



Governo do Estado de São Paulo
Universidade Estadual Paulista

FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ

Conforto Térmico em Edificações

LIDIANE ALVES DE OLIVEIRA

PUBLICAÇÃO
221

GUARATINGUETÁ – SP

BRASIL

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

LIDIANE ALVES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá da
Universidade Estadual Paulista, para
a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci

Guaratinguetá
2003

O48c	Oliveira, Lidianne Alves de Conforto Térmico em Edificações/Lidianne Alves de Oliveira. – Guaratinguetá: [s.n.] , 2003. 70f.: il.; Bibliografia: f.68-70 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2003. Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci 1. Conforto Térmico. I. Título CDU 699.86
------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ
Faculdade de Engenharia

“CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES”

LIDIANE ALVES DE OLIVEIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. José Luz Silveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. FELIPE RINALDO QUEIROZ DE AQUINO
FAENQUIL

Prof. Dr. LUIZ OCTÁVIO MATTOS DOS REIS
UNESP-FEG

Novembro de 2003

DADOS CURRICULARES

LIDIANE ALVES DE OLIVEIRA

NASCIMENTO 13.02.1977 – GUARATINGUETÁ / SP

FILIAÇÃO Hamilton de Oliveira Pinto
Lidia Alves de Oliveira

1997-2000 Curso de Graduação
Engenharia Civil – UNESP/Campus de Guaratinguetá

2001-2003 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de
Mestrado, na UNESP/Campus de Guaratinguetá

PUBLICAÇÕES OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., AMORIM, E.B. Conforto
térmico em edifícios revestidos com grandes janelas de vidro e
cobertura metálica: Estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de
Engenharia Mecânica: COBEM 2001, 16., 2001, Uberlândia
(MG) [CD-ROM]. *Anais eletrônicos...* Uberlândia: ABCM, 2001.
pp. 50-58. ISBN: 85-85769-07-6.

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., AMORIM, E.B. Estudo
do Conforto Térmico de edifício da FEG-UNESP considerando
grandes janelas de vidro nas fachadas e cobertura metálica: Um
estudo de caso. In: Jornada 2001 de Iniciação Científica e Pós-
Graduação da FEG/UNESP, 2001, Guaratinguetá (SP) [CD-
ROM]. *Anais eletrônicos...* Guaratinguetá: FEG/UNESP, 2001.

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., AMORIM, E.B. Estudo
do Conforto Térmico de edifício da FEG-UNESP considerando
grandes janelas de vidro nas fachadas e cobertura metálica: Um
estudo de caso. *Revista Digital da UNESP* [on-line]. Setembro
de 2001 Disponível na UNESP /Guaratinguetá: <URL:
<http://www.feg.unesp.br/revistadigital>>

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., SILVA, E. A. N.
Avaliação do Conforto Térmico – Um estudo de caso:
UNESP/Guaratinguetá. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e
Ciências Térmicas – ENCIT 2002 , 9., 2002. Caxambu (MG)
[CD-ROM]. *Anais eletrônicos...* Caxambu: ABCM, 2002.
ISBN 85-87978-03-9.

Ao autor da minha fé,
Deus da minha salvação,
dedico este trabalho pois somente teu grande amor
me trouxe consolo e incentivo para a realização
deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais ***Hamilton*** e ***Lidia***, por seu amor e conselhos que fundamentam a minha vida;

ao meu irmão ***Roberto*** e sua esposa ***Angelina*** pela compreensão e apoio;

ao meu sobrinho ***Ângelo Roberto*** pelo seu exemplo de luta pela vida;

ao meu orientador, amigo e conselheiro ***Luiz Roberto Carrocci*** que, de forma especial, acredita em mim e me encorajou nos momentos mais difíceis;

aos amigos da pós-graduação ***Eliane, Edgar, Mário, Alexandre Marcial e José Rui*** pela pronta disposição em ajudar-me em vários momentos deste curso;

a professora do Departamento de Engenharia Mecânica ***Ângela Dias Velasco*** pela auxílio na construção dos diagramas;

ao ***Sr. José Carlos dos Santos***, técnico do INPE – Cachoeira Paulista, pelo equipamentos e suporte técnico oferecidos durante a coleta de dados;

ao meu marido ***Luiz Marcelo Bruno*** que, com muito amor e carinho se tornou o maior incentivador deste trabalho.

*Este trabalho somente foi possível graças à companhia destas
Pessoas Especiais a quem devo minha Eterna gratidão.*

Este trabalho contou com apoio financeiro da COORDENAÇÃO DE
APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES
concedido através da Bolsa de Mestrado.

*“ O Senhor é a minha força e o meu escudo;
Nele o meu coração confia,
nele fui socorrido;
por isso, o meu coração exulta,
e com o meu cântico o louvarei.”*

Salmos 28:7

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO 15

Capítulo 1 – **CONFORTO TÉRMICO** 17

Capítulo 2 – **METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO CONFORTO
TÉRMICO** 21

2.1 Descrição da UNESP – Campus de Guaratinguetá..... 21

2.2 Estudo de Caso: Edifício denominado Bloco I da UNESP – Campus
de Guaratinguetá 23

2.3 Metodologia..... 26

Capítulo 3 - **ORIENTAÇÃO SOLAR DOS EDIFÍCIOS** 29

3.1 Introdução..... 29

3.2 Diagrama Solar..... 30

3.3 Diagrama Anual..... 33

3.4 Determinação das horas de insolação nas fachadas..... 34

3.5 Diagrama de Manchas de Sol..... 36

3.5.1 Análise dos diagramas de manchas de Sol..... 42

Capítulo 4 -	ESTUDO DA TEMPERATURA E UMIDADE	44
4.1	Apresentação.....	44
4.2	Aplicação do equipamento.....	44
4.3	Resultados obtidos.....	46
	4.3.1 Solstício de Verão.....	46
	4.3.2 Equinócio.....	50
	4.3.3 Solstício de Inverno.....	54
Capítulo 5 -	CARGA TÉRMICA DOS AMBIENTES EM ESTUDO	57
	CONCLUSÃO	61
	SUGESTÕES PARA PROJETOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeitos da termoregulação no corpo humano	18
Figura 2 – Planta da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá	22
Figura 3 – Fachada principal do Bloco I (face sudeste)	23
Figura 4 – Fundos do edifício (face noroeste)	24
Figura 5 – Fachada Direita do prédio (face nordeste)	24
Figura 6 – Fachada Esquerda do prédio (face sudoeste)	25
Figura 7 – Planta Baixa do Bloco I	27
Figura 8 – Altura e azimuth Solar	29
Figura 9 – (a) Representação do Diagrama Solar; (b) Trajetória e alturas do Sol nos Solstícios	31
Figura 10 – Diagrama Solar para a cidade de Guaratinguetá – SP	32
Figura 11 – Diagrama Anual para Guaratinguetá – SP	34
Figura 12 – Esquema de orientação do prédio	35
Figura 13 – Diagrama de Manchas de Sol no Solstício de Inverno	39
Figura 14 – Diagrama de Manchas de Sol no Solstício de Verão	40
Figura 15 – Diagrama de Manchas de Sol no Equinócio	41
Figura 16 – Gráfico referente ao estudo da temperatura no Solstício de Verão	47
Figura 17 – Gráfico referente ao estudo da temperatura durante o Verão	48
Figura 18 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa no Solstício de Verão	49
Figura 19 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa durante o Verão	49
Figura 20 – Gráfico referente ao estudo da temperatura no Equinócio	51
Figura 21 – Gráfico referente ao estudo da temperatura durante o Outono.....	52
Figura 22 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa no Equinócio.....	53
Figura 23 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa durante o Outono.....	53
Figura 24 – Gráfico referente ao estudo da temperatura no Solstício de Inverno.....	55
Figura 25 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa durante o Solstício de Inverno	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Horário de início e término de insolação nas fachadas.....	35
TABELA 02 – Quantidade de horas de Sol nas fachadas.....	36
TABELA 03 – Ângulos de alturas do sol, em diversos horários do dia, de acordo com as estações climáticas	38
TABELA 04 – Valores de carga térmica para cada ambiente representativo....	59
TABELA 05 – Valores de estimativa do consumo de energia elétrica resultante da instalação de equipamentos de condicionamento de ar.....	60

OLIVEIRA, L. A. **Conforto Térmico em Edificações.** Guaratinguetá, 2003. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

Este trabalho analisa edifícios que, devido a sua arquitetura moderna, utilizam grande superfície de vidro nas fachadas apresentando, na maior parte das vezes, problemas de conforto térmico. Como objeto deste estudo decidiu-se por um prédio da UNESP, campus de Guaratinguetá.

A análise realizada foi baseada no estudo da insolação (diagrama solar), em medidas locais de temperatura, umidade e no levantamento da carga térmica, objetivando avaliar as condições do edifício e propor soluções visando um melhor conforto térmico com a otimização do consumo de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVES: Conforto Térmico, Carga Térmica, Condicionamento de Ambientes.

OLIVEIRA, L. A. **Thermal Comfort in Buildings**. Guaratinguetá, 2003. 70 p.
Dissertation (Master Science in Mechanical Engineering) – Engineering
College of the Campus of Guaratinguetá, State University from São Paulo.

ABSTRACT

This work analyzes buildings that, due to their modern architecture, use a great glass surface in the facades presenting, most of the time, problems of thermal comfort. As object of this study we chose a building of UNESP, campus of Guaratingueta.

The accomplished analysis was based on the study of the heatstroke (solar diagram), in measuring temperature places, humidity and in the rising of the thermal load, aiming at evaluating the conditions of the building and to propose solutions seeking a better thermal comfort with the optimization of the consumption of electric energy.

KEY WORDS: Thermal Comfort, Thermal Load, Environmental Air Conditioner.

INTRODUÇÃO

Um projeto não pode se resumir somente em atender às necessidades de segurança e de comodidade dos usuários, mas também é importante criar um meio ambiente favorável.

No Brasil, a utilização de concreto armado como material dominante foi uma transformação com bons resultados em termos de economia e integridade estrutural, mas inadequada quanto à alta inércia térmica dos edifícios em uma região de clima quente-úmido. Isso é bastante evidente nas cidades de zonas úmidas, com prédios de alta densidade e materiais de construção pesados.

A arquitetura deve obedecer as condições climáticas de cada região. Vários são os casos em que estas condições são abandonadas para atender influências da arquitetura estrangeira, como é o caso dos edifícios com fachadas e paredes inteiramente de vidro. No Brasil onde a predominância do clima é tropical, os vidros das fachadas causam aquecimento do ambiente, levando a gastos elevados com sistemas de ar condicionado.

Este trabalho visa o monitoramento de edifícios dentro do aspecto conforto térmico, em particular do edifício denominado Bloco I da FEG/UNESP, campus de Guaratinguetá, que tem apresentado problemas térmicos.

Para tanto, escolheu-se locais representativos para análise, onde realizou-se a descrição térmica do edifício em estudo a partir do levantamento de medidas de temperatura e umidade relativa durante as estações do ano.

Calculou-se a carga térmica destes ambientes representativos do edifício, em função do número de usuários, iluminação, equipamentos, emissão de calor por insolação e por condução nas superfícies (paredes, área de vidro das janelas, cobertura, piso e portas).

A partir do diagrama solar da cidade construiu-se um diagrama de manchas de sol que determina a ação solar internamente nos ambientes .

O referido monitoramento levou a resultados que implicarão na melhoria das condições de umidade relativa e temperatura nos edifícios, relacionados diretamente a otimização do consumo de energia em equipamentos de condicionamento de ambientes.

Capítulo 1 – CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico se compõe das condições ambientes nas quais o usuário apresenta ótimos níveis de saúde, conforto e desempenho de suas atividades.

A facilidade ou dificuldade para efetivar as trocas térmicas com o meio físico é o que indica o grau de conforto térmico permitido pelo ambiente, o que implica em conhecer os valores limites da temperatura, da umidade relativa e da velocidade do ar.

O conjunto de valores para estas variáveis deve evitar sensações desagradáveis causadas por:

- exagerada perda de calor pelo corpo;
- desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo;
- dificuldade de eliminar o calor produzido pelo organismo.

Fica claro, no entanto, que estas sensações referidas acima não são função somente das condições ambientais, mas também da capacidade de aclimação ao meio, dos hábitos alimentares, da atividade e do tipo de vestuário de cada indivíduo.

O equilíbrio térmico no frio realiza-se pelo reforço do calor metabólico e, no quente, por regulação das perdas por evaporação. As trocas caloríficas por radiação entre a pele e um corpo qualquer são essenciais na medida em que a pele humana tem características excelentes de absorção e de emissão. (FROTA & SCHIFER, 1988)

O calor é produzido no corpo como resultado da respiração. O que significa que controlar a respiração equivale a controlar a produção de calor. Quando uma temperatura exterior demasiado baixa faz diminuir a temperatura do corpo, a respiração aumenta e gera mais calor no tecido muscular. Uma

manifestação extrema dessa forma de controle químico ocorre quando as pessoas tremem de frio.

Quando a temperatura do corpo tende a aumentar como reação a um aumento da temperatura externa, as perdas por evaporação são aceleradas por diferentes mecanismos físicos. Os vasos sanguíneos da pele dilatam-se, deixando passar mais sangue portador de calor à superfície da pele. As glândulas da transpiração intensificam as secreções (Figura 1). Os pulmões e as vias respiratórias perdem água, perdas essas que são função do potencial de evaporação da água tal como o definem a umidade relativa e a velocidade do ar.

Para um grau de atividade determinado, chama-se calor metabólico ao resultado da regulação térmica necessária para assegurar o equilíbrio térmico. Este procedimento natural de controle de perda de calor no organismo, no entanto, representa um esforço extra, uma fadiga extra e uma queda do potencial de trabalho.

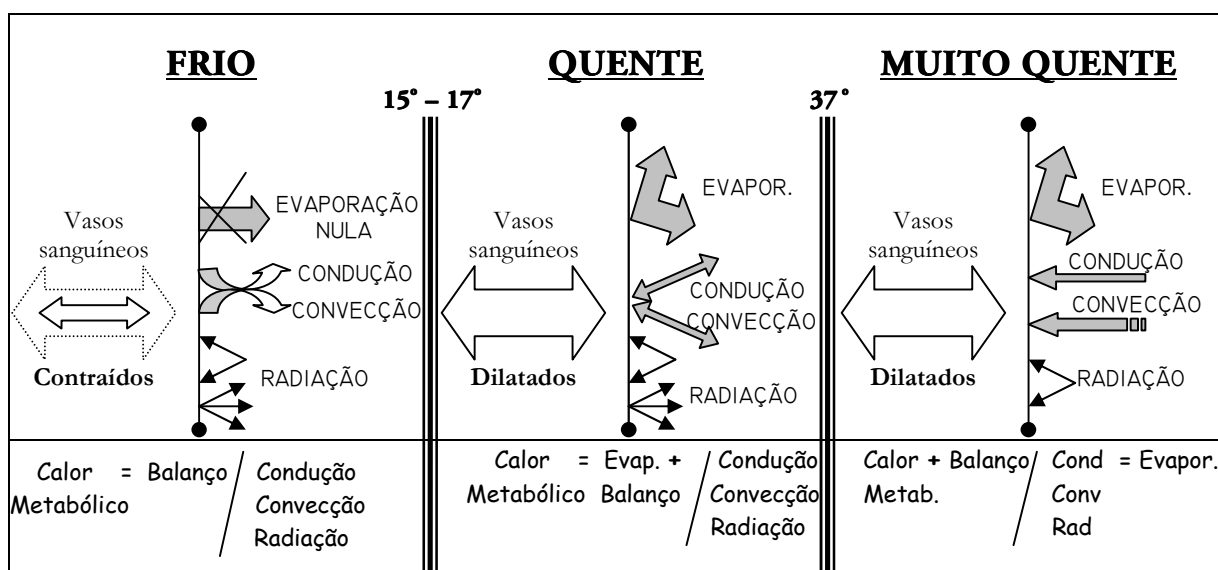


Figura 1 – Efeitos da termoregulação no corpo humano

As atividades metabólicas do corpo são transformadas quase que totalmente em calor que deve ser eliminado para se manter a temperatura do corpo constante. De acordo com a ASHRAE (2001), temperaturas da pele entre 33°C e 34°C são consideradas de conforto em atividades sedentárias e esta deve decrescer com o aumento da atividade física. Temperaturas internas abaixo de 28°C causam arritmia cardíaca e morte e, acima de 46°C podem levar a danos cerebrais irreversíveis.

A Norma Brasileira ABNT/NB-10 (1978) para “Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto”, estabelece algumas prescrições nas instalações destinadas ao conforto humano:

a) A diferença entre as temperaturas simultâneas do termômetro seco em dois pontos quaisquer do recinto condicionado, ao nível de 1,50 m não deve ultrapassar a 2 °C.

b) A velocidade do ar na zona de ocupação, isto é, no espaço compreendido entre o piso e o nível de 1,50m, deve ficar compreendido entre 1,50 e 15,0 m/min. Excepcionalmente será permitido que se ultrapasse os limites acima fixados, como , por exemplo, na vizinhança das grelhas de retorno e de insuflamento que, por necessidade de construção, forem localizadas abaixo do nível de 1,50 m.

c) No caso de resfriamento, a diferença entre a temperatura das correntes de ar no espaço freqüentado por pessoas e a temperatura média nesse espaço não deve ser superior aos seguintes valores: 1,5°C para velocidades da corrente de ar menores que 12 m/min e 1,0 °C para velocidades da corrente de ar maiores que 12 m/min.

d) O ar deve ser continuamente filtrado e renovado.

Edifícios mais adequados ao clima tropical, projetados segundo uma concepção arquitetônica que leve em conta o aproveitamento da luz natural e a

redução da carga térmica interna, podem propiciar economias substanciais no consumo de energia elétrica.

Nas edificações dos setores público e comercial grande parte do consumo é atribuído a variáveis arquitetônicas e construtivas já que, em média, 64% de seu consumo é devido ao condicionamento ambiental (que vem crescendo constantemente) e iluminação, razão pela qual pode-se demonstrar a responsabilidade dos projetistas e construtores no consumo final de energia elétrica nas construções. Estima-se que edifícios com projetos adequados possam consumir em torno de 30% menos energia que outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares. (GELLER, 1994)

Capítulo 2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

Como forma de se avaliar as condições de conforto térmico em edificações que já estejam construídas, decidiu-se por escolher um dos prédios que compõem o campus da UNESP – Guaratinguetá.

2.1 – DESCRIÇÃO DA UNESP – CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

A cidade de Guaratinguetá, localizada no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, encontra-se entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, a uma altitude de 544 metros em relação ao nível do mar, o que provoca uma ventilação canalizada no sentido predominante Sul-Norte.

Com clima tropical úmido e estações climáticas bem definidas, ocorre no município, na maior parte do ano, temperaturas amenas que contribuem e asseguram uma qualidade de vida adequada ao desenvolvimento das atividades urbanas. Analisando os dados históricos de levantamento de temperatura, em Guaratinguetá, nas últimas três décadas, encontrou-se que a cidade apresenta uma temperatura média de 25°C com variação entre mínimas de 0°C e 15°C no Inverno e máximas de 30°C e 37°C no Verão. (Fonte: Ministério da Aeronáutica)

O campus da UNESP - Guaratinguetá está localizado na parte alta da cidade próxima ao centro urbano e ao rio Paraíba do Sul. Encontra-se bastante arborizado e parte do solo está impermeabilizado devido as construções, a pavimentação asfáltica e algumas quadras poliesportivas. Possui uma área total de 176.000 metros quadrados, sendo que a área construída é de 25.000 metros quadrados. O solo impermeabilizado representa aproximadamente 20% da área total do campus.

Os prédios existentes no campus possuem arquitetura moderna, tendo grandes superfícies de vidro compondo com grandes áreas de concreto, cobertura de telhas metálicas ou telhas onduladas de fibro-cimento, e gabarito máximo de

três pavimentos. As cores predominantes nas fachadas são o branco e o azul claro. Poucos edifícios possuem marquise, avanço de laje e beiral como elementos de controle da entrada de sol.

Os edifícios do campus estão em sua maioria posicionados no sentido Norte-Sul sendo que as aberturas (portas e janelas) estão voltadas prioritariamente para as faces nordeste e sudoeste, expostos a grande incidência de raios solares (Figura 2).

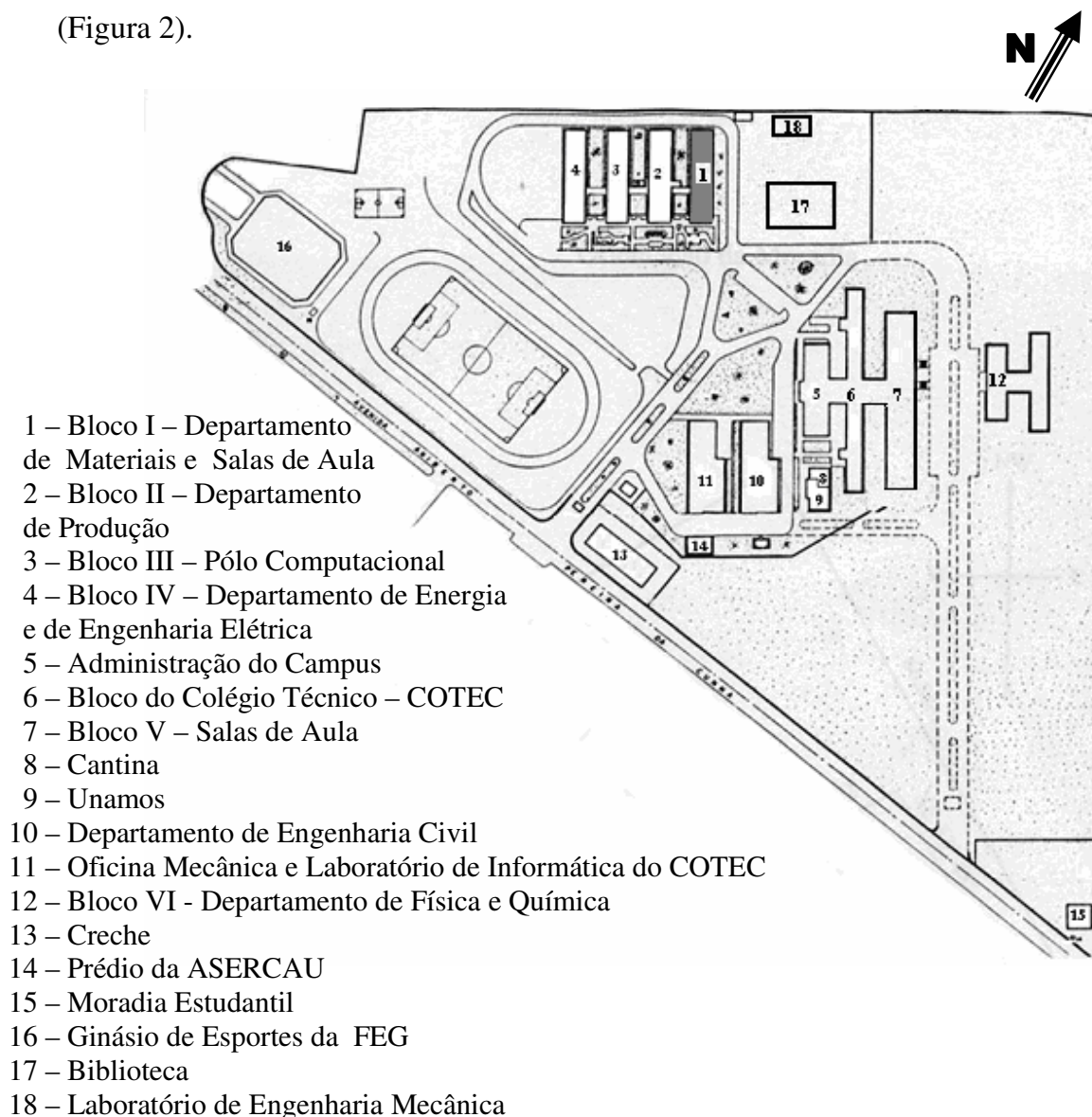


Figura 2 – Planta da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

2.2 – ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO DENOMINADO BLOCO I DA UNESP – CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Após avaliação de todos os edifícios da UNESP – Guaratinguetá, tomou-se como objeto de estudo o prédio denominado Bloco I, apresentado na Figura 3.



Figura 3 – Fachada principal do Bloco I (face sudeste)

Segundo demonstra a Figura 2, o Bloco I é o primeiro edifício de uma série de quatro prédios consecutivos. O edifício possui três pavimentos com faces voltadas para noroeste, sudeste, nordeste e sudoeste (Figuras 3, 4, 5 e 6).

A face voltada para sudoeste sofre a interferência do prédio subsequente que acaba por sombrear toda esta face. Conforme demonstra a figura 6, a vegetação é bastante densa nesta face.

Conforme apresenta a figura 5, poucas árvores se localizam na fachada nordeste, o que resulta no sombreamento de apenas algumas salas do prédio.



Figura 4 – Fundos do edifício (face noroeste)



Figura 5 – Fachada direita do prédio (face nordeste)



Figura 6 – Fachada esquerda do prédio (face sudoeste)

O Bloco I é utilizado para atividades didáticas, possuindo salas de aula, de professores e laboratórios os quais atendem o curso de Engenharia Mecânica.

As salas de aula têm capacidade para até 60 alunos. Os laboratórios possuem equipamentos de grande potência como frezadora, torno, máquina de solda e outros.

As formas retas do edifício com total ausência de toldos, avanços de lajes, elementos vazados; associadas a grande quantidade de vidro transparente liso empregado em suas fachadas (nordeste, sudeste e sudoeste) e a utilização de pastilhas de cor azul claro no revestimento de paredes acabam revelando características da arquitetura moderna.

Tais características implicam em problemas de conforto térmico. Em cada uma das fachadas a superfície de vidro das janelas representa 50% de sua área total com exceção da fachada sudoeste que não possui janelas. Outro problema é

a utilização de telhas metálicas na cobertura que provoca no último pavimento um acréscimo considerável de temperatura, principalmente durante o Verão.

Por isso no edifício foi implantado um sistema de resfriamento central nas salas de aula do último pavimento e aparelhos de ar condicionado individuais, de menor capacidade, nas demais salas do prédio. Estes equipamentos despendem um grande consumo de energia, porém, não atendem a demanda atual, apresentando defeitos periodicamente.

2.3 – METODOLOGIA

Após a escolha de um local de estudo desenvolveu-se uma metodologia para avaliar as condições de conforto térmico.

A avaliação iniciou-se com um estudo da ação do Sol no prédio. Construiu-se o Diagrama Solar para a cidade de Guaratinguetá o que possibilitou a determinação da quantidade de horas de Sol em cada uma das fachadas do prédio.

Avaliando as condições de cada uma das fachadas percebeu-se que as faces noroeste e sudoeste sofrem grande insolação no período da tarde em todas as estações do ano. No entanto, a fachada sudoeste faz divisa com o Bloco II, o qual faz o sombreamento de algumas áreas desta fachada, tornando os ambientes termicamente confortáveis. A fachada noroeste é pequena, sem janelas de vidro, com apenas uma porta no primeiro pavimento.

Nas faces sudeste e nordeste a ação do Sol é intensa no período da manhã, se estendendo até o início da tarde. Assim, a fachada nordeste é a que sofre a maior insolação durante todo o ano pois não possui nenhum elemento construtivo que a proteja dos raios solares que atinge as salas de aula, de professores e laboratórios. A face sudeste não é tão problemática já que é composta em sua maior parte por áreas livres de passagem e escadas. Somente uma pequena sala possui uma parede nesta fachada.

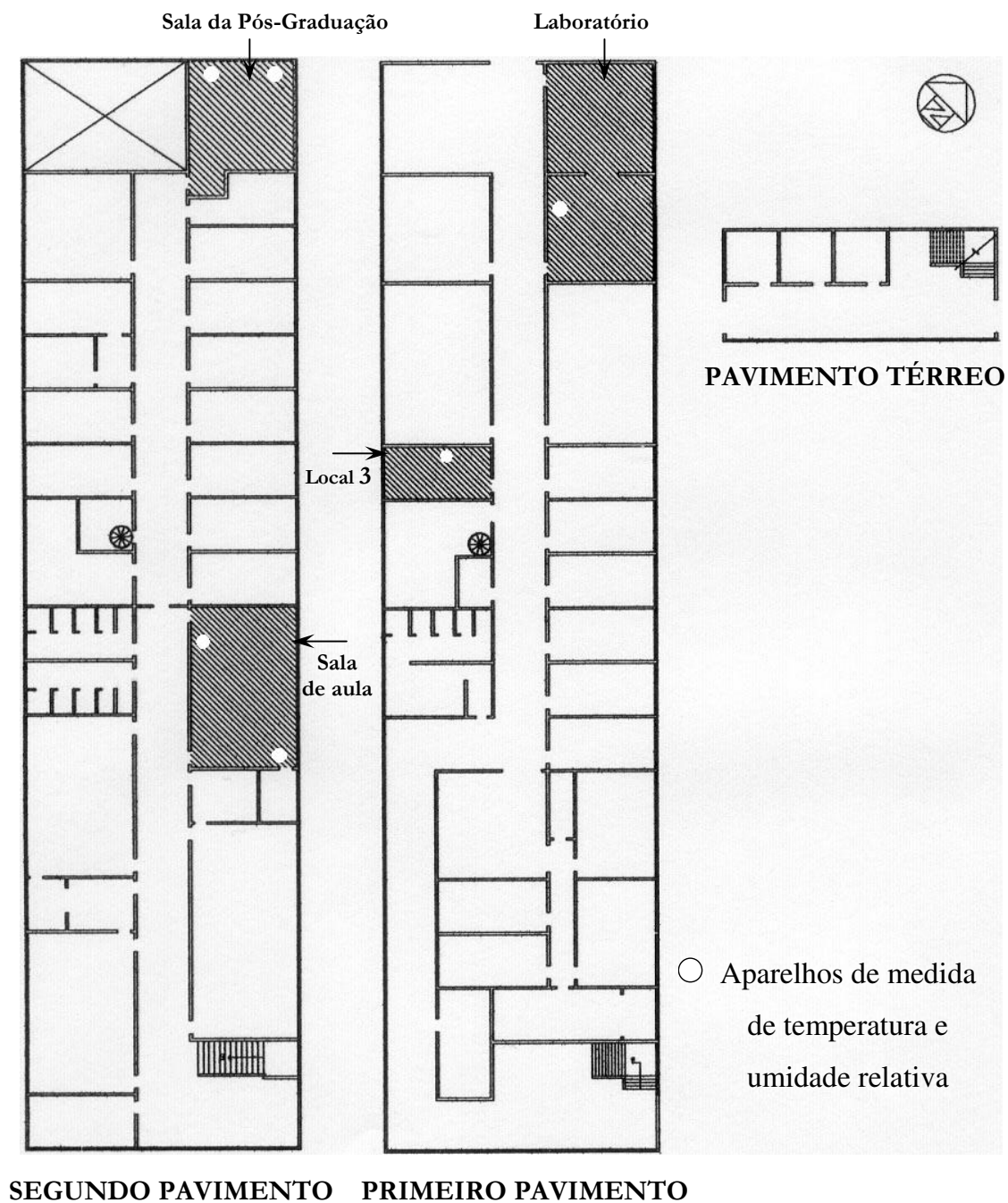


Figura 7 - Planta Baixa do Bloco I – Escala 1:100

Foi escolhida uma sala específica que representasse a fachada nordeste para efetuar-se os cálculos, gráficos e diagramas. O local escolhido foi a sala da Pós-Graduação que possui sua maior extensão na face nordeste e ainda possui divisa com a face noroeste que, segundo o diagrama solar, recebe intensa insolação durante todo o ano. A sala da pós-graduação encontra-se indicada na figura 7.

Construiu-se também o Diagrama Anual, para a cidade de Guaratinguetá, com as curvas de nascente e poente do Sol para as diversas estações do ano.

Um Diagrama de Manchas de Sol foi construído para cada uma das estações, demonstrando a entrada dos raios de Sol dentro da sala da pós-graduação, na face nordeste.

Neste estudo percebeu-se a necessidade de se coletar dados de temperatura e umidade relativa dentro de alguns ambientes do Bloco I durante as estações do ano. O objetivo das medições é avaliar a edificação em sua condição real de uso, ou seja, como os materiais empregados em sua estrutura reagem às variações térmicas.

A partir desta coleta de dados realizou-se uma análise comparativa. Elaborou-se alguns gráficos representativos que apresentam a situação mais crítica, em termos de conforto térmico, nas estações climáticas.

Calculou-se também a carga térmica dos ambientes e procedeu-se ainda uma estimativa do consumo de energia elétrica caso fossem instalados condicionadores de ar nestas salas.

Ao final da pesquisa obteve-se uma descrição térmica das salas em função do clima externo e, a partir desta análise, pode-se avaliar os demais ambientes do prédio quanto ao conforto térmico.

Capítulo 3 – ORIENTAÇÃO SOLAR DOS EDIFÍCIOS

3.1 - INTRODUÇÃO

O estudo da orientação solar dos edifícios consiste na seqüência de trabalhos que se desenvolvem com a finalidade de se determinar durante o ano:

- a) o modo pelo qual o Sol castiga cada uma das fachadas de um prédio;
- b) a maneira pela qual os raios solares penetram em seu interior;
- c) a quantidade de calor que recebe cada uma das fachadas.

(OBERDING,1999)

A posição do Sol no céu é determinada por dois ângulos: o azimute e a altura conforme ilustra a Figura 8.

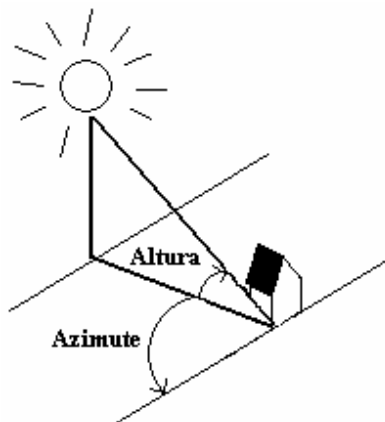


Figura 8 – Altura e Azimute Solar

CARVALHO define que azimute é o valor do ângulo diedro que forma o plano que contém o Sol com o plano Norte-Sul (Figura 8). Neste mesmo sistema, chama-se altura a distância angular desde o plano da cidade até o Sol.

Para cada estação do ano tem-se períodos de Sol maiores ou menores e com incidência de ângulos diferentes. Considerando-se o conceito de “trajetória aparente”, ou seja, considerando que o Sol é que se move ao redor da Terra, tem-

se os diagramas solares que fornecem com exatidão a posição do Sol numa determinada hora de um determinado dia do ano.

Os diagramas solares são uma projeção da trajetória solar num plano. Normalmente, faz-se somente três curvas correspondentes aos dias mais típicos do ano: os solstícios e os equinócios. Com esses gráficos pode-se fazer um estudo das alterações da trajetória aparente do Sol e seus efeitos durante as estações do ano.

Nos equinócios de Primavera e Outono os raios de sol, ao meio dia, estão a 90° acima do horizonte no Equador, formando um ângulo de 90° com o eixo da Terra e nenhum dos pólos se encontra inclinado em direção ao Sol. O dia e a noite são iguais em horas.

No Solstício de Verão o Sol se aproxima ao máximo da Terra, os raios solares são ortogonais ao Trópico de Capricórnio. No Solstício de Inverno é o dia em que o Sol está mais distante, ocorrendo o efeito máximo de inclinação: $23^\circ 27'$. Ao meio dia os raios solares são ortogonais ao trópico de Câncer.

Nos demais dias do ano o Sol varia entre os dois solstícios. Desta forma, as cartas solares são construídas para estas três situações.

3.2 – DIAGRAMA SOLAR

Segundo CARVALHO, uma pessoa situada em uma localidade equatorial verá o Sol no céu percorrer a distância de leste para o oeste, descrevendo, em cada dia, um semicírculo completo e perpendicular ao plano da cidade. Em qualquer dia do ano o Sol permanecerá sempre 12 horas acima do horizonte.

No entanto, ao descer pelo meridiano geográfico na direção sul, as projeções dos caminhos do Sol serão arcos de elipses de excentricidade bem maior do que zero, que estender-se-ão pelo plano da cidade com os parâmetros paralelos à linha Norte-Sul. Nesta latitude os dias já não são mais iguais às noites, a não ser nos dias dos equinócios.(CARVALHO, 1970)

O diagrama solar é a representação desses arcos de elipse paralelos à linha Norte-Sul que descrevem a trajetória do Sol em qualquer dia do ano desejado. Conforme ilustra a Figura 9, o diagrama deve ser construído para quatro datas importantes que representam as quatro estações do ano, são os dois equinócios e os dois solstícios.

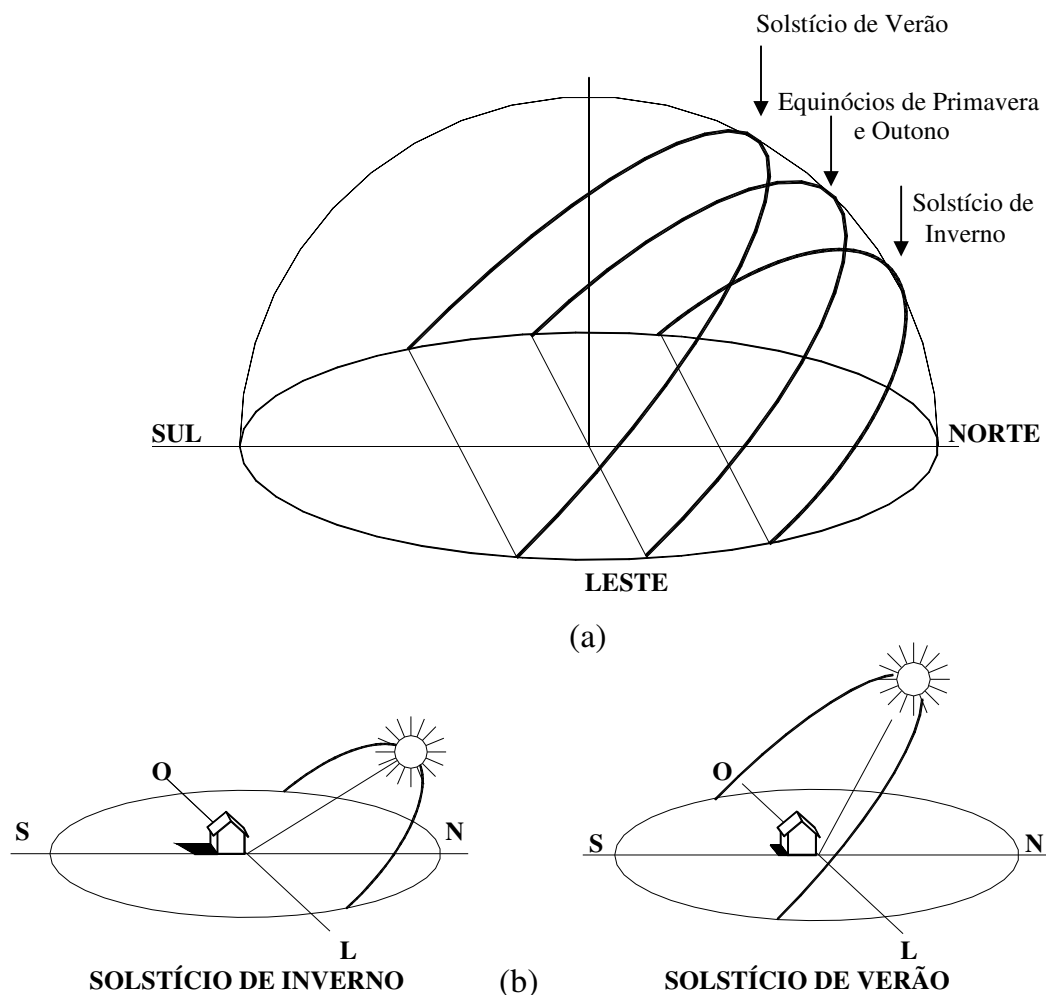


Figura 9 – (a) Representação do Diagrama Solar;
(b) Trajetória e alturas do Sol nos Solstícios.

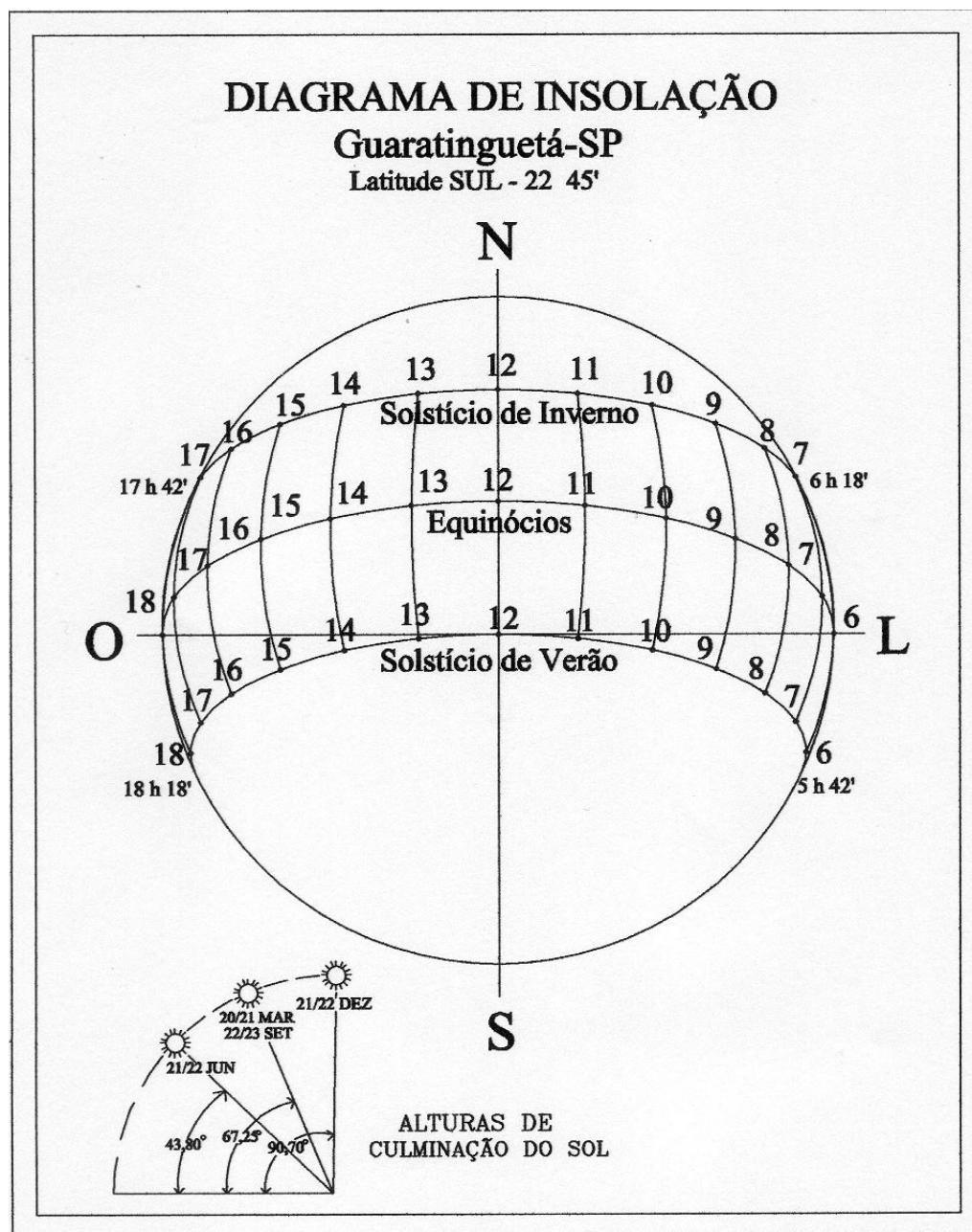


Figura 10 – Diagrama Solar para a cidade de Guaratinguetá – SP

No Brasil os equinócios acontecem nos dias 21 de Março (Outono) e 22 de Setembro (Primavera), o Solstício de Verão no dia 21 de Dezembro, o dia mais longo do ano, e o Solstício de Inverno no dia 21 de Junho, o dia mais curto do ano.

Para um estudo de insolação construiu-se o Diagrama Solar para a cidade de Guaratinguetá. A construção de um diagrama Solar se apóia inteiramente em um problema de geometria descritiva, que consiste na projeção de arcos de círculos paralelos e inclinados sobre um plano horizontal.

Assim, definindo a latitude Sul $22^{\circ} 45'$ da cidade de Guaratinguetá, construiu-se o Diagrama Solar (Figura 10) e determinou-se as alturas de culminação do Sol para os solstícios e equinócios.

Graficamente obteve-se que no Solstício de Verão o Sol nasce às 5 horas e 42 minutos e se põe às 18 horas e 18 minutos, no Solstício de Verão o Sol nasce às 6 horas e 18 minutos e se põe às 17 horas e 42 minutos. Nos Equinócios de Primavera e Outono o Sol nasce sempre às 6 horas da manhã e se põe às 18 horas.

As alturas de culminação máxima definidas através do diagrama, ao meio dia, foram de $90,70^{\circ}$ para o Solstício de Verão e de $43,80^{\circ}$ para o Solstício de Inverno. Nos Equinócios de Primavera e Outono os raios de sol, ao meio dia, formam um ângulo de $67,25^{\circ}$ com o eixo da Terra.

3.3 – DIAGRAMA ANUAL

A partir da construção do diagrama solar da cidade de estudo, construiu-se o diagrama anual apresentado na Figura 11.

Marcam-se nos eixos das abscissas os doze meses do ano e nas ordenadas as horas do dia. Do diagrama solar retiram-se os valores das horas do nascer e pôr do Sol para cada mês do ano e as marcam nos eixos das ordenadas. Uma vez unidos estes pontos teremos duas curvas, uma superior (curva do nascente), e uma inferior (curva do poente). Então os trechos de ordenadas, compreendidos entre

estas duas, representarão o número de horas de Sol dos vários dias do ano. (CARVALHO, 1970)

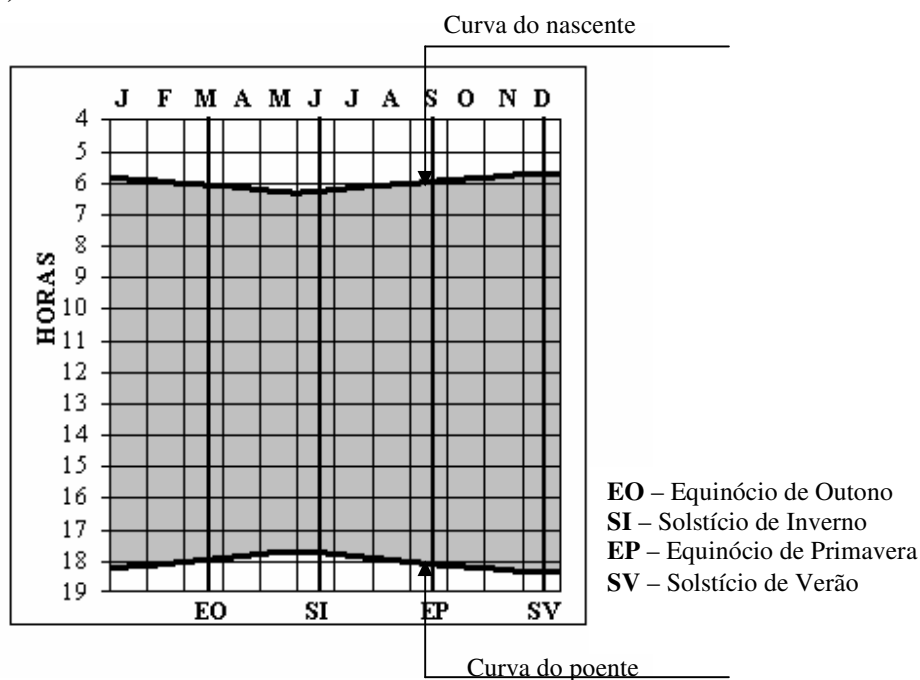


Figura 11 – Diagrama Anual para Guaratinguetá – SP.

Pode-se observar que os dias no mês de junho são menores que os outros dias do ano. A quantidade de horas de Sol vai crescendo a medida que se aproxima dos equinócios, tendo seu máximo no Verão, quando os dias são mais longos.

3.4 – DETERMINAÇÃO DAS HORAS DE INSOLAÇÃO NAS FACHADAS

A quantidade de horas de insolação de uma fachada representa diretamente o ganho de calor que esta fachada sofre durante o dia, em cada uma das estações do ano. Em função do percurso do Sol, de modo geral um ou dois lados do edifício estão naturalmente na sombra, e os outros lados, além do telhado, ficam expostos à radiação solar. (HERTZ, 1998)

Assim, com o Diagrama Solar impresso em um papel tipo transparência, determinou-se a quantidade de horas de Sol que cada uma das fachadas recebe nos solstícios e equinócios.

Foi necessário posicionar o diagrama em relação a direção Norte da planta do prédio em escala e quantificar as horas de Sol em cada uma das fachadas. As tabelas 1 e 2 demonstram a insolação em cada uma das fachadas.

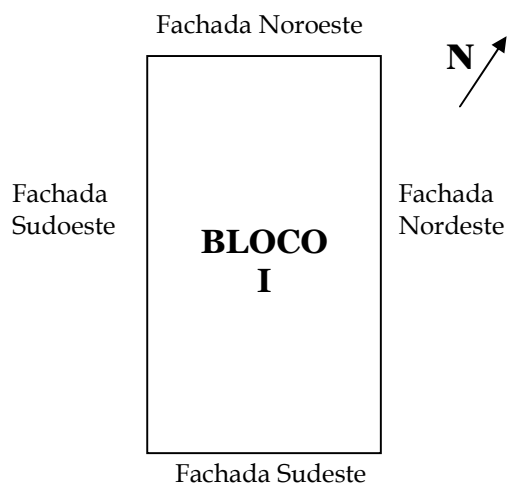


FIGURA 12 – Esquema de Orientação do Prédio

TABELA 1 – Horário de início e término de insolação nas fachadas

	FACHADAS							
	Nordeste		Noroeste		Sudoeste		Sudeste	
	Início	Término	Início	Término	Início	Término	Início	Término
Solstício de Verão	5h42'	12h	12h	18h18'	12h	18h18'	5h42'	12h
Equinócios	6h	13h30'	10h30'	18h	13h30'	18h	6h	10h30'
Solstício de Inverno	6h18'	14h45'	9h	17h42'	15h	17h42'	6h18'	9h15'

TABELA 2 – Quantidade de horas de sol nas fachadas

	FACHADAS			
	Nordeste	Noroeste	Sudoeste	Sudeste
Solstício de Verão	6h 18 min Manhã	6h 18 min Tarde	6h 18 min Tarde	6h 18 min Manhã
Equinócios	7h 30 min Manhã	7h 30 min Manhã/Tarde	4h 30 min Tarde	4h 30 min Manhã
Solstício de Inverno	8h 27 min Manhã/Tarde	8h 42 min Manhã/Tarde	2h 42 min Tarde	2h 57 min Manhã

As faces Noroeste e Sudoeste são as mais prejudicadas pois sofrem grande insolação no período da tarde em todas as estações do ano. A fachada Sudoeste se alonga em toda a extensão do prédio com muitas janelas de vidro, que comportam salas de aula, de professores e laboratórios.

A fachada Noroeste é pequena, sem janelas, com apenas uma porta no primeiro pavimento. No entanto, a ação do Sol nesta fachada afeta os laboratórios e salas em seu interior.

Deve-se salientar que embora a face Nordeste receba apenas o sol da manhã, este se propaga até ao meio-dia no solstício de Verão, ou seja, tem sua incidência no pico de culminação, o que gera desconforto térmico.

3.5 – DIAGRAMA DE MANCHAS DE SOL

O controle da radiação direta sobre os prédios é primordial nos estudos de conforto térmico, principalmente no que se refere à entrada destes raios solares dentro dos ambientes. (NUNES, 1991)

Além do aquecimento, os raios diretos do Sol, se não forem bem controlados, podem causar o ofuscamento dentro dos ambientes. Os raios solares desgastam alguns tipos de tecidos, madeira e a maioria dos equipamentos eletrônicos.

Devido a grande importância de se reduzir o efeito do Sol no interior da construção deve-se buscar soluções arquitetônicas que bloqueiem os raios solares. A forma e a proporção exata dos elementos arquitetônicos que protegem as aberturas do edifício contra os raios solares tem muito a ver com o ângulo da altura e o azimute do Sol em relação à orientação das janelas.

Assim, com a aplicação dos azimutes e das alturas de Sol obtidas no diagrama solar de Guaratinguetá, construiu-se o diagrama de manchas de Sol para o ambiente em estudo, em cada uma das estações do ano. Trata-se de um processo geométrico que define as áreas que o Sol atinge dentro do ambiente.

Em razão do seu movimento, o Sol têm as suas alturas aumentadas à medida que se aproxima do plano Norte-Sul, local onde ocorre a sua culminação sempre ao meio-dia. Pela Figura 9, vê-se que há uma simetria no processo de desenvolvimento deste movimento aparente, de forma que os azimutes são iguais entre si, muito embora possam diferir em valor das alturas.

As manchas de Sol correspondem a área que o Sol atinge dentro do ambiente durante todo o tempo que este incide sobre a fachada.

O diagrama é apresentado sobre a planta do local em escala e sobre as projeções das paredes do ambiente no plano do piso. Em nosso estudo apresentam-se as paredes esquerda e direita à janela e a parede posterior à janela.

As manchas de Sol foram hachuradas, indicando-se o horário correspondente. Nos pontos de início e término da janela demonstra-se os azimutes retirados do diagrama solar, ou seja, os ângulos de incidência do Sol em relação a direção Norte-Sul. As alturas de Sol em cada um dos horários de insolação são apresentadas na tabela 3.

Os diagramas foram construídos a partir das oito horas da manhã pois considerou-se que é o horário que a ação do Sol começa a ser representativa em nossa região.

TABELA 3 – Ângulos de altura do sol, em diversos horários do dia, de acordo com as estações climáticas.

ALTURAS DE SOL		
ESTAÇÕES CLIMÁTICAS	HORÁRIO	ÂNGULO (°C)
Solstício de Verão	8:00	35,32
	9:00	49,00
	10:00	62,50
	11:00	75,00
	12:00	90,70
Equinócios	8:00	28,30
	9:00	40,80
	10:00	52,70
	11:00	62,40
	12:00	67,30
Solstício de Inverno	8:00	15,80
	9:00	26,17
	10:00	32,00
	11:00	41,12
	12:00	43,80
	13:00	41,12
	14:00	32,00

As figuras 13, 14 e 15 apresentam os diagramas de manchas de Sol para o Solstício de Inverno, Solstício de Verão e Equinócio. Estes foram construídos para a sala da Pós-Graduação do Bloco I e representa a ação interna do Sol dentro dos ambientes da fachada nordeste.

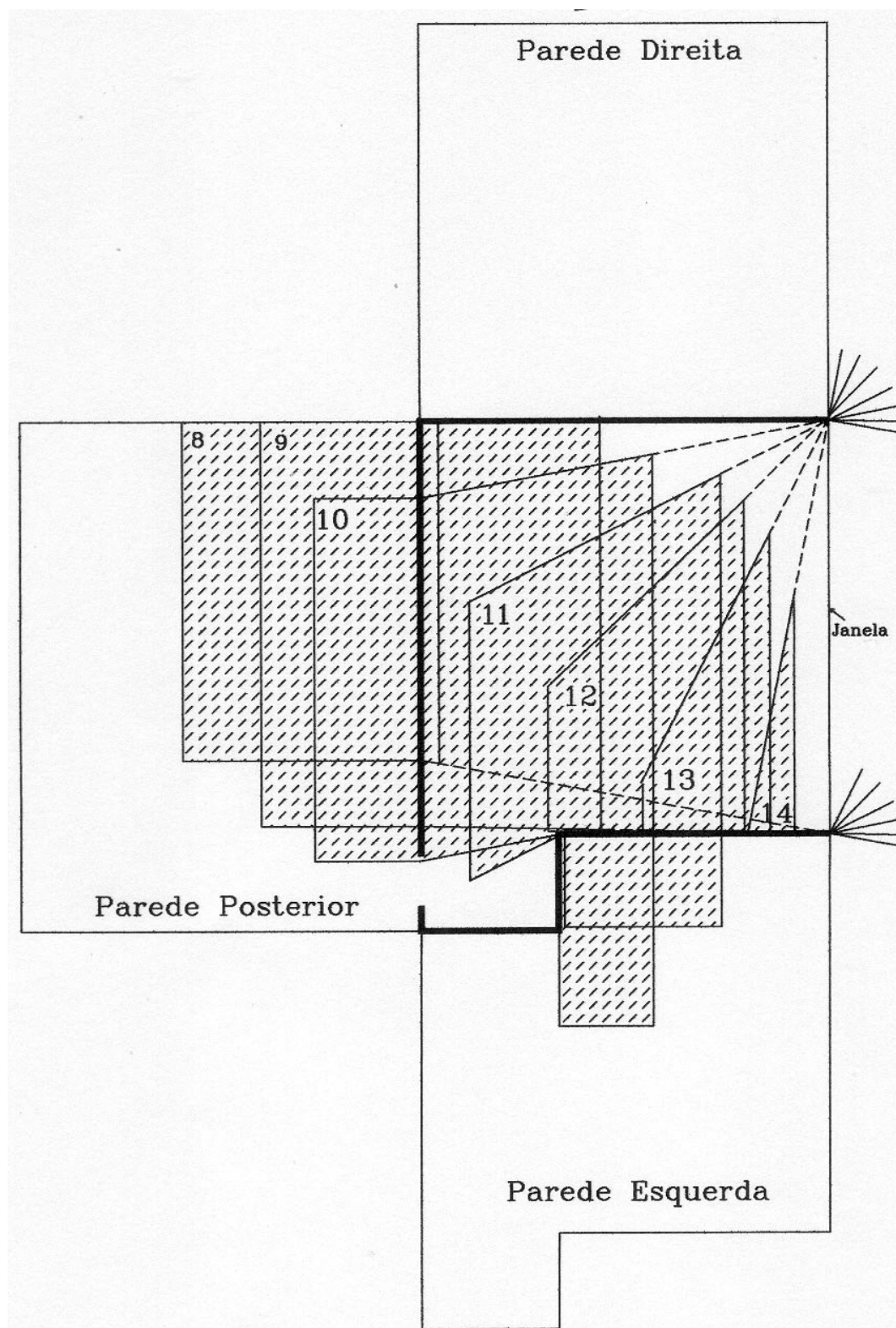


Figura 13 – Diagrama de Manchas de Sol no Solstício de Inverno
Escala 1:100

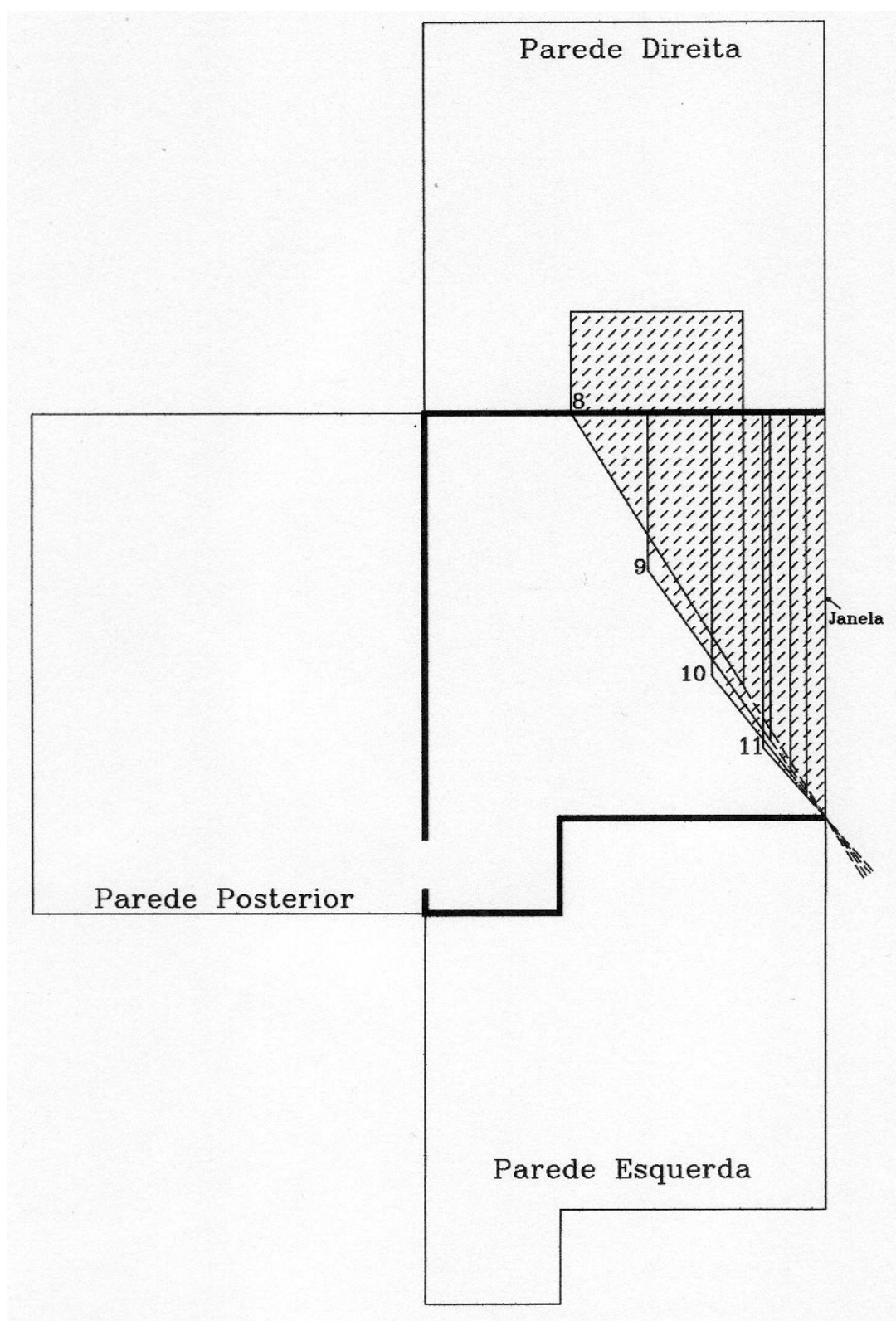


Figura 14 – Diagrama de Manchas de Sol no Solstício de Verão
Escala 1:100

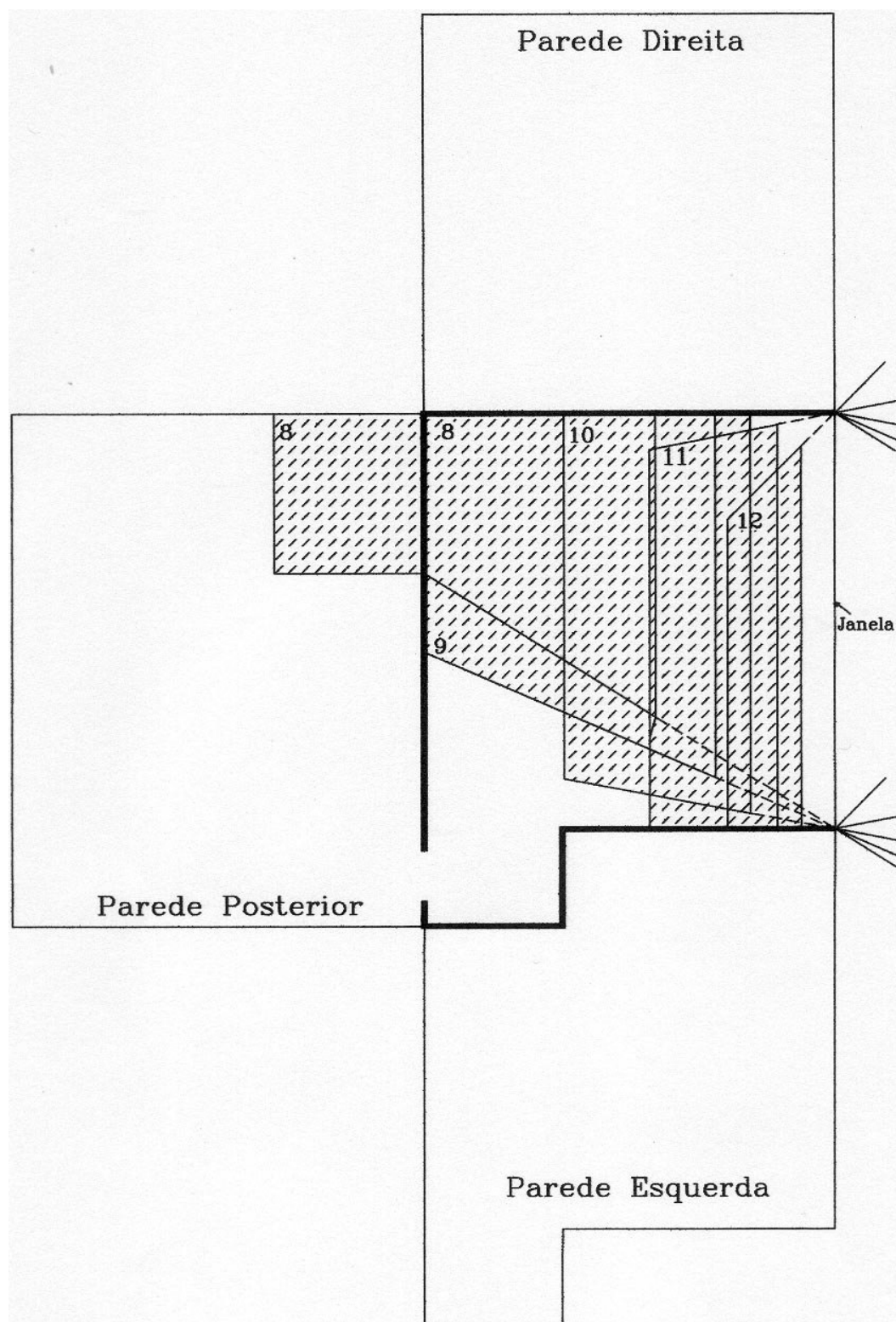


Figura 15 – Diagrama de Manchas de Sol no Equinócio
Escala 1:100

3.5.1 – Análise dos Diagramas de Manchas de Sol

De acordo com a Tabela 1 a insolação na fachada nordeste tem seu início desde o nascer do Sol nas quatro estações do ano. No entanto, a duração das horas de Sol varia de acordo com a estação climática.

No solstício de Inverno o Sol incide sobre a fachada nordeste até às 14 horas. O diagrama de manchas de Sol demonstra que o Sol atinge a parede posterior e o piso da sala das 8h até às 10h da manhã.

A partir das 11h os raios solares incidem sobre o piso e em algumas pequenas áreas da parede esquerda. Assim, uma grande área do piso sofre a ação do Sol durante toda a manhã e início de tarde (14 horas) durante o Verão.

Durante o Inverno as alturas de Sol variam entre $15,8^\circ$ e 32° conforme demonstra a Tabela 3. Tais alturas beneficiam a entrada dos raios solares nas fachadas voltadas para nordeste.

No Solstício de Verão os raios solares têm ângulos de altura com valores elevados entre 35° e $90,7^\circ$. No momento de culminação máxima, ao meio-dia, o Sol não mais penetra no ambiente pois encontra-se quase alinhado a parede nordeste.

O Diagrama de Manchas de Sol demonstra que entre às 8h e as 9h da manhã o Sol atinge a parede direita à janela. No restante da manhã as alturas de Sol direcionam os raios solares de forma que estes atingem apenas o piso da sala.

Nos equinócios as alturas de Sol apresentam valores intermediários entre o Inverno e o Verão, com valores entre 28° e 67° . Assim, uma grande área de Sol atinge toda a sala em estudo do início da manhã até ao meio-dia.

Às oito horas os raios solares incidem em uma pequena área da parede posterior à janela e uma grande área sobre o piso. No restante da manhã as áreas de Sol começam a diminuir e a incidir apenas sobre o piso da sala.

É importante ressaltar que, quando os raios solares incidem sobre a parede da sala que é branca, estes são refletidos para o ambiente, aumentando a quantidade de calor dentro da sala. Se todas as salas desta fachada sofrem um acúmulo de calor pelos raios solares que penetram dentro dos ambientes, o prédio como um todo terá uma carga térmica elevada, a ser retirada com os equipamentos de condicionamento de ar.

Capítulo 4 – ESTUDO DA TEMPERATURA E UMIDADE

4.1 – APRESENTAÇÃO

Medições foram realizadas no interior do edifício a partir de um aparelho eletrônico de coleta de dados “StowAway XTI e RH”, fabricado pela Onset Computer Corporation, que fornece dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa em intervalos de tempo pré-estabelecidos.

Definiu-se que os aparelhos eletrônicos registrassem dados de temperatura em um intervalo de tempo de trinta minutos, durante todo o período de estudo. Um terceiro aparelho foi colocado em área aberta para registrar a temperatura e umidade relativa externa.

O equipamento utiliza-se de um software que ligado, por um cabo próprio, em um computador pessoal, possibilita ver os dados dispostos em tabelas e gráficos.

O aparelho pode ser usado em áreas remotas ou em qualquer lugar que seja conveniente para se registrar medidas. Eles são ideais para serem envolvidos com estudos de campo, transporte monitorado, pesquisa geral, e ciência educacional, já que ele possui total confiabilidade nos dados obtidos quanto à precisão e valor. O tamanho pequeno faz com que o equipamento de coleta de dados seja ideal para ser aplicado em locais difíceis.

O equipamento tem capacidade para registrar 65.291 medidas, com uma gama operacional entre -40°C a $+75^{\circ}\text{C}$, desde que a água não se acumule no sensor. Para o registro de umidade relativa o sensor de umidade tem uma precisão de $\pm 3\%$ no intervalo de 0°C a 50°C .

4.2 - APLICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A coleta de dados tinha como objetivo inicial a avaliação térmica de apenas um ambiente representativo do prédio: a sala da pós-graduação.

No entanto, no decorrer da coleta registrou-se medidas de temperatura e umidade relativa em outros locais de interesse do prédio em estudo de forma a se obter uma descrição térmica de todo o edifício.

Vittorino (2000) recomenda que no posicionamento dos aparelhos dentro dos ambientes deve-se localizá-los longe de interferências que possam prejudicar a coleta de dados. Assim preocupou-se em não colocá-los sob a ação direta dos raios solares e distantes de condicionadores de ar e aberturas (portas e janelas).

Através das temperaturas e umidades externa e interna elaborou-se gráficos diários, com dados em intervalos de trinta minutos. Após uma criteriosa avaliação destes gráficos percebeu-se que as curvas apresentavam um mesmo formato durante uma estação climática, variando apenas de uma estação para outra.

Como forma de se otimizar este trabalho construiu-se gráficos compostos de curvas representativas da performance térmica dos ambientes em um dia representativo para cada estação climática. A bibliografia sugere que estes dias sejam os solstícios e os equinócios.

Objetivou-se assim o estudo dos dois solstícios e de um equinócio. Para tanto, foram coletados dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa de dezembro/2001 a julho/2002. Além destes dias representativos ainda se buscou a construção de outros gráficos de acordo com o posicionamento dos aparelhos. Estes locais de estudo são destacados na Planta do Bloco I na figura 7.

Nesta metodologia, o teste de confiabilidade dos dados é difícil de ser avaliada pois não existe maneira de se definir dois dias iguais, com as mesmas condições climáticas. Mesmo os solstícios e equinócios não são exatamente iguais em dois anos consecutivos.

Buscando-se assim uma avaliação, comparou-se os dados obtidos com dados meteorológicos obtidos de uma estação meteorológica do INPE existente no campus que registra medidas de temperatura e umidade relativa.

4.3 – RESULTADOS OBTIDOS

4.3.1 – Solstício de Verão

Durante o solstício de Verão o aparelho foi posicionado na sala da pós-graduação em dois locais diferentes (Local 1 e Local 2). Um terceiro ambiente foi escolhido para posicionar o aparelho em uma sala na face sudoeste, ou seja, a face oposta à nordeste.

Para o solstício de Verão obteve-se um pico de 34,1°C para a temperatura externa e de 32,9°C para a temperatura externa no Local 1. Na face oposta, o Local 3 apresentou um máximo de 29,5°C. Dentro da sala da pós-graduação ocorreu uma diferença de 0,5°C entre as temperaturas internas nos Locais 1 e 2. A figura 16 apresenta os gráficos referentes ao solstício de Verão.

Um outro período durante o Verão foi escolhido para se obter a variação térmica. Neste caso o aparelho foi posicionado em uma sala de aula do Bloco I em dois locais diferentes (Local 1 e Local 2). Um outro aparelho foi ainda posicionado na face sudoeste (Local 3).

Nesta situação ocorreu um máximo de 35°C de temperatura externa e de 32,7°C de temperatura interna. A temperatura no Local 3 (face sudoeste) apresentou um máximo de 30,3°C, estando sempre com temperaturas inferiores as demais temperatura internas. Observou-se uma diferença de 0,5°C entre os Locais 1 e 2 referente às temperaturas internas na sala de aula.

Gráficos de umidade relativa durante o Verão foram construídos para os mesmos locais onde analisou-se as temperaturas. Observa-se que as umidades relativas para o Verão são mais elevadas, apresentando períodos com chuva, quando a umidade relativa atinge 100%. Nos dois gráficos, verifica-se que a umidade apresentou valores maiores no ambiente que se localiza na fachada sudoeste (Local 3).

Os valores de umidade relativa no solstício de Verão variaram de 45% a 100% em área aberta e entre 45% e 80% no interior dos ambientes.

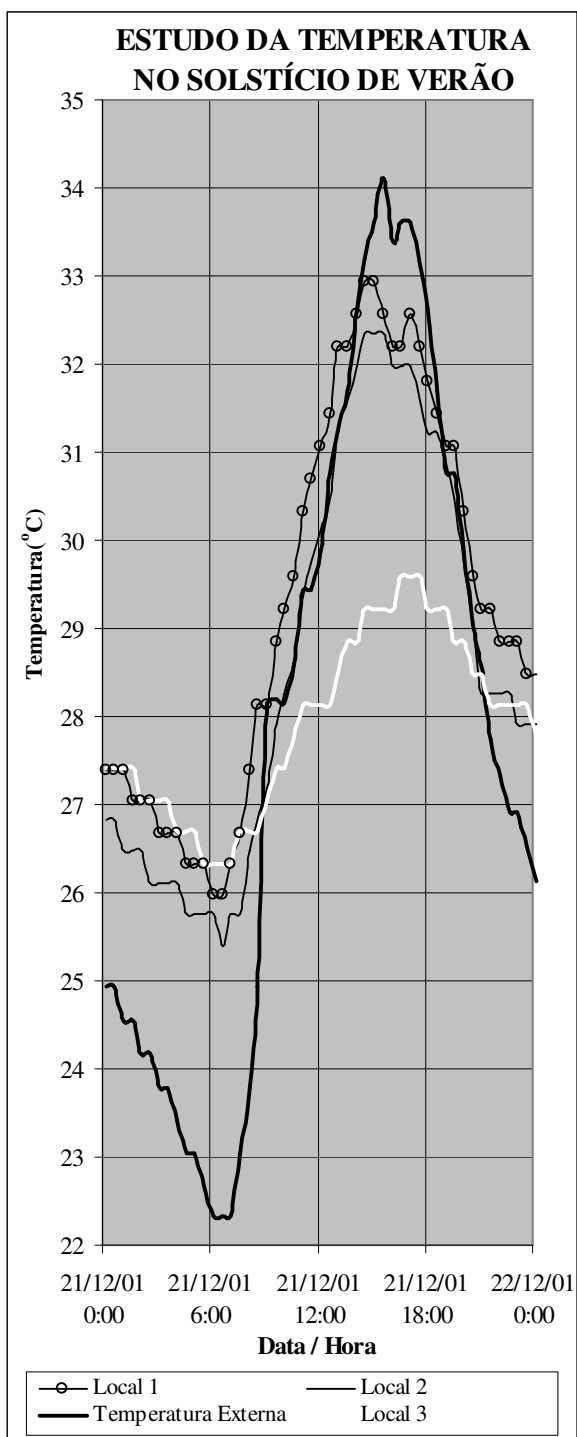


Figura 16 – Gráfico referente ao estudo da temperatura
no Solstício de Verão.
Guaratinguetá – SP

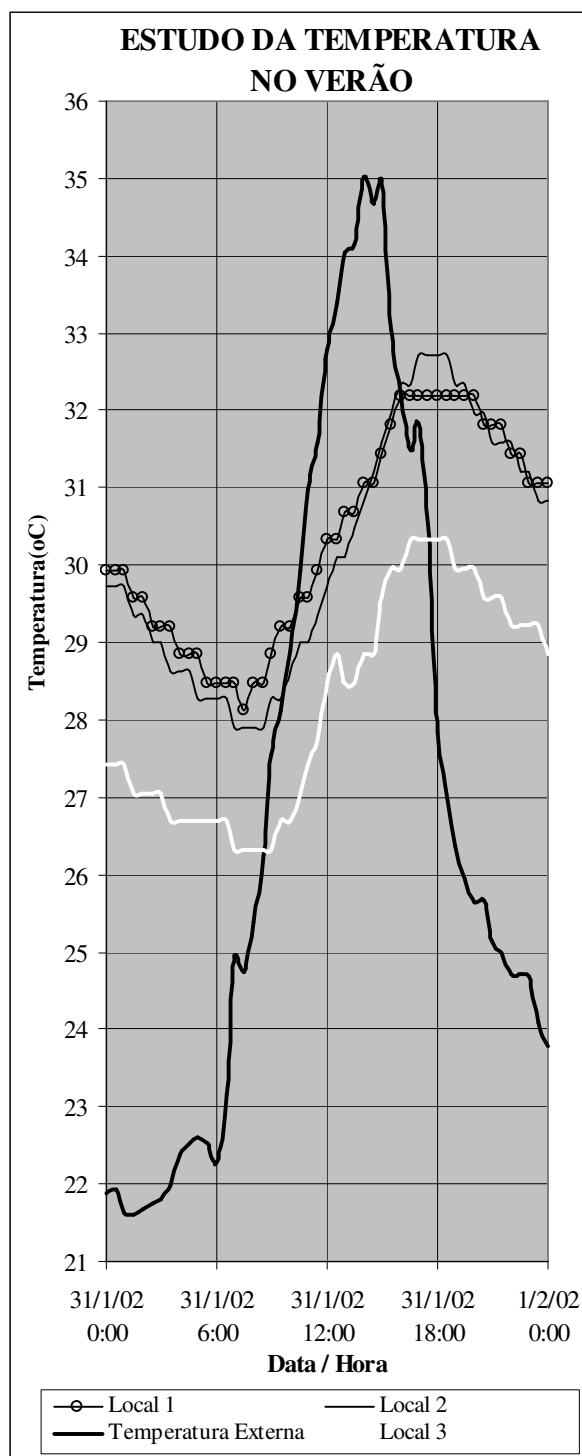


Figura 17 – Gráfico referente ao estudo da temperatura durante o Verão.
Guaratinguetá – SP

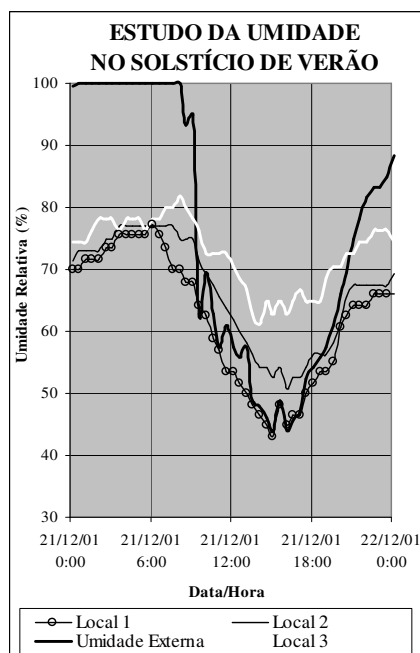


Figura 18 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa no Solstício de Verão Guaratinguetá – SP

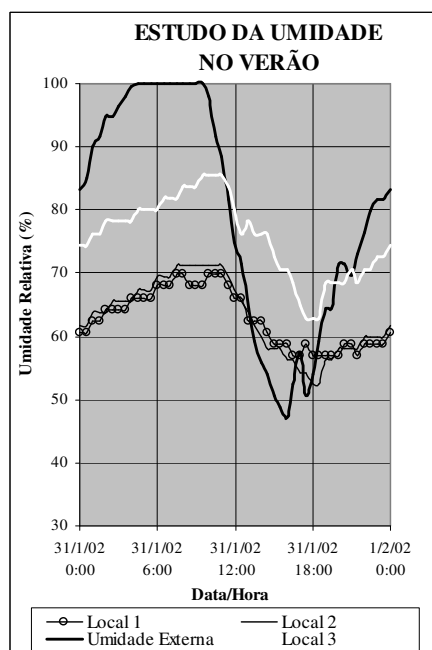


Figura 19 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa durante o Verão Guaratinguetá – SP

4.3.2 – Equinócio

Durante o período de coleta de dados foi possível avaliar o equinócio de Outono no dia 21 de março de 2002. Neste dia os aparelhos foram posicionados na sala da pós-graduação e em uma outra sala na face sudoeste (Local 3).

No equinócio as amplitudes térmicas variaram entre 18,3°C e 30,1°C. Dentro do ambiente de estudo a temperatura interna variou de 24,3°C e 27,4°C. No Local 3 a temperatura variou de 24,9°C e 26,7°C. Nos Locais 1 e 2, dentro da sala da pós-graduação a variação entre as temperaturas foi muito pequena.

Durante o Outono posicionou-se os aparelhos de coleta de dados no laboratório que encontra-se localizado abaixo da sala da pós-graduação. Foram colocados dois aparelhos dentro do laboratório em locais diferentes conforme ilustra a figura 7. Como as temperaturas internas nesta estação são mais amenas, decidiu-se por não se monitorar o Local 3.

Neste período as temperaturas externas variaram entre 12°C e 24,5°C. Internamente a temperatura esteve entre 21,3°C e 24°C, sendo que a temperatura no Local 2 esteve sempre superior ao Local 1.

A umidade relativa externa apresentou valores elevados entre 72% e 100% no equinócio. Dentro dos ambientes a umidade esteve entre 74% e 90%.

No outro gráfico referente a um dia característico do Outono as umidades relativas externas estiveram entre 40% e 90%, enquanto que internamente variaram entre 42% e 61%.

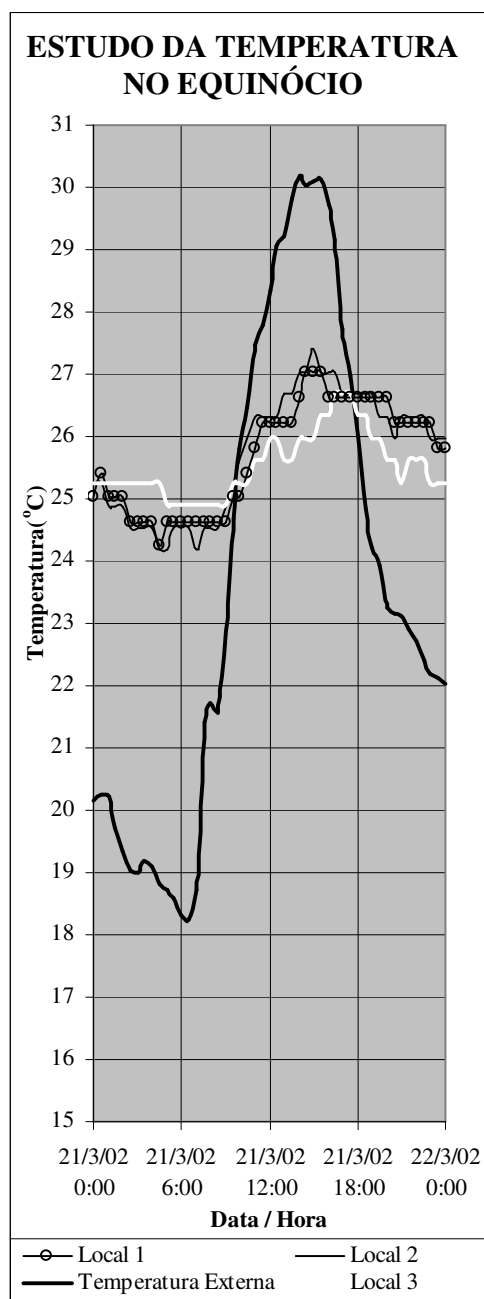


Figura 20 – Gráfico referente ao estudo da temperatura no Equinócio
Guaratinguetá – SP

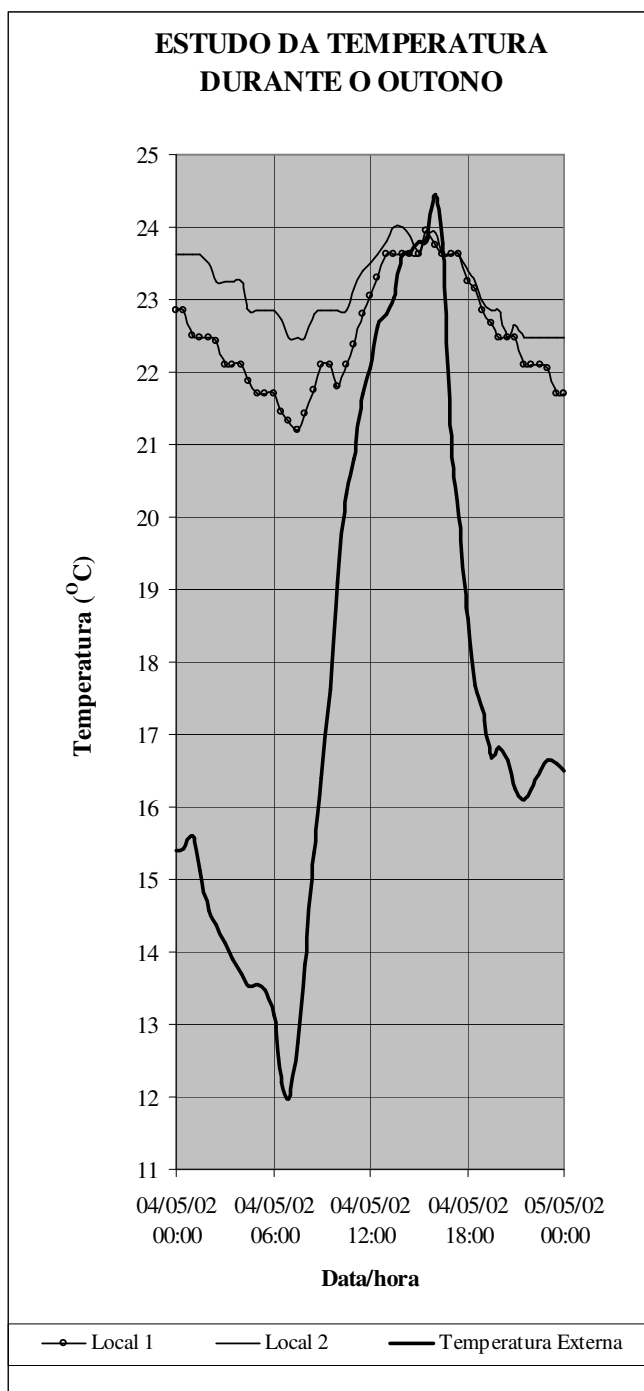


Figura 21 – Gráfico referente ao estudo da temperatura durante o Outono
Guaratinguetá – SP

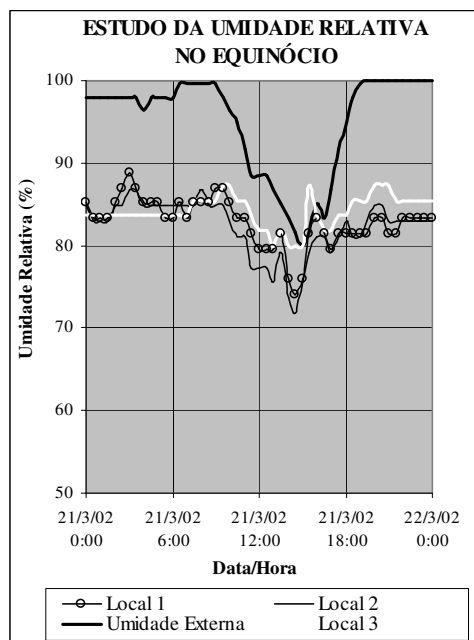


Figura 22 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa no Equinócio
Guaratinguetá – SP

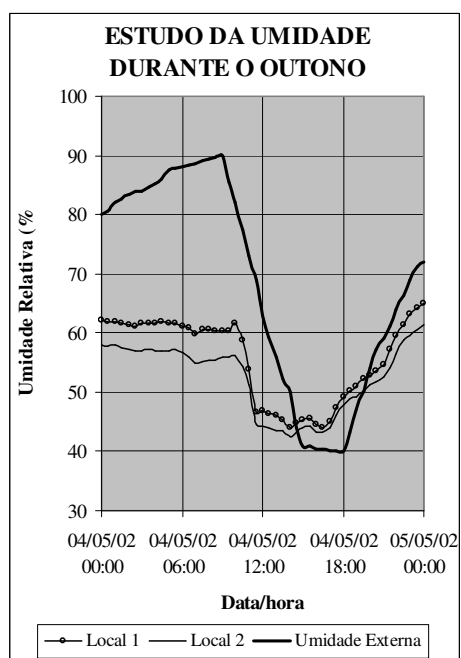


Figura 23 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa durante o Outono
Guaratinguetá – SP

4.3.3 – Solstício de Inverno

No solstício de Inverno os aparelhos foram posicionados na sala da pós-graduação nos dois locais referenciados na figura 7.

Como no Inverno as temperaturas são menores decidiu-se que não seria necessário registrar medidas no Local 3. Além disso, o monitoramento de outro local durante o Inverno não traria um grande aproveitamento já que o foco de nosso estudo é o excesso de calor do ambiente em relação a insolação e aos elementos construtivos.

As temperaturas externas variaram entre 12°C e 26°C durante o dia do solstício gerando uma variação de 16°C a 25°C internamente. O Local 1 apresentou temperaturas maiores que o Local 2 em aproximadamente 2°C.

As umidades relativas demonstraram períodos de chuva no solstício com porcentagens variando de 60% a 100% externamente. As umidades relativas internas variaram de 65% a 95%.

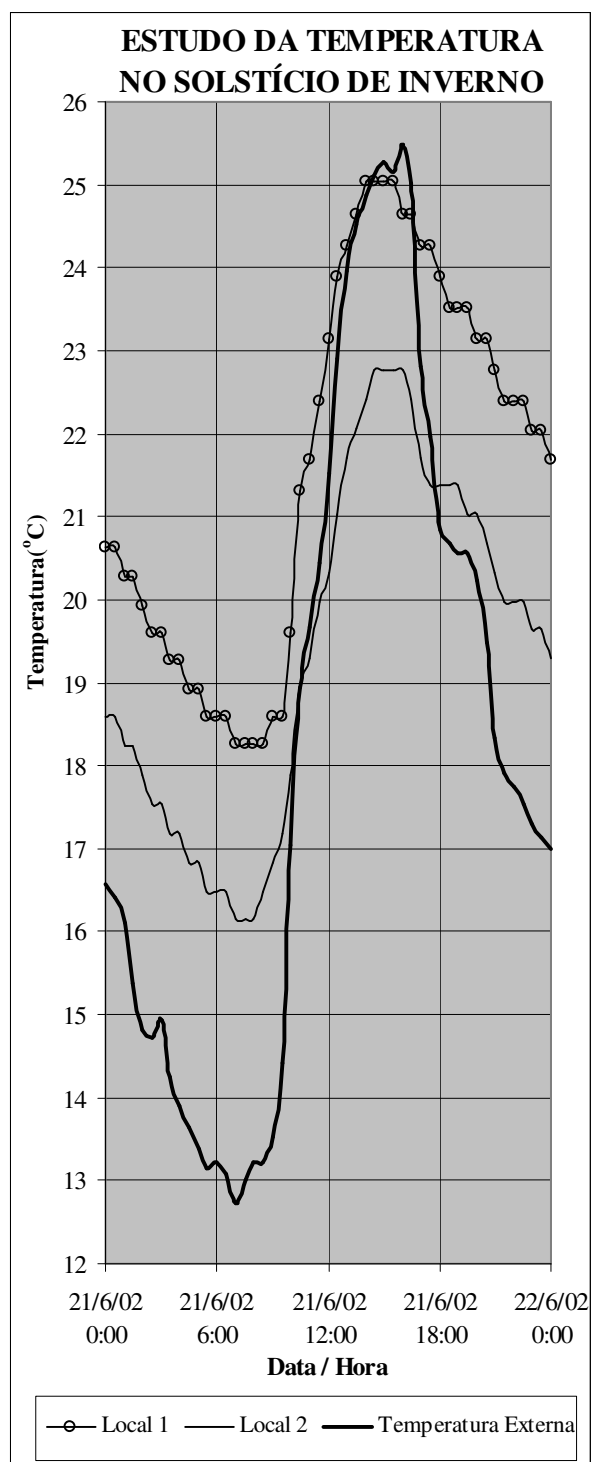


Figura 24 – Gráfico referente ao estudo da temperatura
no Solstício de Inverno
Guaratinguetá – SP

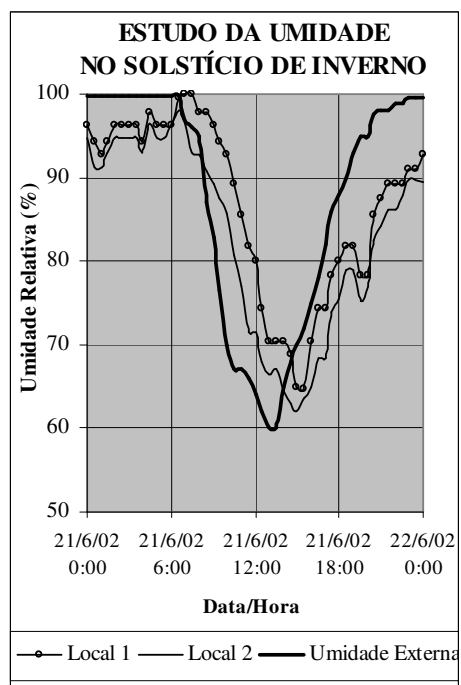


Figura 25 – Gráfico referente ao estudo da umidade relativa
no Solstício de Inverno
Guaratinguetá – SP

Capítulo 5 – CARGA TÉRMICA DOS AMBIENTES EM ESTUDO

Carga Térmica é a quantidade de calor que deve ser adicionada ou retirada, causando o aquecimento ou o resfriamento do ambiente, a fim de manter as condições de conforto desejadas. (SILVA,1997)

Para um levantamento da carga térmica do prédio em estudo, recorreu-se a norma ABNT/NB-10 (1978), buscando-se obter um valor mais próximo possível da condição real do prédio.

Calculou-se a carga térmica individualmente para cada recinto, considerando as condições mais desfavoráveis, ou seja, o dia mais quente do Verão e o dia mais frio do Inverno observando os itens de temperatura e umidade relativa. Sendo assim, tornou-se desnecessário o cálculo para a Primavera e Outono, quando os dias são naturalmente agradáveis.

Para se definir as condições de conforto desejadas foi necessário conhecer a variação de temperatura e umidade relativa da cidade ao longo dos anos. Este histórico climático foi levantado no Ministério da Aeronáutica, referente a dados dos últimos trinta anos de Guaratinguetá, período este que garantiu confiabilidade nos dados.

No cálculo da carga térmica considerou-se as parcelas de contribuição emitidas pelas pessoas, lâmpadas e equipamentos.

Adicionou-se também a emissão de calor por insolação e por condução nas diversas superfícies (paredes externas e internas, áreas dos vidros das janelas, a cobertura do prédio, o piso e as portas).

Para o cálculo do calor (Q) aplicou-se a equação clássica Eq. (1):

$$Q = k.S. \Delta\theta \quad (1)$$

sendo Q – calor por condução ou insolação nas superfícies [kcal / h]

k – coeficiente global de transmissão de calor [kcal / m² h °C]

S – área da superfície [m²]

$\Delta\theta$ – diferença de temperatura [° C]

A diferença de temperatura $\Delta\theta$ é a diferença entre a temperatura exterior e a interior que se deseje.

Para calcular o calor emitido pelas pessoas, multiplica-se a quantidade de usuários existentes no ambiente por um determinado valor extraído da norma ABNT/NB-10 (1978), sendo que cada indivíduo contribui com um determinado valor em função da temperatura interna do ambiente e da atividade física desenvolvida.

O calor liberado pelas lâmpadas foi obtido através da multiplicação da área iluminada pela potência dissipada pelas lâmpadas. Adicionou-se também a este cálculo o efeito do reator, uma vez que nos locais a iluminação é fluorescente.

A parcela referente ao calor devido aos equipamentos foi obtida a partir de um valor extraído da norma ABNT/NB-10 (1978) que, multiplicado pela potência dos equipamentos, determinou a quantidade de calor. Em alguns casos como para a máquina frezadora e o torno, o rendimento do motor também foi considerado.

Após o cálculo de cada uma das parcelas de ganho ou perda de calor por fontes externas e internas, realizou-se o cálculo da carga térmica total, sendo uma para Verão e outra para Inverno.

A carga térmica foi calculada para alguns ambientes representativos do prédio: a sala da pós-graduação, um laboratório, uma sala de aula e uma sala na fachada sudoeste, locais estes onde realizou-se medidas de temperatura e umidade relativa.

A sala da pós-graduação é utilizada por apenas dois alunos de pós-graduação do departamento, não existindo nenhum equipamento em seu interior.

Possui faces nordeste e noroeste, iluminação fluorescente e uma área de 46 metros quadrados. A área de vidro na fachada nordeste é de 15,7 metros quadrados representando 77% da área total da fachada.

O laboratório escolhido para o cálculo foi o laboratório de Mecânica de Precisão indicado na figura 7. O laboratório possui faces nordeste e noroeste com uma área total de 86 metros quadrados. É utilizados principalmente por três técnicos mecânicos mas, em alguns ensaios mecânicos, pode ser utilizado por até 12 alunos. A iluminação é fluorescente.

Comporta algumas máquinas de grande potência que são um torno, uma máquina frezadora e uma máquina de eletroerosão. A área de vidro da face nordeste do laboratório representa 30% da área total da fachada.

A sala de aula nº5 possui capacidade para até 50 alunos. Este ambiente escolhido possui iluminação fluorescente em uma área de 84 metros quadrados. A sala apresenta fachada nordeste com uma área de vidro que representa 75% da área total da fachada.

O Local 3 escolhido trata-se de uma sala ocupada por dois técnicos do departamento. Apresenta uma parede na face sudoeste com uma janela de vidro com área de 4,2 metros quadrados. A área de vidro representa 47% da área total da fachada. A sala possui um computador e iluminação fluorescente.

A Tabela 4 indica os valores de carga térmica obtidos para os diversos ambientes. A carga térmica está apresentada em kJ/s (Joule/segundo) de acordo com o Sistema Internacional (SI).

Realizou-se uma estimativa do consumo de energia elétrica para alimentar a instalação de equipamentos que atendessem a carga térmica calculada, visando estabelecer o conforto térmico adequado para os ambientes.

Tabela 4. Valores de carga térmica para cada ambiente representativo

<i>Ambiente</i>	<i>Carga Térmica (kJ/s)</i>	
Sala da Pós-Graduação	VERÃO:	7,25
	INVERNO:	*
Laboratório	VERÃO:	37,2
	INVERNO:	14,45
Sala de Aula	VERÃO:	25,43
	INVERNO:	5,24
Local 3	VERÃO:	4,20
	INVERNO:	*

* Sendo o valor da carga térmica de Inverno muito pequeno ou negativo, este foi desconsiderado.

A partir do valor de carga térmica encontrado considerou-se as condições psicrométricas dos ambientes, possibilitando-se definir o equipamento, comercialmente disponível, que atendesse a demanda. A tabela 5 define os valores de kWh (Watts.hora) instalados para atender a carga térmica de cada um dos ambientes.

Tabela 5. Valores de estimativa do consumo mensal de energia elétrica resultante da instalação de equipamentos de condicionamento de ar.

AMBIENTE	CONSUMO (kWh)
Sala da pós-graduação	363,2
Laboratório	1900,0
Sala de Aula	1425,6
Local 3	292,8

CONCLUSÃO

O edifício estudado apresenta características próprias devido a elevada inércia térmica que, juntamente com o tipo de atividade desenvolvida nos ambientes, provocam o aumento da carga térmica, comprometendo o conforto térmico. Construído a mais de trinta anos, o projeto não teve como preocupação inicial o conforto térmico, o que ocorreu foi que com o passar do tempo os diversos ambientes foram utilizados para diferentes tipos de atividades, necessitando recorrer a equipamentos eletromecânicos de condicionamento do ar.

O Bloco I foi construído sem uma preocupação em aplicar elementos que bloqueassem a insolação dentro dos espaços internos como brise-soleil, marquises, beirais ou vegetação de alto porte, que protegessem o edifício.

O prédio recebe muita insolação principalmente na fachada nordeste que possui grande quantidade de vidro nas janelas e onde estão localizadas as salas de aula. As paredes de concreto e as janelas de vidro pouco colaboram para a diminuição da temperatura interna dos ambientes. Seria necessária a existência de elementos que projetassem sombra e promovessem o ofuscamento do Sol no interior do prédio.

O Bloco I possui suas fachadas com uma grande porcentagem de vidro, necessitando de um sistema de resfriamento caro, com grande consumo de energia, para adaptar o edifício ao clima. Existem no prédio elementos internos como venezianas e persianas e, elementos externos, como algumas árvores que controlam o ofuscamento no edifício. As árvores, no entanto, são eficazes apenas no primeiro pavimento e nas faces sudoeste e sudeste.

As janelas precisam de sombra contra o ofuscamento do Sol e do céu, independentemente do ângulo da direção da luz proveniente deles. Os espaços de pouca ocupação como banheiros, áreas livres e áreas de serviço poderiam servir como barreira do lado mais exposto ao Sol, isolando os espaços mais ocupados.

A partir dos resultados obtidos confirmou-se que os materiais de revestimento são elementos fundamentais na melhoria do conforto térmico do edifício, assim como a carga térmica e o posicionamento do prédio em relação à trajetória do sol.

Através dos gráficos de temperatura elaborados observou-se ainda que a inércia térmica dificulta a troca de calor no prédio, retardando o seu aquecimento no período da manhã e o seu resfriamento no final do dia. Esta situação agrava-se no Verão, quando as temperaturas internas permanecem elevadas mesmo depois que a temperatura começa a diminuir.

Já no Inverno, a alta inércia térmica é benéfica ao ambiente pois mantém as temperaturas internas sempre maiores que a temperatura externa, evitando o frio demasiado nos ambientes.

Deve-se, portanto selecionar materiais de construção com características térmicas adequadas para assegurar um melhor conforto térmico ao longo do dia, bem como nas diversas estações do ano, considerando o clima tropical brasileiro.

No Verão, o calor armazenado no prédio durante o dia têm seu efeito no decorrer da noite e início da manhã do dia seguinte. Este calor retido na estrutura forma parte da carga térmica do outro dia. Este efeito pode ser minimizado se o equipamento de condicionamento de ar for ligado durante as primeiras horas do dia, antes que o ambiente seja ocupado.

O edifício também deveria estar disposto de modo a permitir que a ventilação atingisse todos os ambientes e estar alongado no sentido perpendicular ao vento dominante sul-norte. Os demais blocos também não deveriam estar tão próximos já que um acaba por prejudicar a ventilação do seguinte.

Como forma de quantificar os ganhos e perdas de calor no Bloco I fez-se o cálculo da carga térmica em quatro locais que fossem representativos. Obteve-se que nas salas de aula a ocupação humana revela-se fator fundamental de ganho de

calor; enquanto que nos laboratórios o calor devido aos equipamentos representa 50% do valor total de carga térmica no Verão.

Para se obter a melhoria das condições térmicas seria necessário utilizar um isolante térmico na cobertura metálica, avanços de lajes sobre as aberturas (portas e janelas) e uma adequada arborização na parte externa do prédio. A ação conjunta destes três elementos reduziria significativamente o efeito da radiação solar no interior do edifício, o que provocaria a diminuição da carga térmica e conseqüentemente do consumo de energia elétrica uma vez que exigiria uma menor quantidade de equipamentos eletromecânicos de condicionamento de ar.

Propõe-se também a alteração da atual configuração do prédio de forma que os ambientes que produzem e recebem calor em excesso devido às fontes internas de calor (ocupação, equipamentos, etc.) ficassem posicionados nas faces de menor insolação.

Ressalta-se finalmente a importância do conhecimento interdisciplinar, visando a melhoria dos projetos quanto ao conforto térmico.

Assim sendo, faz-se necessário ainda conscientizar profissionais ligados a construção civil da possibilidade de elaborar projetos tendo como condicionante inicial a otimização dos recursos naturais para promover um melhor conforto ambiental, eliminando a utilização de condicionadores de ar.

Sugestões para Projetos de Construção Civil

Apresenta-se ao final deste trabalho algumas recomendações que colaborem e incentivem os projetistas a avaliarem o conforto térmico em seus projetos com o objetivo de criar ambientes agradáveis e também de minimizar custos com equipamentos de condicionamento de ar.

Como os maiores problemas das regiões tropicais são a alta temperatura e umidade, a construção deve ser avaliada no que se refere ao ganho de calor. Cada

manipulação da forma, da superfície, da orientação e dos materiais do edifício e de sua planta pode ser avaliada para se determinar seu efeito no ambiente interno.

Os meses que oferecem maior possibilidade de projetar edifícios confortáveis são os de Inverno, ou seja, junho, julho e agosto e o mês de setembro. As médias das temperaturas máximas e mínimas variam entre quente e frio, mas um período prolongado do dia está localizado na zona de conforto. Isso significa que, durante esses meses, a construção típica maciça e pesada, ou seja, de alta inércia térmica, é apropriada.

Em contrapartida, nos piores meses de Verão, ou seja, dezembro, janeiro e fevereiro, quando a média máxima está quase na zona de temperaturas definidas como muito quentes, a alta inércia térmica dos edifícios piora as condições de conforto por retardar o esfriamento interno por muitas horas, depois do pôr-do-sol. Ainda pior que as altas temperaturas, nesses meses, é o alto índice de umidade relativa, com uma média de 80%, e uma oscilação de umidade diária que pode facilmente alcançar os 90% ou mais.

Deve-se se preocupar também com o armazenamento de calor no edifício. Na realidade, para os edifícios altos é difícil evitar uma construção maciça com pouca inércia térmica, dado o sistema construtivo brasileiro. Por isso, é importante recorrer a materiais isolantes para separar o espaço interior da construção maciça. Pela mesma razão é importante manipular a relação entre orientação e materiais, para aproveitar o retardo térmico.

Na avaliação de conforto térmico de uma construção deve-se levar em conta toda a área onde está inserido o terreno. Nos centros urbanos ocorre uma produção de calor devido a concentração e atividades das pessoas e a abundância de materiais como asfalto, concreto e veículos. A influência das características locais pode resultar em um clima diferente em dois lugares muito próximos entre si, por isso, a arquitetura deve ser adequada às condições climáticas de um determinado lugar.

Para o clima tropical é fundamental promover o movimento do ar. O ideal é que o terreno possua orientação para norte ou para sul. A ventilação é uma necessidade pelo menos durante 85% do ano. Para tanto, os edifícios devem estar separados. Edifícios individuais, elevados e compridos são os mais indicados.

No entanto, ao mesmo tempo e que se deve permitir a entrada do ar no edifício, é preciso se prevenir contra a entrada do Sol. Pela necessidade de se ter aberturas grandes para promover a ventilação, nas zonas úmidas, a medida mais útil é evitar a entrada direta da luz do céu. Os elementos internos, como venezianas de madeira, ou externos, como brises ou persianas, podem realizar essa função. O uso de árvores pode controlar o ofuscamento em edifícios de poucos andares.

Em função do percurso do Sol, de modo geral um ou dois lados do edifício estão naturalmente na sombra, e os outros lados, além do telhado, ficam expostos à radiação solar. É por isso que a maioria dos edifícios depende dos elementos arquitetônicos para sombrear suas fachadas.

É necessário ressaltar que todos os esforços do projetista devem estar concentrados em produzir o melhor nível de conforto nos interiores. Todos os espaços precisam de ventilação e sombra.

A orientação de um edifício deve ser fator fundamental no momento de desenho do projeto. A proteção contra a radiação solar é fundamental, especialmente nas horas de alta temperatura. Uma orientação direcional correta do edifício, pode-se obter uma diferença de até 3°C entre a temperatura externa e interna.

As direções cardinais do leste e oeste e o telhado são os mais expostos ao Sol durante todo o ano. Teoricamente esses dois lados deveriam receber a mesma quantidade de radiação, com o mesmo efeito, o que na realidade não acontece. O resultado é que o lado oeste tem o maior impacto no nível de conforto, em relação às demais superfícies verticais do edifício.

É importante avaliar os horários de uso dos cômodos. Se os dormitórios de uma casa estiverem localizados no lado oeste, por exemplo, o calor transmitido pela fachada manterá os quartos mais quentes por um maior período do tempo, com conseqüências desconfortáveis. Em contraste, os mesmos quartos localizados no lado leste, estarão com uma temperatura bem mais agradável à noite.

Da mesma maneira, os espaços não habitados, como banheiros e áreas de serviço podem servir como uma barreira do lado mais exposto ao Sol, isolando os espaços habitados.

Por fim, destaca-se que as árvores, os arbustos e a grama têm a tendência de estabilizar a temperatura e evitar os extremos. As plantas são bons absorventes de calor. Em geral, em dias ensolarados, a grama é menos quente que a terra exposta à radiação. Outro problema é o índice mais alto de reflexão das superfícies artificiais. A grama reflete muito menos que o concreto exposto à luz.

As árvores e arbustos com folhas podem interceptar a poeira e limpar o ar. Deve-se aproveitar a natureza pois quanto mais intensa é a grama e mais numerosas são as árvores, mais fresco é o ar. As trepadeiras que crescem nas paredes podem protegê-las da radiação solar.

Deve-se, no entanto, impedir que a vegetação bloqueie a ventilação natural do ambiente. O ideal é criar um sombreamento com a árvore que minimize a alta temperatura das paredes. Se estiverem bem localizadas as plantas poderão, inclusive, acelerar o movimento do ar para o interior, o que beneficiará a ventilação dos ambientes.

Em alguns casos, o uso de árvores para bloquear o vento pode também impedir a entrada do ar mais quente no Verão e do ar mais frio no Inverno.

Assim sendo, construir edifícios que considerem aspectos climáticos para garantir conforto aos seus usuários, com redução do consumo de energia elétrica, deveria ser uma exigência de quem projeta, de quem constrói, de quem decide e de quem adquire espaços para morar ou trabalhar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto**, Rio de Janeiro, 1978.

CARROCCI, L. R., OLIVEIRA, L. A., AMORIM, E.B. **Conforto térmico em edifícios revestidos com grandes janelas de vidro e cobertura metálica: Estudo de caso**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica: COBEM 2001, 16., 2001, Uberlândia (MG) [CD-ROM]. *Anais eletrônicos...* Uberlândia: ABCM, 2001. pp. 50-58. ISSN: 85-85769-07-6.

CARVALHO, B.A. **Técnica da Orientação dos Edifícios**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 1970. 106 p.

COSTA, E. C. **Física Aplicada à Construção - Conforto Térmico**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1974. 260p.

COSTA, E. C. **Arquitetura Ecológica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1982. 264p.

FROTA, A. B. e SCHIFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Editora Nobel, 1988. 243 p.

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

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em Arquitetura - Como Projetar nos Trópicos Úmidos do Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1998. 125p.

NUNES, S. C. **Avaliação das Condições de Conforto Ambiental em Edifícios – Um estudo de caso**, Conservar Energia: um Desafio dos anos 90, Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho: CNPq: Grupo Gerdau, 1991. pp.70 – 87. CDD: 333.7916.

OBERDING, B., SCHMIDT, W., GONÇALVES, O. M., PRADO, R. T. A. **Otimização de dispositivo externo de rastreamento solar para controle energético em ambiente externo**, Revista de Iniciação Científica CETEP-EESC-USP, No. 1, 1999. pp. 23-26. ISSN: 1516-7798.

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., AMORIM, E.B. **Estudo do Conforto Térmico de edifício da FEG-UNESP considerando grandes janelas de vidro nas fachadas e cobertura metálica: Um estudo de caso**. In: Jornada 2001 de Iniciação Científica e Pós-Graduação da FEG/UNESP, 2001, Guaratinguetá (SP) [CD-ROM]. *Anais eletrônicos...* Guaratinguetá: FEG/UNESP, 2001.

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., AMORIM, E.B. **Estudo do Conforto Térmico de edifício da FEG-UNESP considerando grandes janelas de vidro nas fachadas e cobertura metálica: Um estudo de caso**. *Revista Digital da UNESP* [on-line]. Setembro de 2001 Disponível na UNESP /Guaratinguetá: <URL: <http://www.feg.unesp.br/revistadigital>>

OLIVEIRA, L. A., CARROCCI, L. R., SILVA, E. A. N. **Avaliação do Conforto Térmico – Um estudo de caso: UNESP / Guaratinguetá**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas – ENCIT 2002 , 9., 2002.

Caxambu (MG) [CD-ROM]. *Anais eletrônicos...* Caxambu: ABCM, 2002. ISBN 85-87978-03-9.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar.** 3. ed., Belo Horizonte: Editora Termo Acústica Ltda., 1997. 261p.

VITTORINO, F., AKUTSU, M. **Avaliação do Conforto Térmico e Lumínico em Conjuntos Habitacionais.** Revista TÉCNICA, Vol. 20, No. X, 2000. pp. 50-58. ISSN: 0104-1053.