolvidos no desenvolvimento de um projeto arquitetônico bioclimatizado com vistas à conservação de energia, sirva de incentivo para outros que aprimorem esta análise, tornando-a ainda mais abrangente.

Capítulo 14

Conclusão e recomendações

A arquitetura pode contribuir com a conservação de energia e a preservação do meio ambiente nos diversos segmentos que compõem uma edificação, desde a fabricação dos materiais, apresentada na primeira parte, a definição do projeto arquitetônico, tratado na segunda parte, e o planejamento urbano, através da determinação do uso mais racional dos recursos naturais.

A quantidade de energia necessária para a fabricação dos materiais está relacionada com o custo do produto e, portanto custo final de uma edificação. Este pode ser um argumento forte para se obter uma conscientização de todos os envolvidos nas construções em geral.

Os mecanismos de controle do consumo dos diversos tipos de energia, na área da construção civil, seja ela de fonte renovável ou não renovável, devem ser incorporados aos planos do governo através de incentivos aos projetos que contemplem a conservação de energia.

Como o assunto envolve diversos setores privados e instâncias de governo municipal, estadual e federal, deve primeiramente ser amplamente discutido por todos, para possibilitar a definição e políticas que devem nortear as ações a serem adotadas. Aproximar mais os

diversos órgãos envolvidos, a empresa prestadora dos serviços de energia e Prefeitura Municipal para que, em parceria, possam estabelecer as normas a serem seguidas, sempre de acordo com o planejamento energético nos âmbitos estadual e federal.

Verificou-se, durante este estudo, que decisões sobre a escolha dos materiais de construção, o projeto arquitetônico e o planejamento urbano influem diretamente no consumo de energia. Portanto, como contribuição deste trabalho, destaca-se medidas que devem ser consideradas pela arquitetura para o planejamento energético global. Os três principais segmentos envolvidos nas propostas apresentadas são os cursos de arquitetura, as prefeituras municipais e as companhias de energia.

Os cursos de arquitetura, através da disciplina que trata de conforto ambiental, devem priorizar em seus objetivos específicos, a relação direta deste assunto com a conservação de energia. Com relação às prefeituras municipais e às companhias de energia, estas devem criar incentivos para projetos que contemplem a conservação de energia. Já está comprovado que é mais econômico promover o incentivo à redução do consumo de energia do que o seu aumento, pois as obras necessárias ao suprimento envolvem gastos elevados.

Concluindo, as propostas e recomendações são:

- 1) Maior conscientização dos alunos dos cursos de arquitetura para a questão do consumo de energia envolvido na definição dos projetos arquitetônicos, escolha dos materiais e planejamento urbano.
- 2) Prêmio para trabalhos de conclusão do curso de arquitetura que tratem do assunto.
- 3) Incentivo para a criação de grupos de estudos e pesquisas sobre o conforto ambiental e o consumo de energia, através de bolsas de estudos.
- 4) Criação de legislação específica sobre o assunto no âmbito municipal.
- 5) Treinamento de pessoas especializadas para a avaliação e aprovação de projetos arquitetônicos que visem a conservação de energia, nos diversos órgãos competentes.

- 6) Incentivos fiscais através da redução de impostos prediais pela Prefeitura Municipal, para projetos que garantam insolação e ventilação naturais.
- 7) Maior fiscalização pela Prefeitura no sentido de verificar se o projeto aprovado foi executado, principalmente no que diz respeito às aberturas para insolação, iluminação e ventilação naturais.
- 8) Maior rigor na aprovação dos projetos de loteamentos e condomínios fechados quanto ao aproveitamento dos recursos naturais.
- 9) Incentivos fiscais através da redução de tarifas pelas prestadoras de serviços de energia para projetos arquitetônicos que apresentem soluções para economizar energia.

Anexo A

Projetos arquitetônicos selecionados

Apresentamos aqui as plantas baixas das edificações utilizadas neste trabalho. Ao final encontram-se os esquemas utilizados para a inserção dos dados usados pelo programa Arqutrop, para as quatro edificações selecionadas para os estudos de caso realizados na parte II. As características principais dos projetos arquitetônicos são as seguintes:

- **Edificação 01**

Compreende 77m², é totalmente térrea, tem forma regular, projeto otimizado ¹, estrutura em concreto armado, paredes em meio tijolo cerâmico maciço, aparente dos dois lados, pintado de branco internamente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica e apresenta laje de concreto armado sobre os dormitórios, cozinha e área de serviço. Os detalhes da edificação mostram a preocupação com o projeto bioclimatizado, ela encontra-se num terreno amplo de esquina, sem vegetação, com acesso total à captação da insolação e ventilação naturais. Os proprietários solicitaram o acréscimo de uma varanda na volta de toda a casa, para fazer parte da segunda etapa de construção, cuja dimensão deveria impedir a incidência da radiação solar sobre as paredes. A varanda só não foi construída na face sul porque a radiação solar incidiria por um período muito curto durante o ano. A edificação apresenta na parte central um espaço com pé direito duplo devido ao mezzanino, este ocupa a parte mais alta do

¹Projeto otimizado deve ser entendido aqui como um projeto compacto sem muitos recortes, o contrário é não otimizado, isto pode ser melhor entendido ao consultar as plantas baixas

telhado, e faz com que ocorra o efeito chaminé, através da circulação ascendente do ar que sai por aberturas na parte lateral do sótão.

- **Edificação 02**

Compreende 83m², cerca de um terço da área de construção é ocupada por um mezzanino aberto, tem forma regular, projeto não compacto, estrutura em concreto armado, paredes em meio tijolo cerâmico maciço rebocado internamente e detalhes aparente externamente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica, não foi colocado o forro de madeira. A obra não foi concluída de acordo com o projeto, ficou faltando o reboco de algumas paredes e o pergolado previsto para amenizar a insolação na face norte. O teto central foi elevado para a colocação de um mezzanino, este permite realizar o efeito chaminé. A construção, com área muito pequena, encontra-se livre no terreno cuja testada é de 15m, portanto nenhum elemento do entorno dificulta o acesso á insolação e ventilação naturais. A localização dos dormitórios e área social ocorre nas faces leste e norte respectivamente. Devido a falta do acabamento a edificação apresenta-se pouco confortável no verão. Portanto, os efeitos produzidos por um projeto bioclimatizado, nesta obra, pouco pode ser sentido.

- **Edificação 03**

Compreende 95m², térrea, tem forma irregular, estrutura em concreto armado, paredes em meio tijolo cerâmico maciço rebocado internamente, pintado na cor branca. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica, apresenta laje de concreto armado em toda a extensão exceto na sala de estar, que apresenta forro de madeira inclinado. A construção ocupa um espaço muito pequeno do terreno com inclinação acentuada o que permite fazer uso dos recursos naturais de insolação e ventilação sem problemas com o entorno, atendendo os requisitos mínimos de um projeto bioclimatizado. A disposição dos compartimentos e a proteção para o sol através de venezianas diminuem a insolação, o mesmo não ocorre na área social onde a vista privilegiada encontra-se apenas protegida por vegetação proposta para o jardim.

- **Edificação 04**

Compreende 110m², apresenta-se em dois pavimentos, tem forma arredondada, estrutura em concreto armado, paredes em um tijolo cerâmico maciço no andar térreo e meio no andar superior, aparente externamente e rebocado internamente pintado

na cor branca. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica. Todo o pavimento superior apresenta apenas forro de madeira. Alguns recursos do projeto bioclimatizado podem ser sentidos mesmo com a construção em lote com testada de 10m pois não foram usados os limites do mesmo para permitir a circulação do ar e acesso a insolação o que é acentuado pela forma arredondada. Conta-se com uma iluminação zenital central que elimina o uso de energia elétrica para iluminação durante o dia. Esta não chega a causar problemas de aumento da carga térmica pois as aberturas captam os ventos dominantes e o fazem circular. A proteção solar onde necessária foi feita através do uso de venezianas e de pergolados.

- **Edificação 05**

Compreende 115m², distribui-se em dois pavimentos, tem forma arredondada, estrutura em concreto armado, todas as paredes em um tijolo cerâmico maciço aparente externamente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica, não apresenta laje no pavimento superior, apenas um forro de madeira com espaço de ático. Quanto ao projeto bioclimatizado observa-se que esta edificação embora se apresente externamente toda em tijolo aparente, encontra-se protegida, na fachada leste, da incidência direta da radiação solar no verão por uma árvore de grande porte com folhas caducas, encontra-se protegida, na fachada norte, pela edificação vizinha e, na fachada oeste por uma varanda construída numa segunda etapa. O conforto é garantido pela parede de um tijolo maciço rebocado internamente. É importante salientar que esta edificação encontra-se em lote cuja testada é 10m e, como a anterior não chegou a usar os seus limites.

- **Edificação 06**

Compreende 124m², totalmente térrea, tem forma regular, estrutura em madeira, todas as paredes em meio tijolo cerâmico maciço e aparente externamente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica e apresenta apenas forro de madeira inclinado sem espaço para a ventilação do ático. A construção encontra-se em lote amplo de testada igual a 24m, num dos lugares mais altos o que permite o acesso livre a insolação e ventilação naturais. Os dormitórios encontram-se na face leste, a área social na face norte e oeste, esta última está protegida por uma grande área de lazer aberta.

- **Edificação 07**

Compreende 126m², também é térrea, tem forma regular, estrutura em concreto armado, todas as paredes em meio tijolo cerâmico furado, rebocada dos dois lados e pintada de branco. A cobertura é com estrutura de madeira e telha fibrocimento colocada sobre laje de concreto armado. O afastamento de 3m da fachada norte com relação a divisa lateral do terreno, devido a viela sanitária, permite a melhor captação da radiação solar. A localização da área de luz permite a captação dos ventos dominantes que circulam pelo corredor central e permitem a melhor ventilação dos outros compartimentos. O projeto prevê numa segunda etapa a construção do pavimento superior.

- **Edificação 08**

Compreende 137m², é desenvolvida em dois pavimentos, tem forma irregular, estrutura em concreto armado. Todas as paredes foram executadas em meio tijolo cerâmico maciço, rebocado em ambas as faces, apresentando alguns detalhes de revestimento em tijolo cerâmico aparente. Parte das paredes externas onde aparece o reboco foi pintada na cor cerâmica. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica, o forro de madeira acompanha a inclinação do telhado. A construção ocupa um lote com testada de 10m e encontra-se livre das divisas. O recuo projetado para o hall no pavimento térreo e mezzanino no pavimento superior foi necessário pois o terreno vizinho apresenta uma densa vegetação que impede a chegada do sol. As aberturas amplas na face sul e na parte acima da varanda garantem a iluminação natural. Devido ao pé direito alto e aberturas na parte superior é possível o efeito chaminé. Nesta edificação, além dos recursos apontados de um projeto bioclimatizado, conta-se também com uma lareira para os dias frios o que permite melhorar o conforto sem o uso de ar condicionado.

- **Edificação 09**

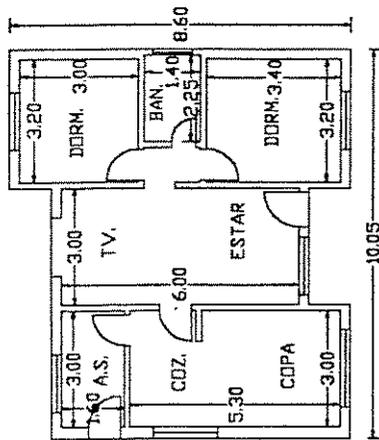
Compreende 180m², com dois pavimentos, tem forma irregular, estrutura em concreto armado. Todas as paredes em meio tijolo cerâmico maciço, rebocada internamente e externamente, apresenta detalhes de revestimento em tijolo cerâmico aparente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica, com forro de madeira. A construção apresenta a fachada oeste no limite do lote cuja testada é 14m. A localização em terreno alto permite a captação dos raios solares e da ventilação natural. Para dias frios foi projetada uma lareira. O projeto bioclimatizado conta ainda com o

efeito chaminé através da saída do ar através de aberturas superiores localizadas no mezzanino.

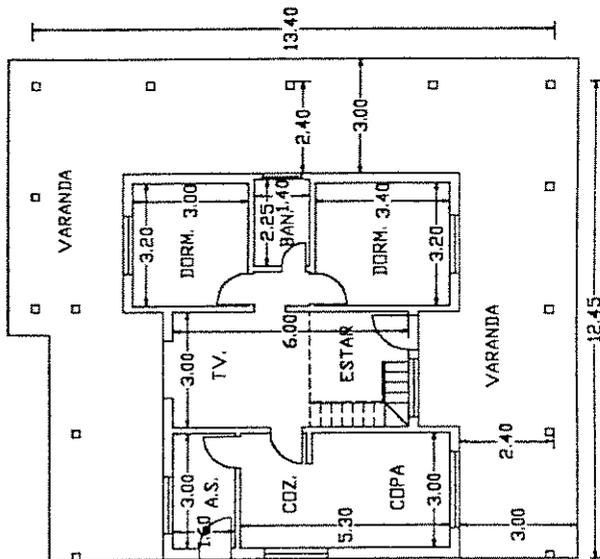
- **Edificação 10**

Compreende 412m², com dois pavimentos e apenas 10% ocupa um pavimento inferior devido ao desnível do terreno. O projeto tem forma regular, estrutura em concreto armado. Todas as paredes em um tijolo cerâmico maciço, de demolição, portanto com medidas bem maiores, foram deixadas aparentes interna e externamente. A cobertura é com estrutura de madeira e telha cerâmica sobre laje de concreto armado. Apresenta uma iluminação zenital central que permite iluminação natural por toda a parte interna da área residencial. O projeto bioclimatizado foi contemplado também pela orientação solar adequada, pela ampla captação da ventilação natural devido a topografia do local e pela execução de uma lareira para os dias frios.

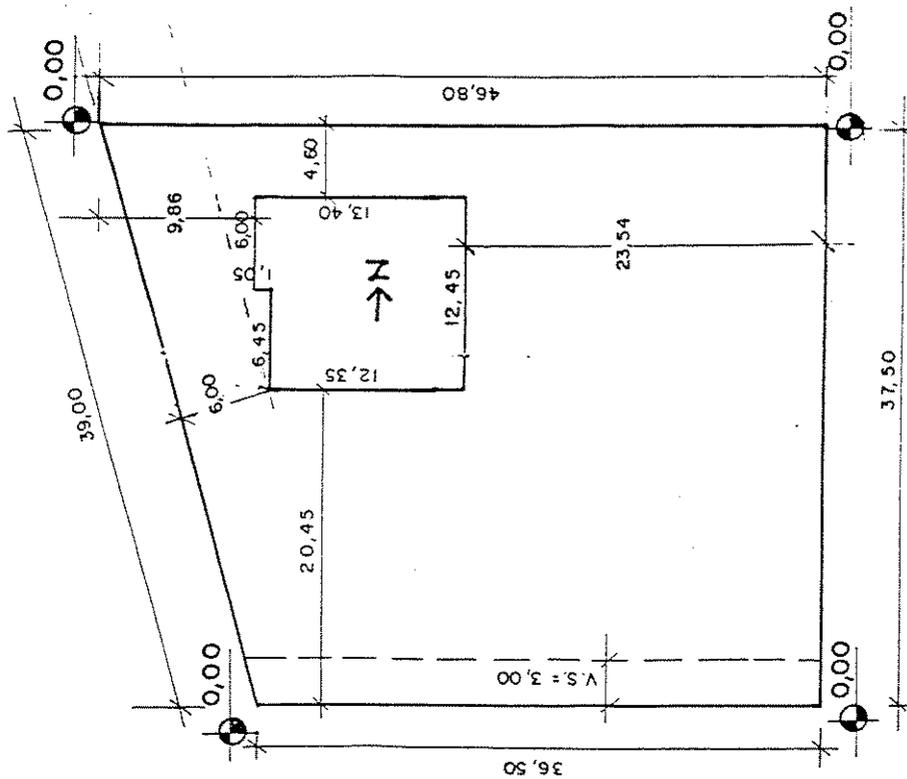
A seguir encontram-se as plantas baixas dos projetos analisados, em escala 1:200, e os esquemas para os quatro projetos escolhidos para os estudos de caso da parte II.



MODULO INICIAL
PLANTA BAIXA
area = 76,50m²

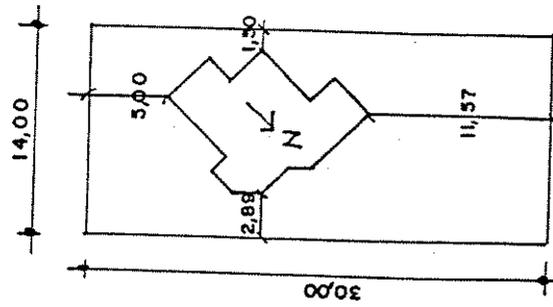


MODULO FINAL
PLANTA BAIXA
area = 160,06m²
ESC. 1:200

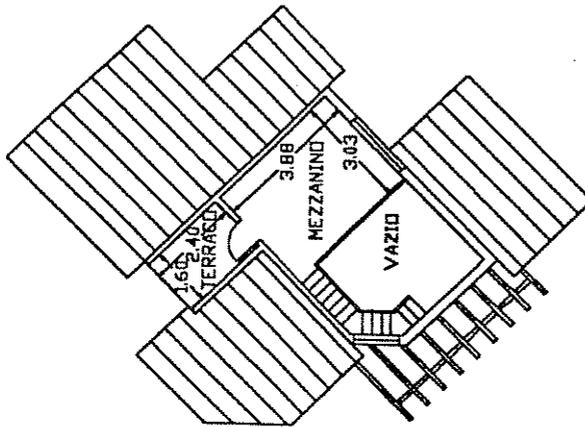


R. BENEDITO P. B. CRUZ
IMPLANTAÇÃO
ESC. 1 : 500

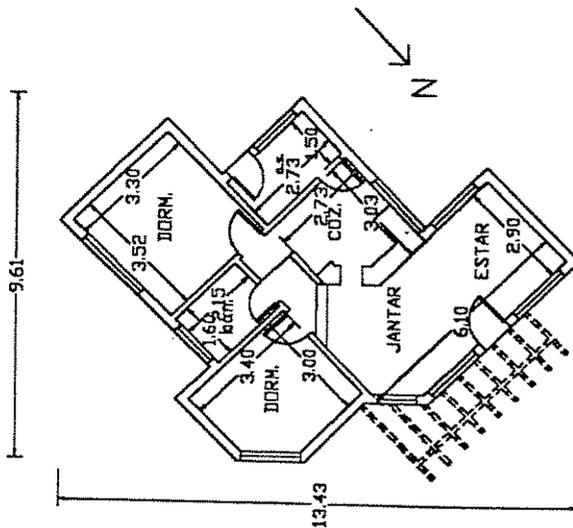
Figura A.1: Planta baixa da Edificação 01. Fonte: Elaboração própria.



RUA DO SOL
 IMPLANTAÇÃO
 ESC. 1: 500



PLANTA SUPERIOR
 area= 13,14m²



PLANTA TERRED
 area= 69,41m²
 ESC. 1: 200

Figura A.2: Planta baixa da Edificação 02. Fonte: Elaboração própria.

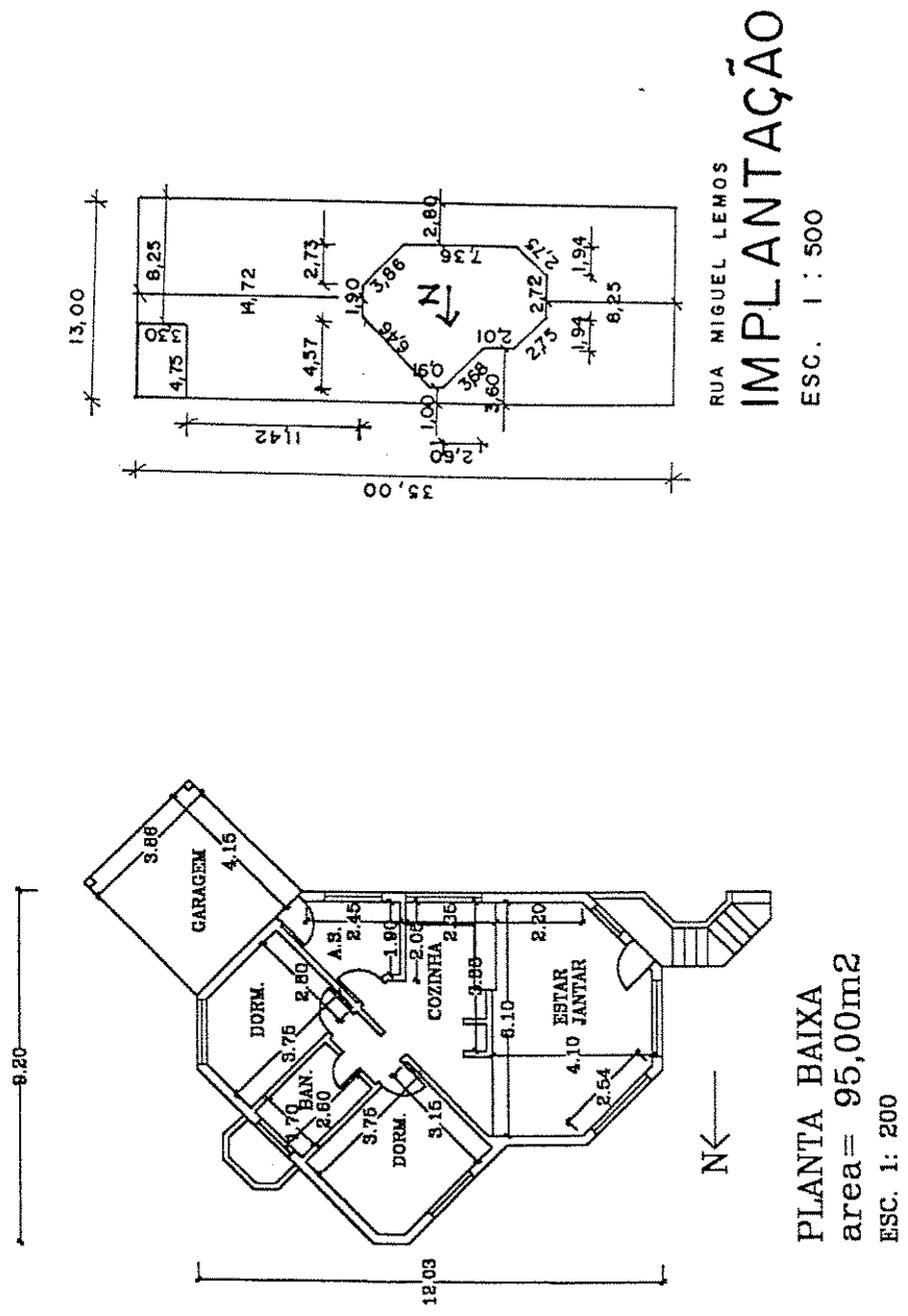
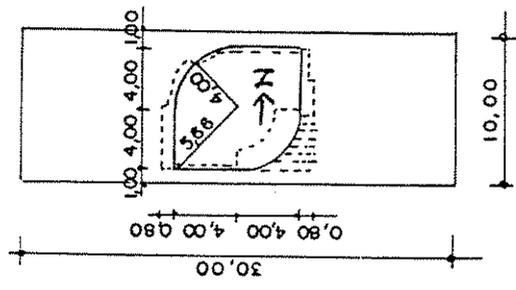
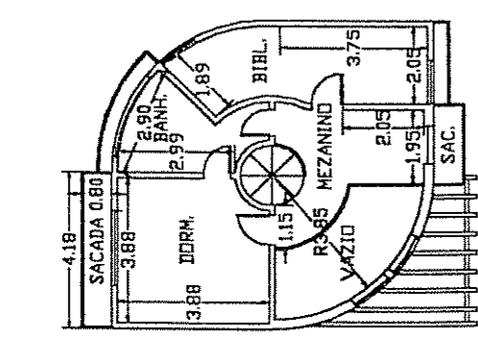


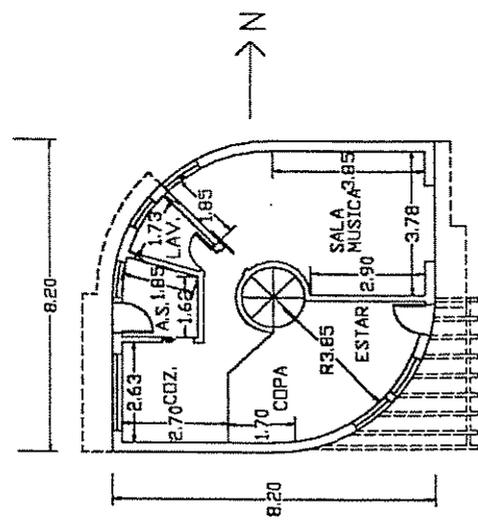
Figura A.3: Planta baixa da Edificação 03. Fonte: Elaboração própria.



R. HELENITA AP. BASSAN DE SÁ
IMPL. GERAL
 ESC. 1 : 500



PLANTA SUPERIOR
 area= 48,12m²



PLANTA BAIXA
 area= 62,04m²
 ESC. 1 : 200

Figura A.4: Planta baixa da Edificação 04. Fonte: Elaboração própria.

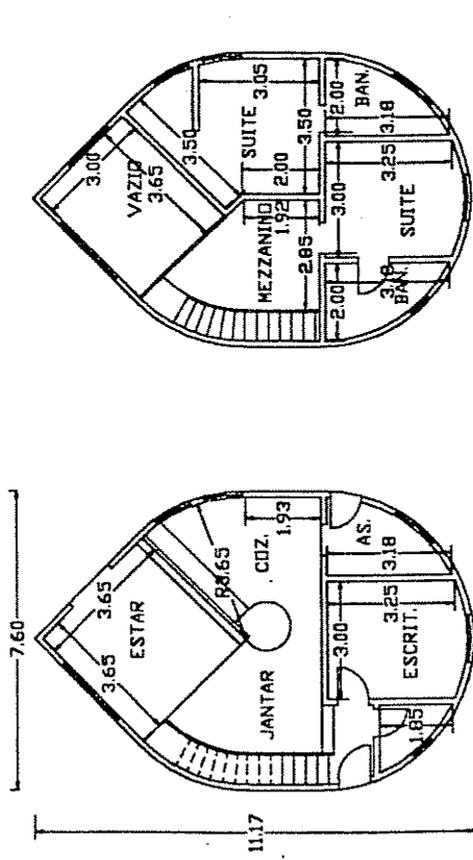
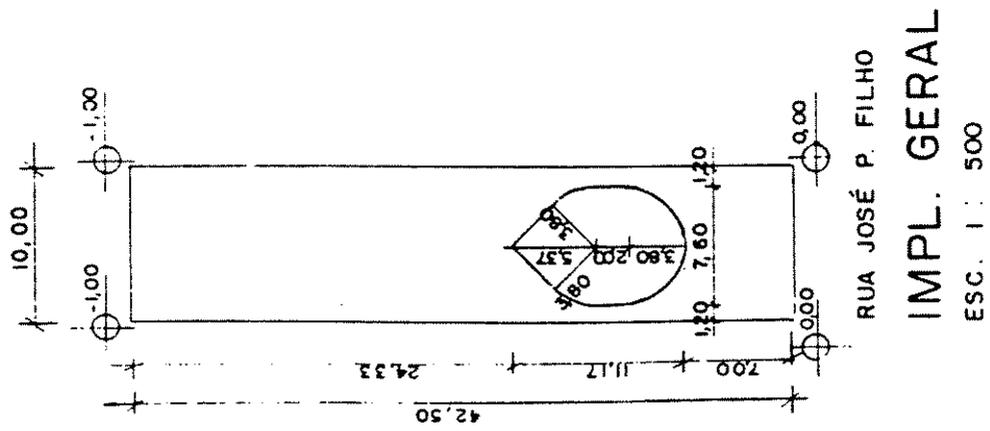
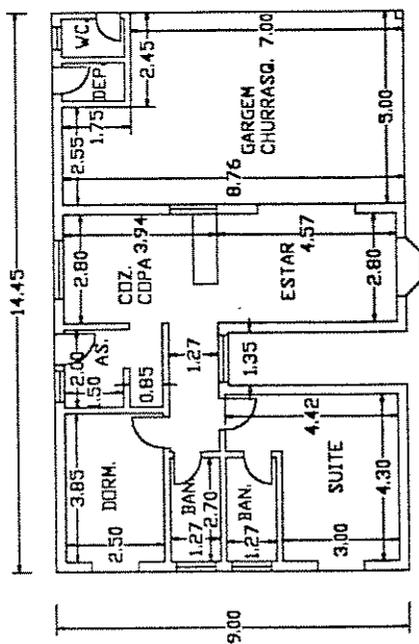
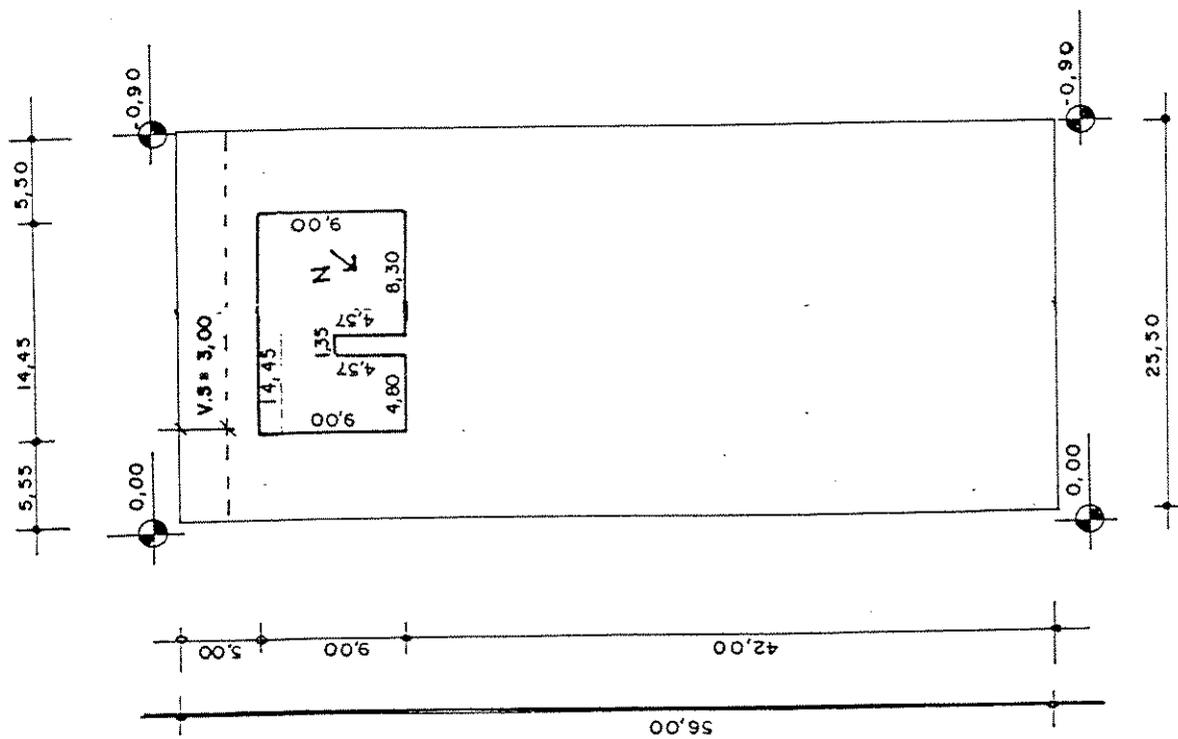


Figura A.5: Planta baixa da Edificação 05. Fonte: Elaboração própria.



PLANTA BAIXA
 area = 124.03m²
 ESC. 1 : 200

RUA MARIA DA PENHA SOUZA

IMPLANTAÇÃO
 ESC. 1 : 500

Figura A.6: Planta baixa da Edificação 06. Fonte: Elaboração própria.

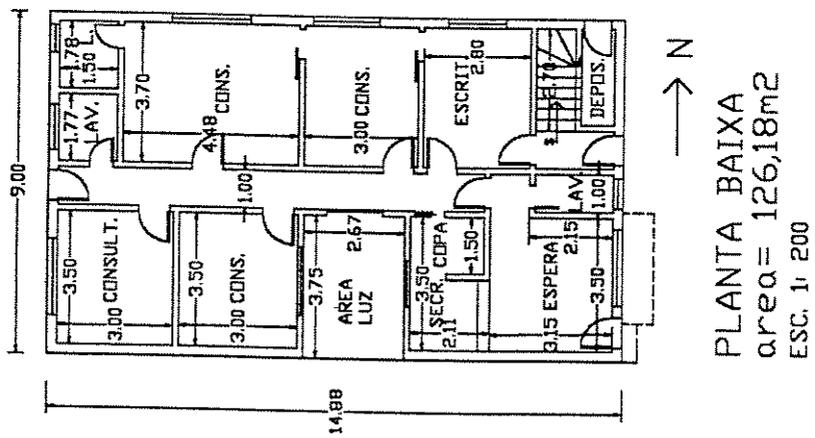
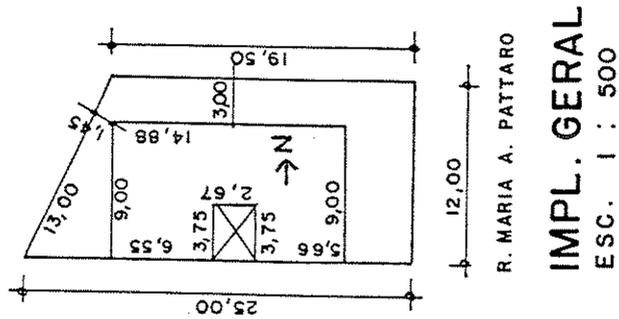
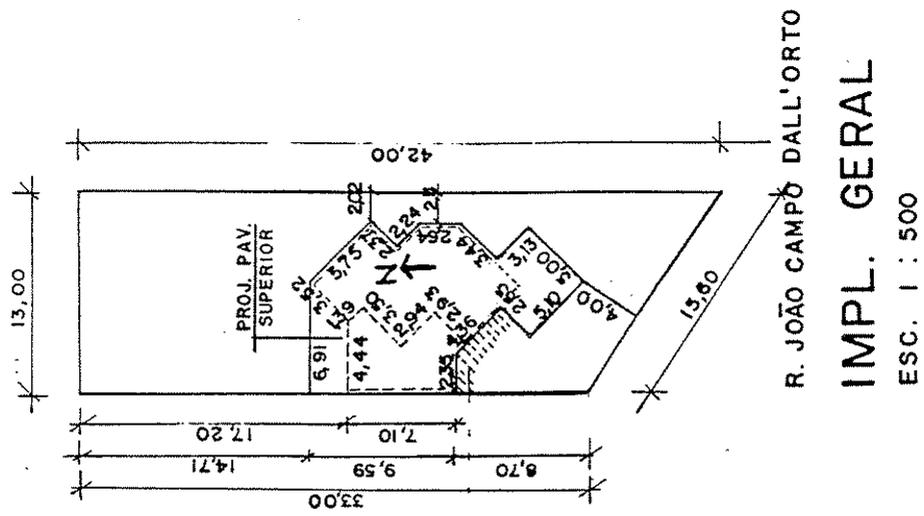


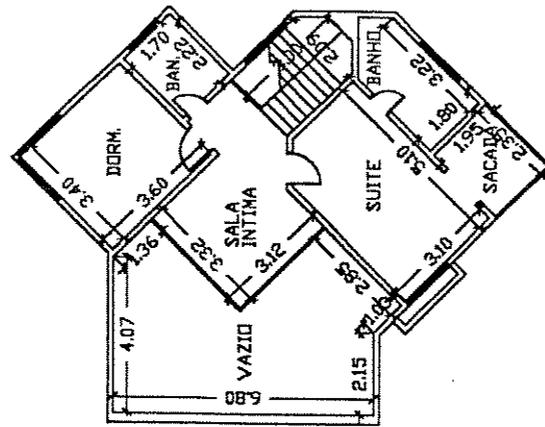
Figura A.7: Planta baixa da Edificação 07. Fonte: Elaboração própria.



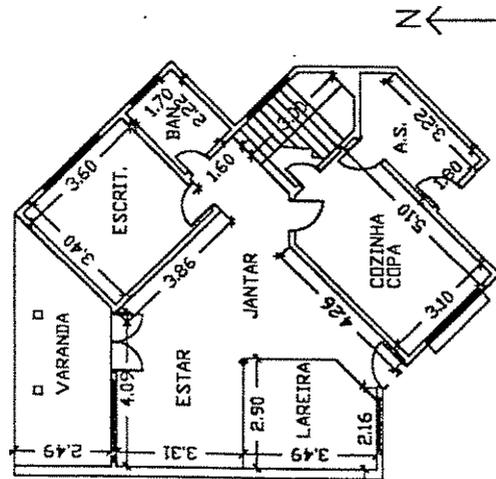
R. JOÃO CAMPO DALL'ORTO

IMPL. GERAL

ESC. 1 : 500

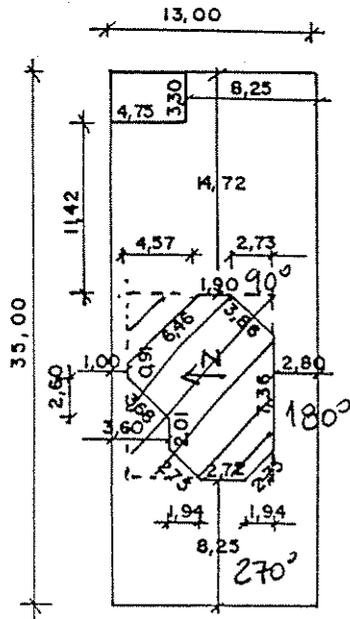
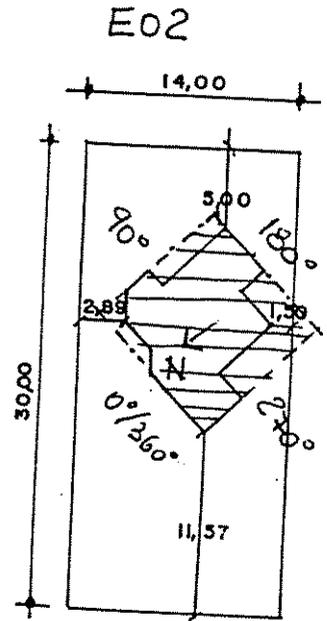
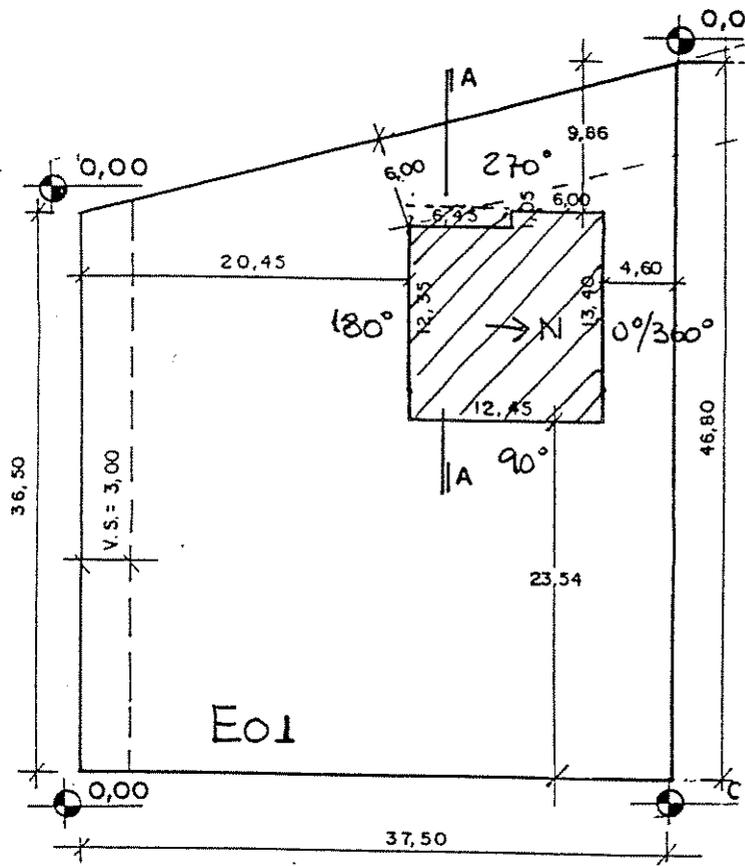


PLANTA SUPERIOR
area= 69,05m²



PLANTA TERRED
area= 109,44m²
ESC. 1: 200

Figura A.9: Planta baixa da Edificação 09. Fonte: Elaboração própria.



E03

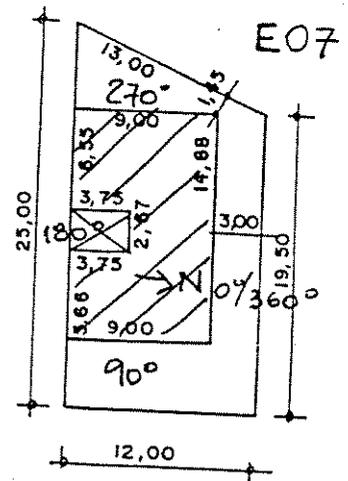


Figura A.11: Esquema mostrando o retângulo imaginário construído para os projetos empregados nos estudos de caso.

Bibliografia

- [1] GRAÇA, G. M. G. (1990) *A conservação de energia elétrica e o terceiro mundo in: Revista Brasileira de Energia*, Vol. 1, n.2, Rio de Janeiro, Index, p. 54-76.
- [2] MME - Ministério de Minas e Energia (1996) *Balanço Energético Nacional*, Brasília, 150 p..
- [3] MANSELL, G. (1980) *Anatomia da Arquitetura*. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S/A Ind. e Com..
- [4] HÉMERY, D.; DEBEIR, J.; DELÉAGE, J. (1993) *Uma história da energia*, tradução e atualização por Sérgio de Salvo Britto, Brasília, Universidade de Brasília, 440p..
- [5] PETRUCCI, E. (1978) *Materiais de Construções*. Porto Alegre, Globo, 435p..
- [6] DESCH, H. E. (1976) *Timber - Its Structure, Properties and Utilisation*, 6ª edition.
- [7] PEREZ, A. R. & KAWAZOE, L. (1988) *Sistema Construtivo em madeira in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia de Edificações*, São Paulo, Pini, p. 187-192.
- [8] PENEDO, W. R. (1985) *Madeira e carvão vegetal in: Economia, Tecnologia e Energia*. Rio de Janeiro COPPE-UFRJ, Marco Zero-FINEP.
- [9] PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; TOLEDO, L. M. A. de; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C. L. da R. (1994) *Proposta de metodologia para avaliar o perfil de consumo de energia elétrica em edificações*, Florianópolis, CT/UF-Núcleo de Pesquisa em Construção, Santa Catarina, 63p..

- [10] GUIMARÃES, G. D. (1985) *Análise energética na construção de habitações*, Tese de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro.
- [11] ABIKO, A. K. (1988) *Utilização de cerâmica vermelha na construção civil in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Tecnologia de Edificações*, p. 107-110.
- [12] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1980) *Manual de recomendações para conservação de energia na indústria cerâmica*, São Paulo, IPT, 208p. - Publicação 1161
- [13] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1990) *Manual de recomendações para conservação de energia na indústria metalúrgica*, São Paulo, IPT, 467p.
- [14] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981) *Manual de recomendações para conservação de energia na indústria de fundição*, São Paulo, IPT, 226p. - Publicação 1185
- [15] CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (1988) *Uso de energia na indústria de ferro-gusa não integrada em Minas Gerais 1983/1985*. Belo Horizonte, CEMIG.
- [16] SILVA, R. J. da (1994) *Análise energética de plantas de produção de cimento Portland*, Tese de Doutorado FEM/UNICAMP, Campinas, São Paulo.
- [17] CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1982) *Balanco energético de edificações típicas*. Ministério da Indústria e do Comércio, Secretaria de tecnologia Industrial, pesquisa realizada em 1978, 97p..
- [18] CAVALCANTI, R. N. (1990) *Caracterização da oferta e demanda de agregados minerais em Campinas*, Tese de mestrado defendida na Geociências/UNICAMP, Campinas.
- [19] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1978) *Manual de recomendações para um programa de redução do consumo de energia na indústria de cimento*, São Paulo, IPT. V.1,2,3 - Publicação 1112.
- [20] CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (1985) *Uso de energia na indústria de cimento em Minas Gerais, 1980-1983*, Belo Horizonte, CEMIG.

- [21] HENRIQUES, M. F. & SCHAEFFER, R. (1997) *Uso de energia na indústria brasileira - indicadores de intensidade e de eficiência energética* Anais do Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, p. 2415-2426.
- [22] CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (1988) *Uso de energia na indústria de cerâmica branca em Minas Gerais, 1983-1985*, Belo Horizonte, CEMIG.
- [23] CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. (1988) *O gesso como material de construção - composição química (1a. parte) e propriedades físicas e mecânicas (2a. parte)* in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia das edificações*. São Paulo, Pini, p. 53-60.
- [24] FERREIRA, A. L. (1996) *Perspectivas de evolução futura do consumo específico de energia elétrica na indústria brasileira de alumínio primário* in: Congresso Brasileiro de Energia, p. 2440-2447.
- [25] COMPANHIA VIDRARIA SANTA MARINA (1992) *O vidro na arquitetura*, Coletânea de artigos publicados na revista Projeto, São Paulo, 57p..
- [26] LABAKI, L.C.; SICHIERI, E.P.; CARAM, R.M.(1997) *Estudo comparativo entre os vidros refletivos metalizados à vacuo e os pirolíticos, quando submetidos à radiação solar.*, in: Anais do ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, p. 157-160.
- [27] VAIDERGORIN, E. Y. L. (1988) *Polímeros como materiais de construção (1a e 2a parte)* in: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 61-70.
- [28] AGOPYAN, V. (1988) *Estudo dos materiais de construção civil - materiais alternativos* in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 75-78.
- [29] PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; BARROS, J.M. de C. (1988) *Tijolos de solo-cal* in: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 187-192.

- [30] BERALDO, A. L. (1994) *Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis à vis des variations de l'humidité*, Université de Nancy I.
- [31] ABIKO, A. K. (1988) *Solo-cimento, blocos e paredes monolíticas in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 97-100.
- [32] SILVEIRA, W. J. da C. (1995) *Estabilização de solos Catarinenses in: Workshop Arquitetura da Terra/NUTAU/FAU/USP*, São Paulo.
- [33] PRENSIL S/A *Prensil - Tecnologia alemã em blocos sílico-calcário* Prensil S.A. Produtos de Alta Resistência, impresso promocional e técnico.
- [34] AGOPYAN, V. & DEROLLE, A. (1988) *Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel-imprensa in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 35-38.
- [35] NORISK HYDRO (1992) *PVC and the environment*. Petrochemical division, Oslo, Norway, 215p..
- [36] LIMA, G. L. de (1988) *Construção habitacional em Campos do Jordão utilizando madeira de reflorestamento (1a. e 2a. parte) in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 193-200.
- [37] CINCOTTO, M. A. (1988) *Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, p. 71-74.
- [38] PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; TOLEDO, L. M. A. de; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C. L. da R. (1995) *Análise comparativa do consumo energético na fase de fabricação dos materiais de construção, in: SATTler, M. A. e SILVA, H. da C., eds. Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. Gramado, RS, p. 445-456.
- [39] ROMÉRO, M. (1995) *Consumo de energia embutido nos materiais e na produção de edifícios, in: SATTler, M. A. e SILVA, H. da C., eds., Anais do III Encontro Nacional*

- e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. Gramado, RS, p. 769.
- [40] CORBELLA, O. D. (1983) *Arquitetura Bioclimática ou de Baixo Consumo Energético: Uma Proposta para Trabalhar com a Realidade*, in: *Seminário de Arquitetura Bioclimática*, CESP - Companhia de Energia Elétrica de São Paulo, p. 41-56.
- [41] AAE - Agência para Aplicação de Energia (1989) *Uso racional de energia em edificações - Isolamento térmico* Secretaria de Obras do Estado de São Paulo, S.P. 51p..
- [42] COSTA, L. (1983) *Arquitetura Bioclimática* in: CESP - Companhia de Energia Elétrica de São Paulo *Seminário de arquitetura bioclimática*, p. 3-6.
- [43] TOMBAZIS, A. N. (1995) *Architecture and bioclimatic design - Less is beautiful*, in: SATTLER, M. A. e SILVA, H. da C.. *Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. Gramado, RS, p. 19-28.
- [44] CEPAGRI - Centro de Pesquisas Agrícolas (1994) *Dados sobre o clima de Campinas*, FEA/UNICAMP, cópia xerox.
- [45] FRICKE, G. T. (1992) *A vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água do município de Campinas devido a acidentes com produtos perigosos*, Tese de Mestrado, FEC/UNICAMP, São Paulo.
- [46] MASCARÓ, L. R. de (1991) *Energia na edificação*, Edição Projeto Editores Associados Ltda, 2ª edição, São Paulo, 213p..
- [47] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.(1997) *Eficiência energética na arquitetura*. PW Editores, Patr. Eletrobrás/PROCEL,178p..
- [48] LAWFORD, R. (1979) *External Spaces and Climate* in: Walker,H.V. *Energy Conservation: design resource handbook*. Toronto, The Carswell Printing Company, 2.1.1-2.1.5.
- [49] WALKER, H. V. ed. (1979) *Energy conservation: design resource handbook*, Royal Architectural Institute of Canada. Toronto, Ontário, The Carswell Printing Company, cap. 1-7.
- [50] MARTINS, G. (1994) *Anotações para aula sobre Termodinâmica*

- [51] AKUTSU, M. & PEDROSO, N. G. (1985) *Dia típico de projeto: instrumento para desenvolvimento de projeto arquitetônico in: IPT -Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia das Edificações. São Paulo, Pini, p. 491-494.*
- [52] IAC - Instituto Agrônomo de Campinas (1990) *Dados sobre clima* Seção de Climatologia Agrícola, Campinas.
- [53] RORIZ, M. (1991) *Conforto térmico e economia de energia em edificações: um modelo simplificado de avaliação, UFSCar, São Carlos, São Paulo.*
- [54] ALVA, E. N. (1976) *Sol, Trópico e Meio Ambiente* Seminário Alternativas de Desenvolvimento: Energia Solar, SEP/SCCT/ Governo Estado de São Paulo, 34p..
- [55] DUBOIS, M. BROWE, K. (1979) *Building and Site Characteristics in: Walker,H.V. Energy Conservation: design resource handbook. Toronto, The Carswell Printing Company, 4.1.1-4.1.2..*
- [56] PROCOS, D. (1979) *Building and Site Characteristics in: Walker,H.V., Energy Conservation: design resource handbook. Toronto, The Carswell Printing Company, 6.1-6.7.*
- [57] AKUTSU, M. (1985) *Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de revisão normativa in: IPT -Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia das Edificações. São Paulo, Pini, p. 469-472.*
- [58] FANGER, P. O. (1970) *Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering, Canish Technical Press, Copenhagen, 1970, 243p..*
- [59] ALUCCI, M. P. (1985) *Crêterios relativos ao atendimento das exigências de ventilação na habitação in: IPT -Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia das Edificações. São Paulo, Pini, p. 463-468.*
- [60] BLUME, H. (1975) *La casa pasiva - clima e ahorro energético* The American Institute of architects p. 75-103.
- [61] ABILUX - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (1992) *Uso racional de energia em edificações - Iluminação ABILUX/AAE/PROCEL/Eletrabrás, São Paulo, 43p..*

- [62] ALUCCI, M.P.; AKUTSU, M.; CARNEIRO, C. de M. (1985) *Geometria dos ambientes: um dos fatores determinantes do desempenho térmico das edificações* in: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia das Edificações*. São Paulo, Pini, p. 481-486.
- [63] PEREIRA, J. T. V. (1985) *Arquitetura Bioclimática* in: CESP - Companhia de Energia Elétrica de São Paulo. São Paulo, p. 64-67.
- [64] RAUBER, D. L.; Van BELEN, H.M.; SCHUCH, L. M. S.; NARCISO FILHO, P. A. L e LAMBERTS, R. (1993) *Comparação de softwares de análise de análise térmica de edificações: resultados par aum projeto padrão e interface programa - usuário*, Anais do II ENCAC, ANTAC, ABERGO, SOBRAC, Florianópolis/SC, 28/03 a 01/04 de 1993, p. 107-114.
- [65] SJOBERG, G. *A origem e evolução das cidades* in: Cidades - a urbanização da humanidade. Rio de Janeiro, Zahar editores, 2a. ed.
- [66] DIAS, M. de S. *Origens do Planejamento*. in: Introdução ao Planejamento, FAU/USP, São Paulo, p. 67-71.
- [67] ALCOFORADO, F.(1990) *A atual crise energética do Brasil e seus impasses estruturais* in: Revista Brasileira de Energia, Vol.1 n.2, p. 42-53.
- [68] PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS (1996) *Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo*. Lei n.9.199 de 27/12/96. Campinas.
- [69] PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS (1988) *Plano Diretor de Campinas*. Lei n.6.031 de 28/12/88, Campinas.
- [70] KATZSCHNER, L.(1997) *Urban climate studies as tools for urban planning and architecture*, in: Anais do ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, p. 49-58.
- [71] CEC - California Energy Commission (1978) *Solar Access - a local responsibility*, Ed. CEC, 28p..

- [72] BUENO, C. L.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. (1997) *Caracterização de espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas*, in: Anais do ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, p. 93-96.
- [73] DUARTE, D. H. (1997) *A reposição do verde em áreas urbanas: desmistificação e proposição de alternativas para o caso de Cuiabá*, in: Anais do ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, p. 87-92.
- [74] HACKENBERG, A. M. (1992) *O clima urbano numa cidade estuária de fundo de baía Joinville-SC*, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP-São Carlos, SP, 143p..
- [75] SANTAMOURIS, M. (1997) *Energy and indoor climate in urban environments - recent trends*, in: Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, p. 15-24.
- [76] SZOKOLAY, S. V. (1995) *Bioclimatic design: strategy to details*, in: SATTLER, M. A. e SILVA, H. da C. Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, p. 71-84.