

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VERÃO
DO TELHADO EM CIMENTO-AMIANTO, COM ÁTICO

Engº Abdias Medeiros de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Civil

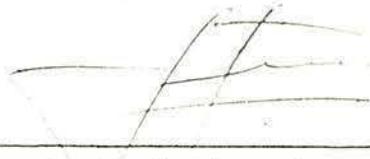
ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VERÃO
DO TELHADO EM CIMENTO-AMIANTO, COM ÁTICO

ENGº ABDIAS MEDEIROS DE OLIVEIRA

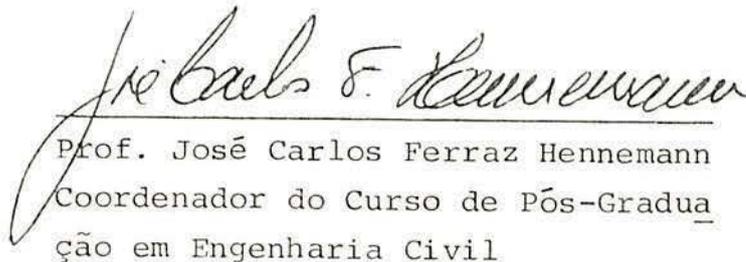
Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Porto Alegre
Maio de 1984

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.



Prof. José Miguel Aroztegui
Orientador



Prof. José Carlos Ferraz Hennemann
Coordenador do Curso de Pós-Gradua
ção em Engenharia Civil

Ao meu irmão
Humberto

"O Senhor abriu-me os ouvidos e eu não me opus, não me retirei. Apresentei as costas àqueles que me flagelavam e o rosto a quem me arrancava a barba. Não desviei o rosto dos ultrajes e dos escarros. Meu Deus está comigo! Por isso não serei confundido."

Isaias 50,5-7

AGRADECIMENTOS

Ao prof. José Miguel Aroztegui, pela orientação, incentivo. luta em aquisição de recursos e amizade sincera.

A Universidade Estadual de Feira de Santana pelo incentivo, confiança e oportunidade que me foi concedida.

A Tereza Cristina Menezes pelo auxílio, companhia, carinho e execução dos gráficos.

A colega Maria de Lourdes pela ajuda na revisão ortográfica do texto.

Aos meus pais e irmãos pelo estímulo, carinho, e auxílio nas tarefas que pelas distância me deixaram impossibilitado de realizá-las.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Ao Grupo de Energia Solar da UFRGS pelo empréstimo de instrumentos e da sala para a colocação de equipamentos.

À coordenação, professores, colegas e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XIV
RESUMO	XVII
ABSTRACT	XVIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 <u>Principais Propriedades Termofísicas dos Materiais na Transmissão de Calor Através da Cobertura para o Modelo Apresentado</u>	4
2.2 <u>Antecedentes Experimentais</u>	9
2.2.1 Quanto à Cor da superfície externa	9
2.2.2 Quanto à ventilação do ático	10
2.2.3 Quanto ao uso de metal polido nas superfícies do ático	
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	12
3.1 <u>Equipamentos e Características</u>	12
3.2 <u>Metodologia Empregada</u>	17
3.2.1 Método do índice L	20
4. APLICAÇÃO E RESULTADOS	24
4.1 TESTE 1: Cobertura em cimento-amianto nova com ventilação pelas aberturas das ondas (24 e 25 de Nov. 4, 5 e 12 de Dez. de 1983)	24

4.2	TESTE 2: Cobertura em cimento amianto com a face externa das telhas pintada de branco, e com ventilação pelas aberturas das ondas (15, 16, 17, 18, 28 e 29 de Dez. de 1983).....	31
4.3	TESTE 3: Cobertura em cimento amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com ventilação por 10cm além da abertura das ondas (19, 2, 5, 6, 7 e 8 de Jan. de 1984).....	38
4.4	TESTE 4: Cobertura em cimento amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos e ventilada só pelas aberturas das ondas (24, 26, 27, 28 e 29 de Jan. de 1984).....	45
4.5	TESTE 5: Cobertura em cimento amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com ventilação por 5cm além da abertura das ondas (8, 9, 11 e 12 de Fev. de 1984).....	52
4.6	TESTE 6: Cobertura em cimento amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com uma folha de alumínio polido sob as telhas e com ventilação só pelas aberturas das ondas no espaço compreendido entre as telhas e a folha de alumínio (14, 15, 16, 18, 19 e 20 de Fev. de 1984).....	57
4.7	<u>Observações Noturnas</u>	64
4.8	<u>Apresentação dos Resultados</u>	67
5.	CONCLUSÃO	76
	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	78
	ANEXO I - Gráficos com as principais temperaturas levantadas em um dia de cada teste realizado	79
	ANEXO II - Aferição e calibragem dos termômetros.....	92
	ANEXO III - Obtenção da massa específica, volume e capacidade de absorção de água, das telhas de cimento amianto	93

ANEXO IV - Determinação da condutibilidade térmica da cerâmica, cimento amianto e do compensado	95
ANEXO V - Modelo Físico Simplificado de Análise	96
V.1 <u>Modelo Utilizado</u>	96
V.2 <u>Dados</u>	101
V.2.1 Dados Diretamente Obtidos	101
V.2.2 Dados Indiretamente Obtidos	102
V.3 <u>Obtenção da Vazão de Renovação do Ar no Ático</u>	108
V.4 <u>Conclusão</u>	111
ANEXO VI - Figuras ilustrativas da bancada de teste	112
BIBLIOGRAFIA	115

LISTA DE FIGURAS

- Capítulo 3

FIGURA 3.1 - Saída impressa do registrador de dados.....	14
FIGURA 3.2 - Planta baixa e cortes da bancada de testes.....	15
FIGURA 3.3 - Pontos de aquisição de temperaturas dos testes 1 a 6..	19
FIGURA 3.4 - Localização da folha de alumínio no ático	19

- Capítulo 4

FIGURA 4.1 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 1 ...	26
FIGURA 4.2 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 1 ...	27
FIGURA 4.3 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 1 ...	28
FIGURA 4.4 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 2 ...	32
FIGURA 4.5 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 2 ...	33
FIGURA 4.6 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 2 ...	35
FIGURA 4.7 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 3 ...	39
FIGURA 4.8 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 3 ...	41
FIGURA 4.9 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 3 ...	43
FIGURA 4.10- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 4 ...	46
FIGURA 4.11- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 4 ...	48
FIGURA 4.12- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 4 ...	49
FIGURA 4.13- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 5 ...	53
FIGURA 4.14- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 5 ...	55
FIGURA 4.15- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 6 ...	58
FIGURA 4.16- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 6 ...	60

FIGURA 4.17-	Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 6	61
FIGURA 4.18-	Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 4 - observação do efeito da umidade	71
FIGURA 4.19-	Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - teste 5 - observação do efeito da umidade	73

- ANEXO I

FIGURA 1 -	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 1	80
FIGURA 2 -	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 1	81
FIGURA 3 -	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 2	82
FIGURA 4 -	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 2	83
FIGURA 5 -	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 3	84
FIGURA 6 -	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 3	85
FIGURA 7 -	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 4	86
FIGURA 8 -	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 4	87
FIGURA 9 -	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 5	88
FIGURA 10-	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 5	89
FIGURA 11-	Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 6	90
FIGURA 12-	Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 6	91

- ANEXO V

FIGURA V.1 - Esquema do equilíbrio térmico da cobertura	96
FIGURA V.2 - Hipótese demonstrativa da tra etória de fu maça no ático	108

- ANEXO VI

FIGURA VI.1- Bancada de testes com cobertura padrão em telha "Marselha" e cobertura modelo em ci- mento amianto pintada de branco	113
FIGURA VI.2- Bancada de testes com cobertura modelo em cimento amianto envelhecido	113
FIGURA VI.3- Colocação da folha de alumínio no ático da cobertura modelo	114

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 2.1 - Absorvidade e emissividade em várias superfícies e cores	6
---	---

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 - Cálculo do índice L - 24 Nov. 1983	25
TABELA 4.2 - Cálculo do índice L - 25 Nov. 1983	25
TABELA 4.3 - Cálculo do índice L - 04 Dez. 1983	29
TABELA 4.4 - Cálculo do índice L - 05 Dez. 1983	29
TABELA 4.5 - Cálculo do índice L - 12 Dez. 1983	29
TABELA 4.6 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_1	30
TABELA 4.7 - Cálculo do índice L - 15 Dez. 1983	31
TABELA 4.8 - Cálculo do índice L - 16 Dez. 1983	34
TABELA 4.9 - Cálculo do índice L - 17 Dez. 1983	34
TABELA 4.10 - Cálculo do índice L - 18 Dez. 1983	34
TABELA 4.11 - Cálculo do índice L - 28 Dez. 1983	36
TABELA 4.12 - Cálculo do índice L - 29 Dez. 1983	36
TABELA 4.13 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_2 ...	37
TABELA 4.14 - Cálculo do índice L - 1º Jan. 1984	38
TABELA 4.15 - Cálculo do índice L - 02 Jan. 1984	40
TABELA 4.16 - Cálculo do índice L - 05 Jan. 1984	40
TABELA 4.17 - Cálculo do índice L - 06 Jan. 1984	42
TABELA 4.18 - Cálculo do índice L - 07 Jan. 1984	42

TABELA 4.19 - Cálculo do índice L - 08 Jan. 1984	44
TABELA 4.20 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_3 ...	44
TABELA 4.21 - Cálculo do índice L - 24 Jan. 1984	45
TABELA 4.22 - Cálculo do índice L - 26 Jan. 1984	47
TABELA 4.23 - Cálculo do índice L - 27 Jan. 1984	47
TABELA 4.24 - Cálculo do índice L - 28 Jan. 1984	50
TABELA 4.25 - Cálculo do índice L - 29 Jan. 1984	50
TABELA 4.26 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_4 ...	51
TABELA 4.27 - Cálculo do índice L - 08 Fev. 1984	52
TABELA 4.28 - Cálculo do índice L - 09 Fev. 1984	54
TABELA 4.29 - Cálculo do índice L - 11 Fev. 1984	54
TABELA 4.30 - Cálculo do índice L - 12 Fev. 1984	54
TABELA 4.31 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_5 ...	56
TABELA 4.32 - Cálculo do índice L - 14 Fev. 1984	57
TABELA 4.33 - Cálculo do índice L - 15 Fev. 1984	59
TABELA 4.34 - Cálculo do índice L - 16 Fev. 1984	59
TABELA 4.35 - Cálculo do índice L - 18 Fev. 1984	62
TABELA 4.36 - Cálculo do índice L - 19 Fev. 1984	62
TABELA 4.37 - Cálculo do índice L - 20 Fev. 1984	63
TABELA 4.38 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_6 ...	63
TABELA 4.39 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n1} ..	64
TABELA 4.40 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n2} ..	64
TABELA 4.41 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n3} ..	65
TABELA 4.42 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n4} ..	65
TABELA 4.43 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n5} ..	65
TABELA 4.44 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n6} ..	66
TABELA 4.45 - Resumo Geral dos \bar{L}_{ni} (mi)	67
TABELA 4.46 - Cálculo do $\bar{L}_{(p)}$ Final	68

TABELA 4.47 - Resumo Geral dos $\bar{L}_{ni}(mi)$	69
TABELA 4.48 - Cálculo do índice L - 18 Jan. 1984 (Teste 4)...	72
TABELA 4.49 - Cálculo do índice L - 22 Jan. 1984 (Teste 4)...	72
TABELA 4.50 - Cálculo do índice L - 04 Fev. 1984 (Teste 5)...	74
TABELA 4.51 - Cálculo do índice L - 06 Fev. 1984 (Teste 5)...	74

ANEXO V

TABELA V.1 - Cálculo do coeficiente U_t correspondente à resistên- cia térmica da superfície externa dos telhados...	105
TABELA V.2 - Resumo dos dados medidos e calculados para a hora do pique 1983/84	107

LISTA DE SIMBOLOS

SIMBOLO	GRANDEZA	UNIDADE
A	Área de saída ou entrada do fluxo	m ²
a	acréscimo de tempo	h
c	constante de proporcionalidade	
E	emissividade	
e	espessura do material	m
h	diferença de nível entre as aberturas	m
h _c	coeficiente de convecção	W/m ² °C
h _{co}	coeficiente de convecção externo	W/m ² °C
h _r	coeficiente de radiação	W/m ² °C
I	intensidade de radiação solar	W/m ²
I _o	intensidade de radiação solar por onda longa	W/m ²
K _c	condutância térmica da cobertura padrão	W/m ² °C
K _f	condutância térmica do forro	W/m ² °C
K _m	condutância térmica de um material	W/m ² °C
k	condutibilidade térmica	W/m °C
L	Índice L	
L(m)	Índice L da cobertura modelo	
L(p)	Índice L da cobertura padrão	
L _n	Índice L noturno	
Q	fluxo de calor	W
Q _{as}	fluxo de calor através do telhado	W

q_f	densidade de fluxo térmico através do forro	W/m^2
q_c	densidade de fluxo térmico através da cobertura padrão	W/m^2
Q_f	fluxo de energia térmica através do forro	W
Q_v	fluxo de energia térmica transportada pelo ar	W
R_e	resistência térmica da superfície externa	$m^2\text{°C}/W$
R_{ia}	resistência térmica de superfície inferior do alumínio (não utilizada)	$m^2\text{°C}/W$
R_{if}	resistência térmica da superfície inferior do forro	$m^2\text{°C}/W$
R_{it}	resistência térmica da superfície inferior do telhado	$m^2\text{°C}/W$
R_{ma}	resistência térmica da folha de alumínio (não utilizada)	$m^2\text{°C}/W$
R_{mf}	resistência térmica do compensado (forro)	$m^2\text{°C}/W$
R_{mt}	resistência térmica do cimento amianto (telhado)	$m^2\text{°C}/W$
R_r	resistência por radiação	$m^2\text{°C}/W$
R_{sa}	resistência térmica da superfície superior do alumínio (não utilizada)	$m^2\text{°C}/W$
R_{sf}	resistência térmica da superfície superior do forro	$m^2\text{°C}/W$
R_{si}	resistência superficial interna	$m^2\text{°C}/W$
t_{as}	temperatura "ar-sol"	$^{\circ}C$
t_e	temperatura do ar externo	$^{\circ}C$
t_i	temperatura do ar interno da câmara	$^{\circ}C$
t_{if}	temperatura inferior do forro	$^{\circ}C$
t_s	temperatura do ar que sai do ático	$^{\circ}C$
t_{sc}	temperatura superficial da cobertura	$^{\circ}C$
t_{sf}	temperatura superficial do forro	$^{\circ}C$
U_f	coeficiente de transmissão de calor do forro	$W/m^2\text{°C}$

U_t	coeficiente de transmissão de calor do telhado	$W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$
V	vazão de ar por segundo	m^3/s
V'	vazão de ar por hora e m^2 de cobertura	$m^3/h \ m^2$
v	velocidade do ar	m/s
$V_{.ar}$	velocidade do ar graficada	m/s
α	coeficiente de absorção das radiações solares	
ΔT_c	diferença entre a temperatura superficial superior da cobertura e a inferior do forro na cobertura padrão	$^\circ\text{C}$
$\Delta T_f(m)$	diferença entre a temperatura superficial superior e inferior do forro na cobertura modelo	$^\circ\text{C}$
$\Delta T_f(p)$	diferença entre a temperatura superficial superior e inferior do forro na cobertura padrão	$^\circ\text{C}$

RESUMO

Estuda-se neste trabalho com método experimental o comportamento térmico de algumas alternativas do telhado em cimento amianto, com ático, para as condições de verão em Porto Alegre.

Foi usada uma bancada de testes com duas coberturas, uma em telha "Marselha" estudada como padrão de comparação e outra em cimento amianto que sofreu alterações ao longo das seis etapas de testes realizadas. Foram alteradas a cor externa, a idade das telhas, a abertura para ventilação do ático e a colocação de uma folha de alumínio sob as telhas.

Para comparar o desempenho entre as diferentes coberturas, foi utilizado o índice L que é a razão entre o fluxo de calor que atravessa o forro da cobertura analisada e o fluxo de calor que atravessa a cobertura padrão em cerâmica.

ABSTRACT

The research work is concerned with the experimental evaluation of the thermal performance of attic roofs covered with asbestos cement tiles during summertime in the city of Porto Alegre.

A test bed with two chambers was covered with different types of tiles. The first one; taken as the control, was covered with traditional clay tiles: the second chamber had the asbestos cement tiles. The external colour of the tiles, their age, the size of the ventilation spaces in the attic roof and the option for a sheet of aluminium foil beneath the tiles were examined as variables in this experimental work.

The different roof covering solutions were compared by means of the "L" index, which expresses the ratio of heat flow through the standard clay tiles type of roof to the heat flow through the roof type under examination.

Previously established simplified mathematical models for the heat flow through roofs were verified by the data obtained during the experiments.

1. INTRODUÇÃO

O homem pré-histórico tinha com ele o interesse em conhecer as forças da natureza por razões de segurança e até mesmo de sobrevivência. Das cavernas, das tendas de estrutura simples às construções de hoje, o homem teve como proposta substancial modificar as condições do clima interno, desenvolvendo meios para obter melhores condições para exercer suas atividades mais confortavelmente. Com base, as edificações devem proteger os seus ocupantes do sol, da chuva, dos ventos e das tempestades, dar um desejável grau de secura e privacidade, e oferecer um clima interno mais agradável para a vida.

Com o avanço da tecnologia, tem-se melhorado gradativamente os métodos de aquecimento e resfriamento das edificações. Esses métodos evoluíram e se multiplicaram desde os mais simples aos mais sofisticados. Com o agravamento da crise energética, os métodos de condicionamento térmico naturais evoluíram por serem geralmente soluções práticas e econômicas.

A importância dos estudos relacionados com o desempenho térmico das coberturas no Brasil, se deve à predominância de habitações térreas, seu clima quente dominante na maioria das regiões e a baixa latitude prefigurando o plano do teto como o principal responsável pelo desconforto térmico.

Esse trabalho analisa, no capítulo 4, o desempenho térmico de seis alternativas de coberturas em cimento amianto, nas condições de verão com recursos naturais. Utiliza, para isto, a bancada para estudos experimentais de cobertura desenvolvida em um trabalho antecedente e descrita no capítulo 3, agora equipada com um registrador automático de dados, que permite maior precisão e extensão das informações colhidas.

Tem-se, no Brasil, como tecnologia mais difundida para coberturas, o uso dos telhados com ático. O material do telhado, que a alguns anos atrás era exclusivamente a telha cerâmica, hoje compartilha essa predominância com telhas de cimento amianto, muito mais adaptadas ao processo de industrialização da construção.

O telhado com ático, devido às inúmeras variáveis envolvidas, não foi ainda exaustivamente dominado quanto aos fenômenos térmicos. Diversos estudos nesse sentido (14, 19, 21 e 33) contribuem com enfoques diversos. A via experimental permite extrair informações substanciais para proseguir estes estudos. Esta dissertação expressa os resultados levantados através do índice L, criado com oportunidade da realização da bancada de testes antes mencionada. São, porém, anexados gráficos dos levantamentos feitos para possibilitar análises sob outros pontos de vista. Em particular, a correlação entre as diferenças de temperaturas superficiais com as variáveis climáticas.

Há muito a fazer nesta linha de ação. A limitação do tempo para elaborar esta dissertação impediu o aprofundamento em outras alternativas, particularmente o desempenho térmico para a condição de inverno. Foram, contudo, obtidos alguns subsídios para análise por analogia, nos testes feitos durante as noites de verão.

Procurou-se pesquisar as variáveis menos dominadas e divulgadas como são a idade, a cor da superfície externa do telhado, o uso da ventilação do ático e a aplicação de uma folha de alumínio sob as telhas. Embora, o uso de materiais isolantes no forro seja de importância para a resistência ao fluxo térmico, sua influência é mais conhecida, tendo valores tabelados para os distintos materiais, e expressões de cálculo simples. Também não foi analisado o efeito da mudança da inclinação do telhado, pelas dificuldades implícitas e o tempo necessário para isto.

Os resultados obtidos confirmam a teoria e não são surpreendentes. Porém, ressaltam aqueles aspectos importantes na transmissão de calor pela cobertura e ponderam fatores que nem sempre são levados em conta, dando uma hierarquização que permitem abordar soluções práticas na construção, sem maiores esforços técnicos ou econômicos.

2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para enumerar as principais conclusões das numerosas experiências feitas em relação a transmissão de calor através de coberturas leves com ático, serão previamente relacionadas, no início deste capítulo, as principais propriedades termofísicas dos materiais vinculados com este fenômeno.

2.1 Principais Propiedades Termofísicas dos Materiais na Transmissão de Calor Através da Cobertura para o Modelo Apresentado

TEMPERATURA "AR-SOL", representa a temperatura que deveria ter o ar, sem o sol, para produzir o mesmo fluxo transmitido em regime permanente, que teria com o sol. Ou seja a temperatura do ar externo incrementada ²⁴.

RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS. Para melhor entendimento destes fatores, é necessário conhecer seus funcionamentos e outros fatores que estão a eles relacionados como será visto a seguir.

Junto à superfície existe um filme de ar estacionado, que diminui de espessura com o aumento da velocidade do ar próximo. Como o ar tem condutividade muito baixa, este filme tem uma apreciável resistência à troca de calor por convecção. A superfície também troca calor por radiação. O material, o tipo de acabamento da superfície, a sua temperatura média e a temperatura média do outro meio com quem ela troca calor determinam a resistência a troca de calor por radiação. A quantidade de calor trocada por convecção, por unidade de área, unidade de tempo e para uma diferença de 1°C de temperatura é denominada coeficiente de convecção, e quando por radiação de coeficiente de radiação. O inverso da soma desses coeficientes é denominado de resistência superficial.

RESISTÊNCIA DO MATERIAL. A transferência de calor por um material depende da sua condutividade térmica e da sua espessura. A condutividade térmica é a propriedade do material que determina o calor transmitido em regime permanente através da unidade de espessura, na unidade de tempo, por unidade de área do material quando as diferenças de temperatura entre os pontos é de 1°C . Da razão entre a espessura e a condutividade obtem-se a resistência material.

Quando se trabalha com um fechamento dado, de características e espessuras determinados, é usual o emprego da **condutância térmica** que expressa a quantidade de calor transmitida de face a face do fechamento, por unidade de tempo, unidade de área e para diferença de 1°C nas temperaturas superficiais.

Para o cálculo da quantidade de fluxo de calor entre o ambiente exterior e o interior, deve-se somar a resistência do material as resistências superficiais, externa e interna. O inverso desta resistência térmica é dita transmitância térmica, ou coeficiente de transmissão de calor (U).

A superfície externa está exposta à radiação solar, e é o primeiro plano na transferência de calor para o interior. Portanto, é importante conhecer suas características quanto a radiação para projetá-la de acordo com o funcionamento desejado.

A superfície externa quando de material opaco, possui três propriedades determinantes do comportamento com respeito à troca de calor radiante, isto é: absorvidade, reflectividade e emissividade.

Uma radiação que atinge uma superfície opaca poderá ser absorvida e refletida. Será totalmente absorvida se a superfície for perfeitamente preta, ou totalmente refletida se a superfície for perfeitamente refletora.

A emissividade é o poder relativo de um material para emitir energia radiante. Para comprimento de ondas específicos,

absorvidade e emissividade são numericamente iguais; mas ambas são variáveis para diferentes comprimentos de onda.

Todas as superfícies emitem radiação com uma distribuição e intensidade espectral, dependendo da temperatura; a radiação emitida por superfícies, para temperaturas normais em edifícios, está relacionada com o comprimento de onda do espectro infra-vermelho (intensidade de pico em torno de 10 microns).

A cor da superfície dá uma indicação da absorvidade a radiação solar. A absorvidade diminui e a reflectividade aumenta com as cores claras; mas a cor não indica o comportamento da superfície com respeito à radiação por onda longa. O preto e o branco têm absorvidades à radiação solar bem diferentes. Mas a emissividade de onda longa das duas cores são iguais, por esta razão esfriam igualmente à noite por radiação para o céu.

A tabela 2.1, dá os valores típicos de absorvidade para onda curta e emissividade para onda longa de várias superfícies e cores.

TABELA 2.1 - Absorvidade e emissividade em várias superfícies e cores

MATERIAL OU COR	ABSORVIDADE		EMISSIVIDADE	
alumínio em folha brilhante	0,05	0,20	0,05	0,05
alumínio em folha oxidada	0,15	-	0,12	-
cimento-amianto novo	-	0,60	-	0,95
cimento-amianto envelhecido	-	0,75	-	0,95
caiação nova	0,12	-	0,90	-
pintura branca	-	0,30	-	0,90
pintura branca à óleo	0,20	-	0,90	-
pintura de alumínio	0,50	0,50	0,50	0,55
telha vermelha clara	-	0,70	-	0,90
pintura preta	0,85	0,90	0,90	0,90
pintura cinza claro	0,40	-	0,90	-
pintura cinza escuro	0,70	-	0,90	-

FONTE: 1ª coluna GIVONI¹⁴ e 2ª coluna STRAATEN³³

A absorvidade muito baixa do alumínio polido, faz de le um material ideal para o uso em isolamentos de paredes e coberturas, pela condição de baixa emissividade por ondas longas. Mas, sob condição de radiação solar as superfícies pintadas de branco são superiores³³. A razão para isto é que sendo a emissividade do alumínio baixa, não deixa radiar, ao céu, o calor recebido acumulando-o. Isto não ocorre com as superfícies pintadas de branco, que, embora, sendo boas refletoras de radiação solar emitem com facilidade o calor ao céu, baixando sua temperatura.

A validade da aplicação do alumínio é fundamental para reduzir a condução térmica da câmara de ar do ático. Para que seja construtivamente viável, a folha de alumínio deve ser colocada junto ao telhado, para evitar que o acúmulo de pó que ocorrerá na face superior, não modifique a qualidade de baixa emissividade da face orientada para a câmara de ar.

Na ventilação natural da cobertura, a inclinação do telhado tem uma importante influência na distribuição de pressão sobre o mesmo. No telhado com baixa inclinação existe uma zonaes tagnada sobre todo ele, devido à separação do fluxo de ar produzido pelo beiral barlavento, resultando numa cobertura de pouca sucção sobre os planos. No telhado de duas águas com alta inclinação, existe uma zona estagnada principalmente no plano do lado sotavento, enquanto o plano do lado barlavento tem uma pequena pressão positiva. A inclinação crítica do telhado, para o qual ocorre essa mudança, depende da altura da parede exposta ao vento; mas ela pode ser 18° e 25° para altura de parede de 3,6m e 4,5m respectivamente³³.

A ventilação térmica, em telhados, ocorre principalmente naqueles de alta inclinação com aberturas em níveis diferentes, caso de aberturas no beiral e na cumeeira, e quando são diferentes as temperaturas interna e externa.

Quando a temperatura interna é maior que a externa, o ar interno fica menos denso e eleva-se pelo ático saindo pela abertuu

ra da cumeeira, resultando em uma sucção do ar externo pela abertura do beiral. No caso da temperatura externa ser mais elevada, o movimento do ar no ático terá um sentido inverso ao anterior.

2.2 Antecedentes Experimentais

2.2.1 Quanto à cor da superfície externa

Um estudo experimental, em Israel, com painéis horizontais leves¹⁴, concluiu que a temperatura de uma superfície externa enegrecida foi de 32°C acima da temperatura máxima do ar, enquanto o aumento correspondente para a superfície pintada de branco foi de apenas 1°C.

Um estudo experimental, em Beer-Sheba (Israel), com coberturas em concreto¹⁵, mostrou que a cobertura pintada de branco apresentava a temperatura do teto 6°C abaixo que a mesma cobertura na cor cinza.

Ainda em Israel, uma pesquisa com telhas vermelhas não ventiladas¹⁵, permitiu concluir que a temperatura máxima do forro era 6°C acima que de uma cobertura similar pintada de branco.

Num trabalho do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), com telhas de barro tipo "Marselha" e em cimento-amianto sem ventilação¹⁹, foi concluído que em ordem crescente de conforto térmico, estão as seguintes coberturas: cimento-amianto enegrecida, cimento-amianto vermelha, cimento-amianto na cor cinza, telha de barro e cimento-amianto pintada de branco.

Em Porto Alegre (R.S), uma experiência para dissertação de mestrado em Engenharia Civil com telhas de barro tipo "Marselha" não ventiladas²¹; quanto a cor teve como conclusão que a telha pintada de branco elimina 66% do fluxo que passaria na telha normal.

Pode-se observar pelos exemplos acima, que a pintura branca apresenta um bom desempenho térmico no verão, para qualquer tipo de cobertura, sobre a qual for aplicada.

2.2.2 Quanto à ventilação do ático

Na África do Sul, um estudo sobre o efeito da ventilação natural e mecânica no ático, com cobertura de ferro galvanizado ondulado e forro de cimento amianto³³, obteve-se uma diminuição da temperatura do ar do ático em até 7,8°C com ventilação natural e 10,6°C com ventilação mecânica.

Um estudo com telhas de cimento na cor vermelha e forro de gesso, feito em Beer-Sheba (Israel), com abertura para ventilação do ático ao longo das paredes externas e nos oitões¹³, mostrou que, quando as aberturas estavam sem vedação a temperatura do ar do ático baixou de 1°C, as temperaturas da face superior e inferior do forro foram reduzidas de 0,5°C e a temperatura da face inferior da telha baixou de 1°C.

No trabalho do IPT (São Paulo), com coberturas em telhas de barro tipo "Marselha" ventiladas e não ventiladas¹⁹, foi observado que o colchão de ar do ático não ventilado se comportou como um isolante térmico mais eficiente que no caso do uso da ventilação. Já em outro trabalho do mesmo instituto usando coberturas em cimento amianto³⁴, apresenta a ventilação como melhora de conforto em relação à mesma cobertura não ventilada.

Pode-se notar, pelos exemplos anteriores, que a ventilação do ático tem um significativo efeito para o conforto-térmico de verão apenas nos telhados mais delgados, onde é pequena a resistência térmicas dos mesmos, tais como cimento amianto e ferro galvanizado. Para os telhados de barro seu resultado não apresenta vantagens sensíveis.

2.2.3 Quanto o uso de metal polido nas superfícies do ático

Na África do Sul, um estudo experimental do efeito do isolamento de coberturas sobre o forro, com telha de ferro galvanizado e ondulado e forro em gesso, usando os seguintes isolantes: uma folha de metal reflectivo fixada na face inferior das vi

gas do telhado, lâ mineral de 5,1 ; 10,2, e 15,3cm de espessura e vermiculite desfolhado de 2,5 e 5,1cm de espessura diretamente sobre o forro ³³, concluiu que o emprego de material reflectivo corresponde a um isolamento com lâ mineral de 7,6cm de espessura.

Na dissertação de mestrado, já citada anteriormente²¹, foi concluído que a colocação de uma folha de alumínio polido sob as ripas do telhado, elimina 86% do fluxo de calor pela cobertura, e quando adicionadas à cobertura a folha de alumínio mais a pintura branca da superfície exterior das telhas, ela elimina 96% do fluxo.

Pode-se notar que é grande a troca de calor por radiação. Assim, é importante a sua redução para melhor condição de conforto.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A utilização de equipamentos convencionais, como termômetros de mercúrio, dificultaria a obtenção e a precisão dos dados, porque a escala de leitura está no próprio aparelho, e estes devem estar localizados nos pontos onde está se fazendo a medida. Visto que alguns destes pontos tem difícil acesso, a operação de leitura poderia alterar conseqüentemente os resultados.

Com a necessidade de centralizar as escalas de leitura, foi criado, numa etapa anterior, um termômetro digital com onze canais. Mas, o tempo gasto com as anotações das leituras em todos os canais, um a um, resultava uma incerteza dos dados devido as rápidas oscilações das temperaturas. O grande trabalho manual para a tomada de dados, tornava o sistema precário e impreciso. Surgiu assim, a idéia de desenvolver um sistema que registrasse os dados levantados instantânea e automaticamente. Este sistema, o registrador de dados (DATA LOGGER), foi construído sob encomenda pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e utilizado neste trabalho com total êxito.

A bancada de testes, que será descrita a seguir no item equipamentos, foi instrumentada para fornecer os dados que foram subsídios na comparação da transferência de calor externo para o interior da câmara em dias de verão, entre a cobertura padrão (telha "Marselha") e a cobertura modelo (cimento-amianto). Os resultados experimentais foram também comparados com os valores calculados por um método analítico aproximado.

3.1 Equipamentos e Características

- 1 anemômetro de conchas, escala graduada em 0,5m/s ;

- 1 piranômetro;
- 1 balança, sensibilidade 0,1g;
- 2 termômetros digitais, marca ECI²², com 11 canais, constituído de transistor em ponteiras para aquisição dos valores da temperatura e um amplificador de sinal. Neste último encontra-se a chave seletora de canais e o visor onde se lê a temperatura separadamente para cada canal;

- 1 registrador de dados (DATA LOGGER), com um sistema de registro de dados em fita de papel, figura 3.1, um relógio digital para facilitar a localização das medidas no tempo e o intervalo de aquisição, 20 canais de aquisição seqüencial com possibilidade de expansão, um teclado para programação de periodicidade e escala do registro de dados. O relógio e a memória auxiliar foram ligados a uma bateria, que entra em funcionamento instantaneamente na falta de energia elétrica, evitando a perda do programa. Com o uso de um cabo telefônico, instalou-se o registrador de dados a 60 m da bancada de testes, evitando-se as alterações nas condições inerciais da câmara, com a entrada do operador;

- 1 termômetro de globo, com um globo de 3,8 cm como sugerido por HUMPHREYS¹⁷, que possui resposta mais rápida e trabalha bem em ambientes com pouca assimetria térmica ($T_{ar} - T_{tm} < 5^{\circ}C$), sem apresentar diferença significativa em relação ao globo de 15 cm. Com tal termômetro, foi medida a temperatura interna da câmara, sob o forro, com o sensor colocado a meio altura em relação ao pé direito;

- bancada de testes²¹, formada por uma câmara medindo 3,50 x 2,10 m, como mostra a figura 3.2 extraída de LAMBERT²¹, tendo como piso uma laje de concreto e paredes de alvenaria de pedra de granito com altura aproximada de 1,4 m. No lado externo executou-se um talude, para aumentar a massa inercial estabilizadora da temperatura, fazendo com que, nas horas de piqueda temperatura do ar e da radiação solar, o fluxo térmico pelas coberturas fosse o maior possível sem condicionamento artificial. Na

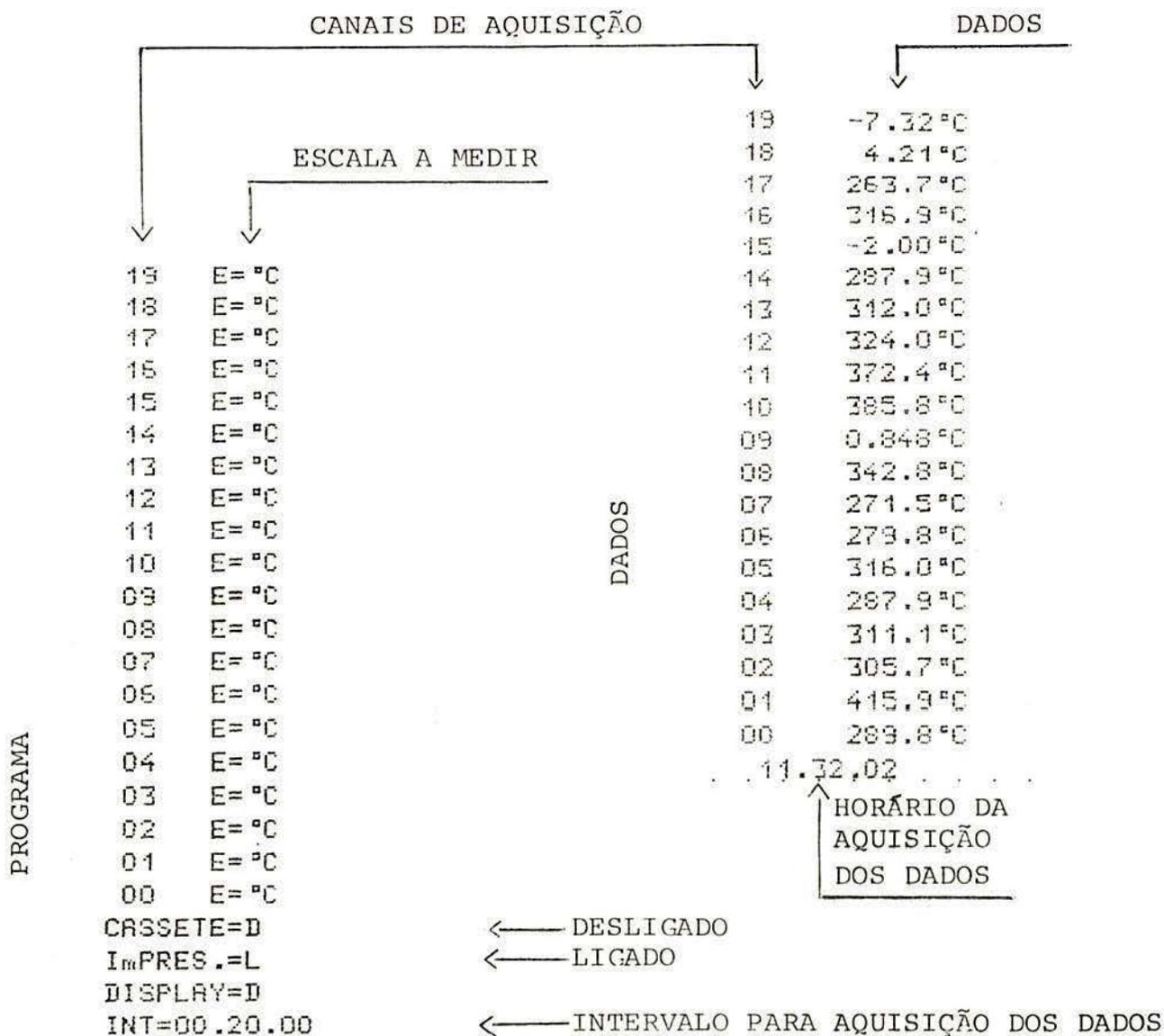


FIGURA 3.1 - Saída impressa do registrador de dados

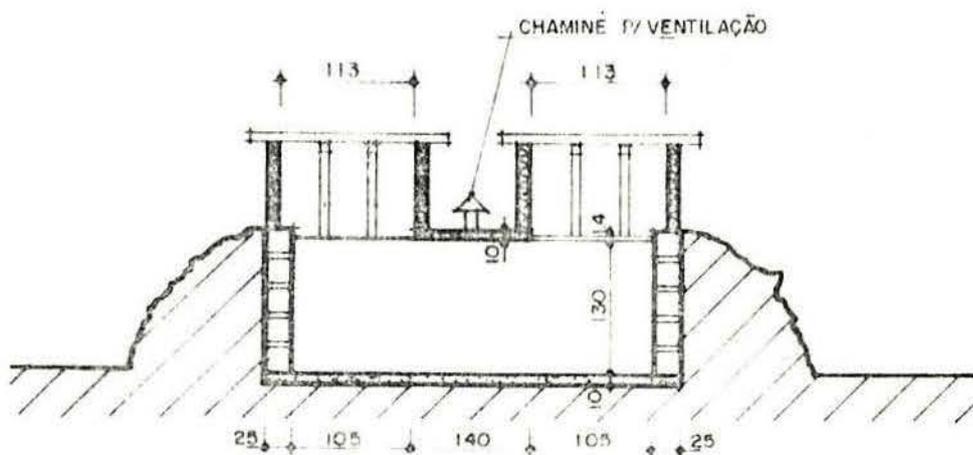
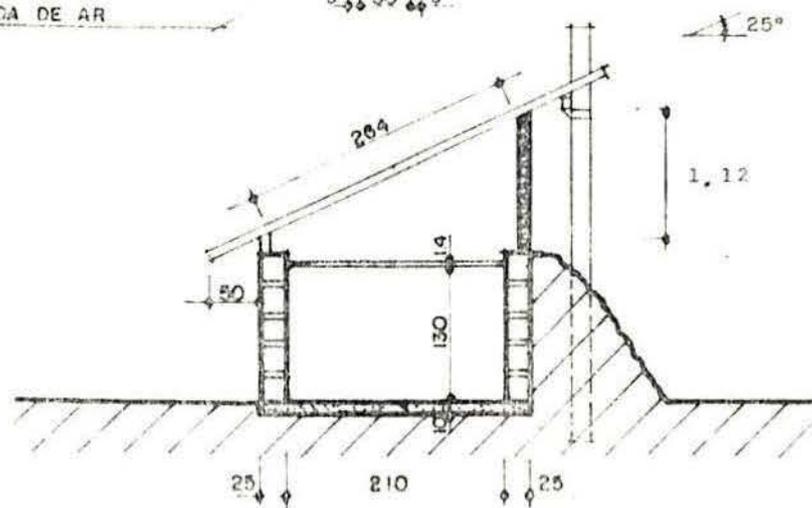
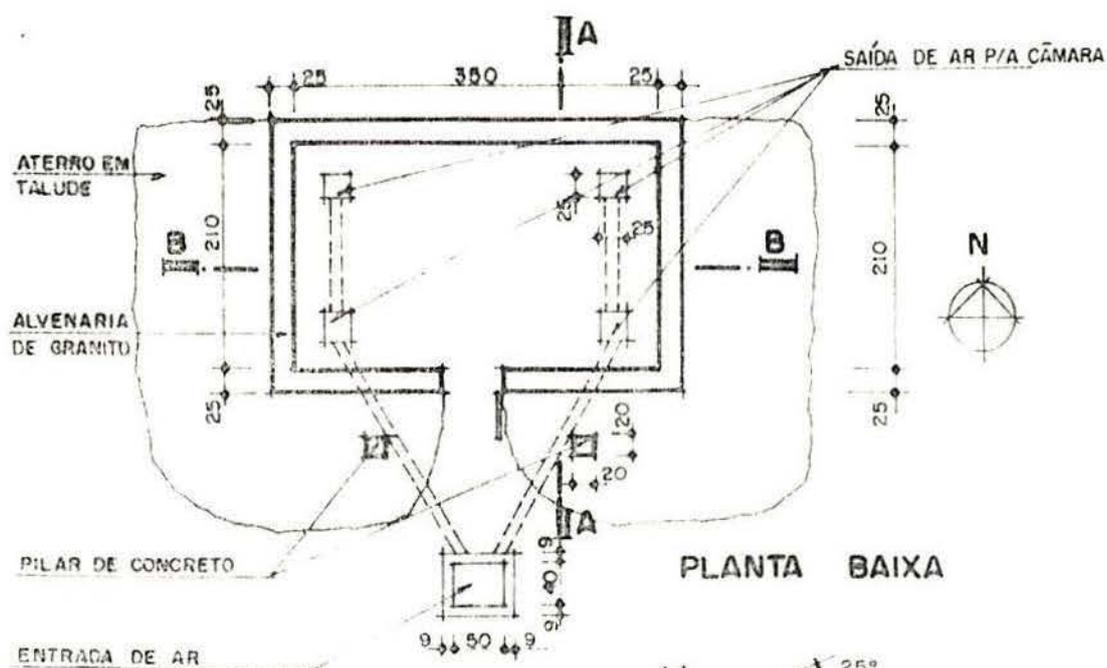


FIGURA 3.2 - Planta baixa e cortes da bancada de testes.

fachada Sul encontra-se uma porta que permite o acesso para a colocação da instrumentação. A fachada Norte foi revestida com reboco e pintada de branco, e não possui o talude, simulando assim as condições normais.

Sobre a câmara foram executadas duas coberturas, Leste e Oeste, separadas por uma laje de concreto pouco adensado e com 10 cm de espessura. Sobre esta laje foi feito um sombreamento com telhas de barro, de forma que o sol não influísse significativamente no clima interno.

Na execução dos oitões foram utilizadas placas de isopor de 10 cm de espessura, revestidas nas duas faces com compensado de 1,2 cm de espessura. As faces internas dos oitões foram revestidas com lâmina de alumínio e as externas pintadas de branco. As faces Leste e Oeste foram sombreadas com telhas de cimento-amianto pintadas de branco, impedindo a incidência de radiação solar sobre as mesmas. Desta forma, pode-se considerar desprezível a entrada de calor pelos oitões.

Para que se contasse com a maior carga de radiação solar possível, as coberturas foram orientadas para o Norte.

O forro das duas coberturas foram feitas em compensados de 1,4 cm de espessura com filme plástico, que o torna impermeável, desvinculando a resistência térmica da umidade.

Através de manilhas subterrâneas, foi feito um sistema de ventilação para a câmara, para evitar a estratificação e retirar o excesso de umidade. A exaustão ocorre por intermédio de duas chaminés de tiragem regulada, na laje que separa as duas coberturas.

A cobertura Oeste ficou inalterável durante os ensaios, servindo como padrão. Suas características são as seguintes:

. telha: barro, tipo Marselha (francesa);

- . cor externa: vermelho natural da telha com um ano de uso;
- . inclinação: 25° ; caimento: 47%
- . ventilação do ático: micro-ventilação natural pelas frestas entre as telhas;
- . origem: Cerâmica Aita;
- . montagem: 16,34 telhas/m²;
- . propriedades físicas ensaiadas²¹
 - volume = 1.242 cm³
 - densidade = 1.542 Kg/m³
 - absorção máxima de água = 37,14% (por volume)

A cobertura Leste, a qual serviu para os diversos testes, sofreu alterações de acordo com o teste realizado (ver testes, aplicação e resultados). Foi mantida a mesma inclinação da cobertura Oeste para que a incidência da radiação solar, fosse uniforme sobre os planos dos telhados. Suas características são as seguintes:

- . telha: cimento-amianto, tipo ondulada (normal) de espessura = 6mm,
- . cor: variável com o teste;
- . inclinação 25° ; caimento: 47%
- . ventilação: variável com o teste;
- . propriedades físicas ensaiadas (ver ANEXO III):
 - densidade = 1.597 Kg/m³ ;
 - absorção máxima de água por volume = 37,8% .

3.2 Metodologia Empregada

Usou-se a bancada de testes, cuja operacionalidade foi

testada (LAMBERTS²¹), para avaliar o desempenho térmico do cimento amianto em relação à cobertura padrão e a verificação dos modelos aproximados de cálculo. Realizaram-se 6 etapas de testes. Na primeira etapa foi colocada uma cobertura de cimento amianto, nova, no telhado Leste, com ventilação pelas aberturas das ondas. Na segunda, manteve-se a mesma cobertura e pintou-se a superfície externa das telhas de branco. Na terceira, trocou-se as telhas novas por telhas envelhecidas e enegrecidas naturalmente por 8 anos, agora, com uma abertura para ventilação de 10 cm ao longo do beiral superior e inferior, além das aberturas das ondas. Na quarta etapa conservou-se a cobertura envelhecida e diminuiu-se a ventilação, usando somente as aberturas das ondas. Na quinta etapa manteve-se a cobertura envelhecida e realizou-se uma abertura de 5 cm ao longo do beiral superior e inferior além das aberturas das ondas. A sexta e última etapa, ainda com as telhas envelhecidas e com com ventilação só pelas aberturas das ondas, foi adicionada uma folha de alumínio polido sob o plano das telhas.

Nos testes executados, as grandezas medidas, sua periodicidade e locais de medição foram os abaixo citados e referidos na figura 3.3 :

- temperatura: medida em diversos pontos, com periodicidade de 20 minutos durante 24h/dia.

- velocidade do vento: numa altura de 1,5 m acima da cumeeira com intervalos de 20 minutos durante 24h/dia. A velocidade do vento, para cada hora, foi obtida e graficada pelo resultado da média de 3 medidas feitas com intervalos de 20 minutos.

- radiação solar: medida a uma inclinação igual a do telhado, periodicidade de 20 minutos (radiação direta + difusa).

- a posição da folha de alumínio e dos pontos de aquisição das temperaturas encontra-se na figura 3.4.

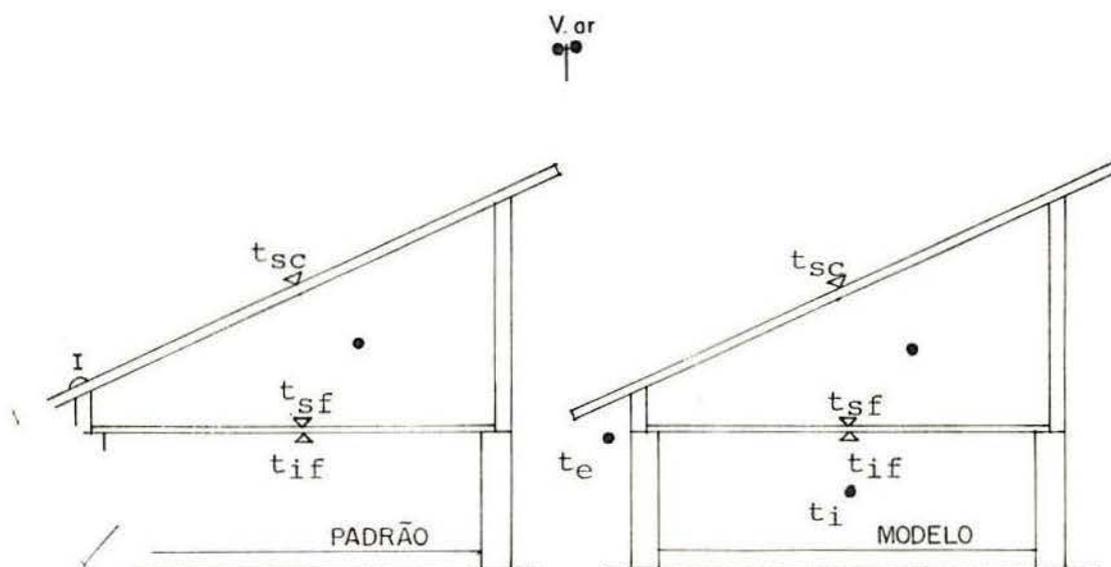


FIGURA 3.3 - Pontos de aquisição de temperaturas dos testes 1 ao 6.

▽ = ponto de aquisição das temperaturas superficiais.

• = ponto de aquisição das temperaturas do ar.

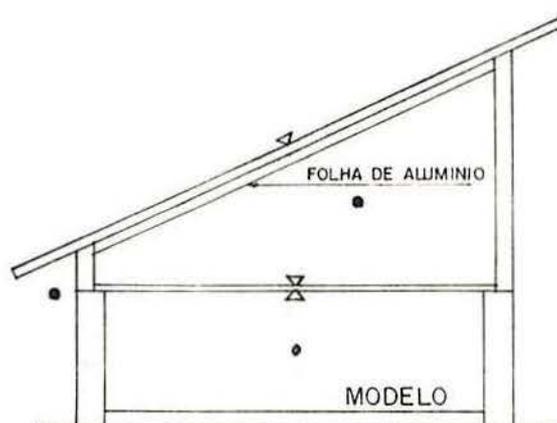


FIGURA 3.4 - Localização da folha de alumínio no ático

3.2.1 Método do Índice L^{21}

O índice L empregado, procura avaliar a relação percentual entre a densidade de fluxo térmico que entra pelo forro da cobertura testada (q_f) e a que entra pela cobertura padrão (q_c).

$$L \Rightarrow \frac{q_f}{q_c} \cdot 100 \quad (\text{eq. 1})$$

Para isto, sabendo-se que o valor da densidade de fluxo térmico é o produto da diferença de temperaturas entre faces (ΔT) pela condutância térmica do elemento, tem-se por definição:

$$L \Rightarrow \frac{\Delta T_f \cdot K_f}{\Delta T_c \cdot K_c} \cdot 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Observa-se nesta expressão que os valores das condutâncias K_f e K_c são constantes, embora desconhecidos. Com efeito, o K_f - condutância térmica dos forros -, bem como o K_c - condutância térmica da cobertura padrão de comparação -, não serão alterados no desenvolvimento da experimentação. Com isto será possível considerar o cociente entre as condutâncias como constante, definindo com precisão o índice L como:

$$L = \frac{\Delta T_f}{\Delta T_c} \cdot 100 \quad (\text{eq. 3})$$

O valor numérico de L expressa, assim, a relação entre as densidades de fluxo inicialmente procurada.

Na análise de alguns resultados, principalmente os provenientes de medições com pequena ventilação do ático, observou-se um atraso de meia hora na resposta do forro em relação a excitação externa*. A definição do L levará em conta este atra-

*Não se observou atraso quando o pique se deu durante à tarde, quando a temperatura do forro já estava em declínio

so, realizando a medição do ΔT no forro em um instante meia hora posterior:

$$L = \frac{\Delta T_f^{t+a}}{\Delta T_C^t} \cdot 100 \quad (\text{eq. 4})$$

onde

ΔT_f^{t+a} = diferença entre a temperatura superficial superior e inferior do forro no instante $t+a$ (considerando o atraso).

ΔT_C^t = diferença entre a temperatura superficial superior da cobertura e a inferior do forro na cobertura padrão.

Utilizou-se nas comparações, um índice médio (\bar{L}), que é a média entre os índices calculados na meia hora anterior ao pique da ΔT_C , na hora do pique e meia hora posterior ao mesmo, sendo calculado o índice para cada uma das coberturas modificadas ($L(m)$) e também para a cobertura padrão ($L(p)$).

O desempenho térmico da cobertura nas condições de verão será tanto melhor quanto menor o índice \bar{L} .

Para se ter uma compreensão mais evidente da significação do valor L , pode-se fazer o seguinte raciocínio: em um mesmo telhado o fluxo que atravessa 1 m^2 de forro ($q_f = \Delta T_f \cdot K_f$) será o mesmo que atravessa 1 m^2 por toda a cobertura ($q_C = \Delta T_C \cdot K_C$). É possível então fazer para a cobertura padrão,

$$\Delta T_f \cdot K_f = \Delta T_C \cdot K_C$$

de onde

$$K_C = \frac{\Delta T_f}{\Delta T_C} \cdot K_f$$

O coeficiente é a definição do $L/100$, logo para a cobertura padrão:

$$K_C = \frac{L}{100} \cdot K_f \quad (\text{eq. 5})$$

Se analisarmos, agora, a cobertura modelo na bancada, observamos que a obtenção do índice L da cobertura modelo foi feita com o valor do ΔT_{fm} , relacionada com o mesmo ΔT_{cp} . Logo,

$$L_m = \frac{\Delta T_{f(m)}}{\Delta T_{C(p)}} \cdot 100 \quad (\text{eq. 6})$$

sendo:

$$L_p = \frac{\Delta T_{f(p)}}{\Delta T_{C(p)}} \cdot 100$$

logo:

$$\Delta T_{C(p)} = \frac{\Delta T_{f(p)}}{L_p} \cdot 100$$

substituindo-se na equação 6, temos:

$$L_m = L_p \cdot \frac{q_m}{q_p}$$

logo:

$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{q_m}{q_p} \quad (\text{eq. 7})$$

isto comprova que a relação entre o índice L da cobertura modelo e o da cobertura padrão, expressa exatamente a relação entre os fluxos térmicos penetrantes por estas coberturas. Se quisermos calcular o fluxo penetrante pela cobertura modelo, os índices L nos fornecem uma via imediata. Sendo:

$$q_m = q_p \cdot \frac{L_m}{L_p}$$

Sabendo-se que:

$$q_p = \Delta T_{f(p)} \cdot K_f$$

e

$$L_p = \frac{\Delta T_{f(p)} \cdot 100}{\Delta T_{c(p)}}$$

logo:

$$q_m = \frac{\Delta T_{f(p)} \cdot \Delta T_{c(p)}}{100 \cdot \Delta T_{f(p)}} \cdot K_f \cdot L_m = \Delta T_{c(p)} \cdot K_f \cdot \frac{L_m}{100} \quad (\text{eq. 8})$$

Para o cálculo da densidade de fluxo térmico penetrante pela cobertura modelo, pode-se usar o índice L_m multiplicado pela diferença de temperatura ΔT_{cp} e pela condutância do forro, dividido por 100.

4. APLICAÇÃO E RESULTADOS

Para comparação entre as coberturas padrão e modelo, utilizou-se os dados obtidos em dias quentes e ensolarados, para que a transferência de calor fosse melhor observada e em número suficiente para confirmar o resultado. Os dados não foram todos obtidos em dias consecutivos, devido ao fato do verão portoalegrense ser entremeado com chuvas. Os índices \bar{L}_i usados para comparação, são a média entre os índices L do mesmo teste, onde o "i" corresponde ao número do teste.

Para a temperatura superficial externa das telhas, observou-se uma diferença entre um termômetro fixo e outro que se trocava de ponto sobre a telha, em intervalos médios de 10 segundos. Os telhados de cerâmica e de cimento amianto sofreram acréscimos superiores a $2,6^{\circ}\text{C}$ no termômetro móvel em relação ao fixo; ambos com ventos de 5 m/s e em dia ensolarado na hora do pique da diferença de temperatura. Esta diferença é causada pela sombra do termômetro sobre o ponto medido, porém ela não altera as conclusões visto que os valores importantes na comparação das coberturas são as temperaturas do forro, já que o ΔT de comparação é o mesmo. Assim, não foi aprofundada a análise desta diferença.

4.1 TESTE 1: Cobertura em cimento amianto nova com ventilação pelas aberturas das ondas (24 e 25 de Nov., 4, 5 e 12 de Dez. de 1983)

Nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3, encontra-se representado o comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m1^*)$, V.ar, t_e e I^{**} . Nas figuras

* m1 = refere-se à cobertura modelo do teste 1.

** V.ar = velocidade do ar exterior; t_e = temperatura do ar externo e I = a intensidade das radiações solares

ras 1 e 2 do Anexo I, encontra-se representadas as variações das temperaturas em pontos importantes das coberturas durante um dia de teste.

As tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 trazem os esquemas de cálculo dos índices L.

TABELA 4.1 - Cálculo do índice L - 24 Nov. 1983

	12:30	13:00	13:30	14:00
ΔT_c	16,7	17,0	16,9	
$\Delta T_f(p)$		4,4	4,5	4,5
$\Delta T_f(m1)$		6,3	6,4	6,3
$L(p)$	26,35	26,47	26,63	
$L(m1)$	37,72	37,65	37,28	
		$\bar{L}(p)$	= 26,48	
		$\bar{L}(m1)$	= 37,55	

TABELA 4.2 - Cálculo do índice L - 25 Nov. 1983

	13:10	13:40	14:10	14:40
ΔT_c	17,2	18,4	20,9	
$\Delta T_f(p)$		4,5	4,5	4,1
$\Delta T_f(m1)$		5,5	5,5	4,8
$L(p)$	26,16	24,46	19,62	
$L(m1)$	31,98	29,89	22,97	
		$\bar{L}(p)$	= 23,41	
		$\bar{L}(m1)$	= 28,28	

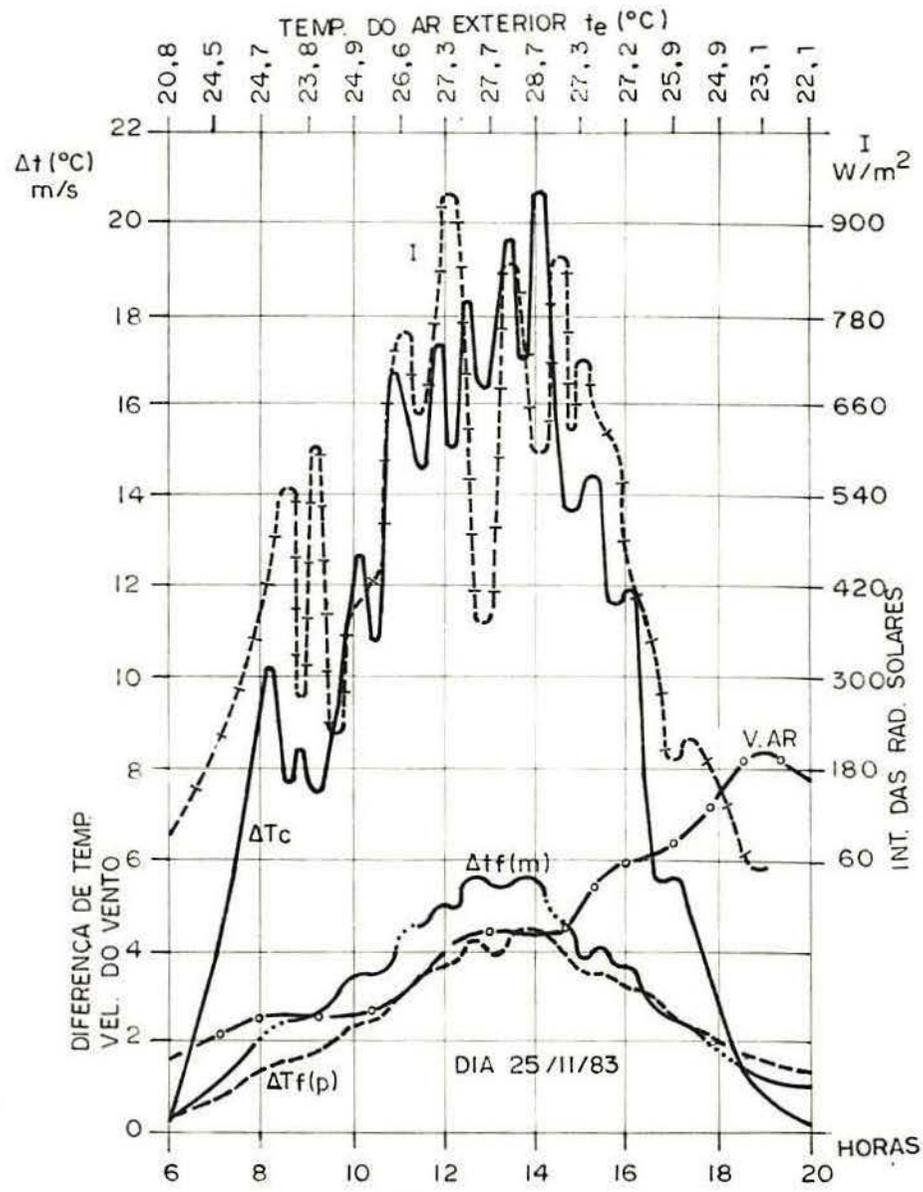
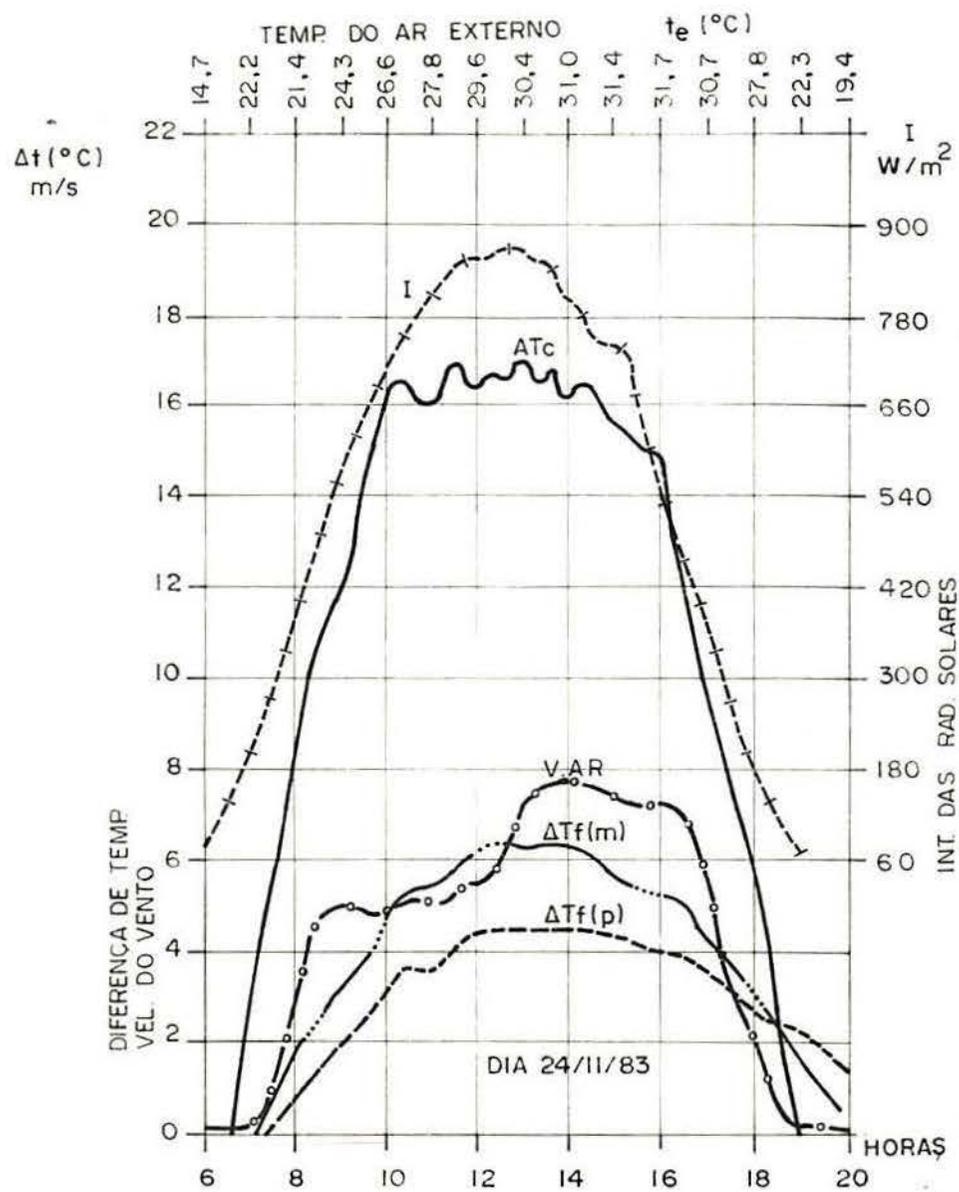


FIGURA 4.1 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 1.

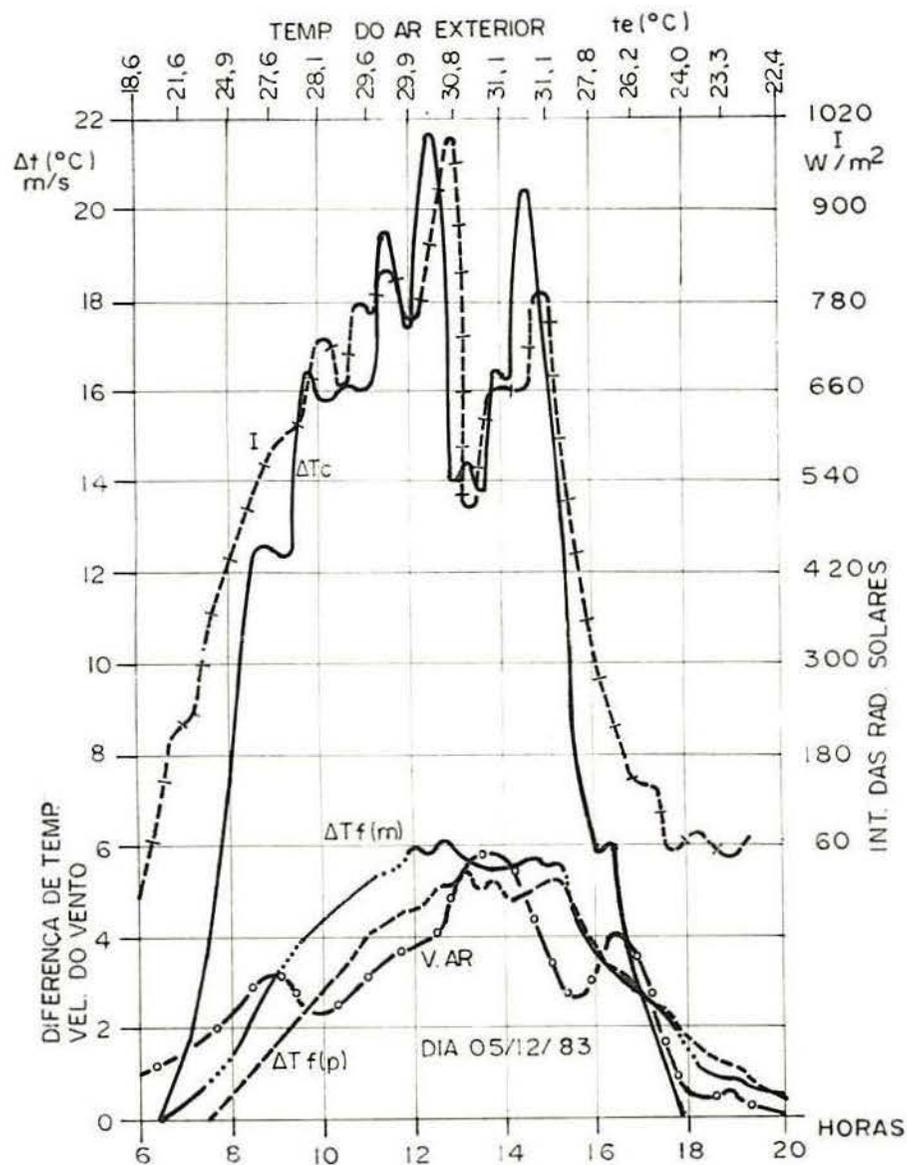
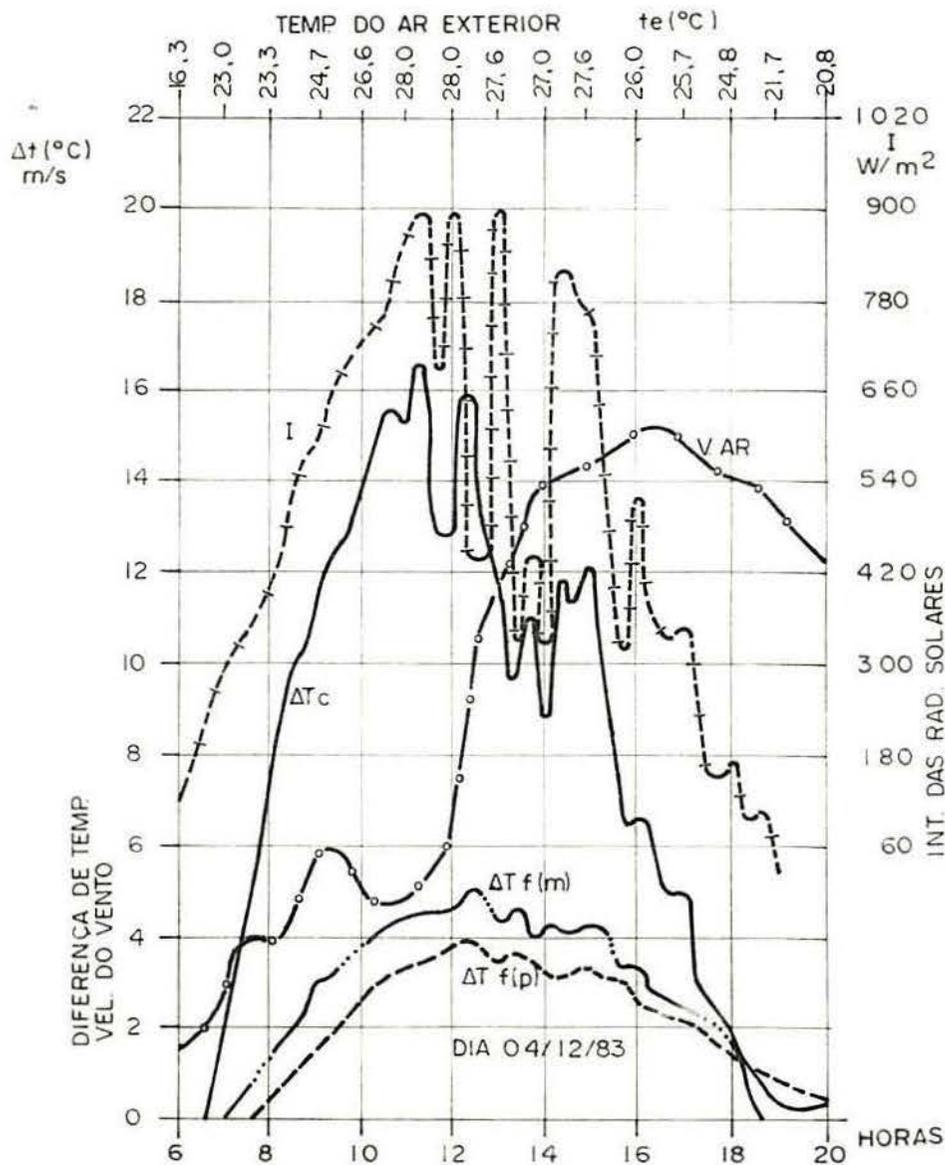


FIGURA 4.2 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 1.

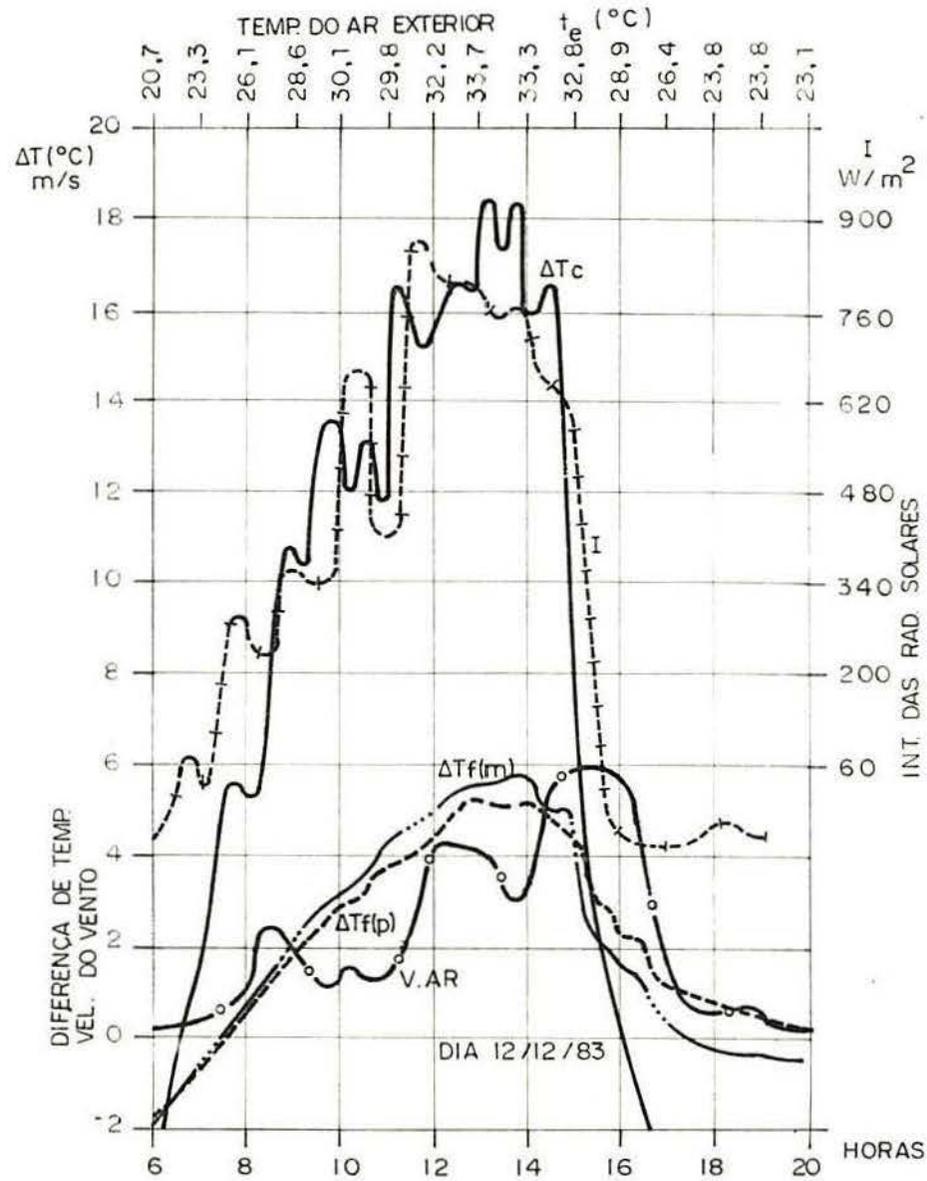


FIGURA 4.3 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 1.

TABELA 4.3 - Cálculo do índice L - 04 Dez. 1983

	10:45	11:15	11:45	12:15
ΔT_C	15,4	16,8	13,0	
$\Delta T_f(p)$		3,4	3,6	3,9
$\Delta T_f(m\ 1)$		4,6	4,6	5,1
$L(p)$	22,08	21,43	30,00	
$L(m\ 1)$	29,87	27,38	39,23	
		$\bar{L}(p) =$	24,50	
		$\bar{L}(m\ 1) =$	32,16	

TABELA 4.4 - Cálculo do índice L - 05 Dez. 1983

	12:00	12:30	13:00
ΔT_C	18,4	21,6	14,2
$\Delta T_f(p)$	4,8	5,2	5,2
$\Delta T_f(m\ 1)$	6,0	6,2	5,7
$L(p)$	26,09	24,07	36,62
$L(m\ 1)$	32,61	28,70	40,14
		$\bar{L}(p) =$	28,93
		$\bar{L}(m\ 1) =$	33,82

TABELA 4.5 - Cálculo do índice L - 12 Dez. 1983

	12:45	13:15	13:45	14:15
ΔT_C	16,5	18,3	18,0	
$\Delta T_f(p)$		5,2	5,1	5,2
$\Delta T_f(m\ 1)$		5,6	5,8	5,6
$L(p)$	31,52	27,87	28,89	
$L(m\ 1)$	33,94	31,69	31,11	
		$\bar{L}(p) =$	29,43	
		$\bar{L}(m\ 1) =$	32,25	

A tabela 4.6 traz o resumo dos índices \bar{L} no teste 1 e calcula o índice \bar{L}_1 , que é a média entre os índices \bar{L} no teste 1.

TABELA 4.6 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_1

	24 Nov.	25 Nov.	04 Dez.	05 Dez.	12 Dez.
$\bar{L}(p)$	26,48	23,41	24,50	28,93	29,43
$\bar{L}(m 1)$	37,55	28,28	32,16	33,82	32,25
			$\bar{L}_1(p) = 26,55$		
			$\bar{L}_1(m 1) = 32,81$		

É notória a diferença entre as duas coberturas. A cobertura padrão (cerâmica), apresentou um melhor desempenho térmico que a cobertura modelo (cimento amianto nova) deste teste.

4.2 **TESTE 2:** Cobertura em cimento-amianto com a face externa das telhas pintada de branco, e com ventilação pelas aberturas das ondas (15,16,17,18,28 e 29 de Dez. de 1983).

Usou-se tinta de base acrílica (marca Aquacryl).

Este teste permitiu observar a transferência de calor pela cobertura quando diminuída da absorvância à radiação solar.

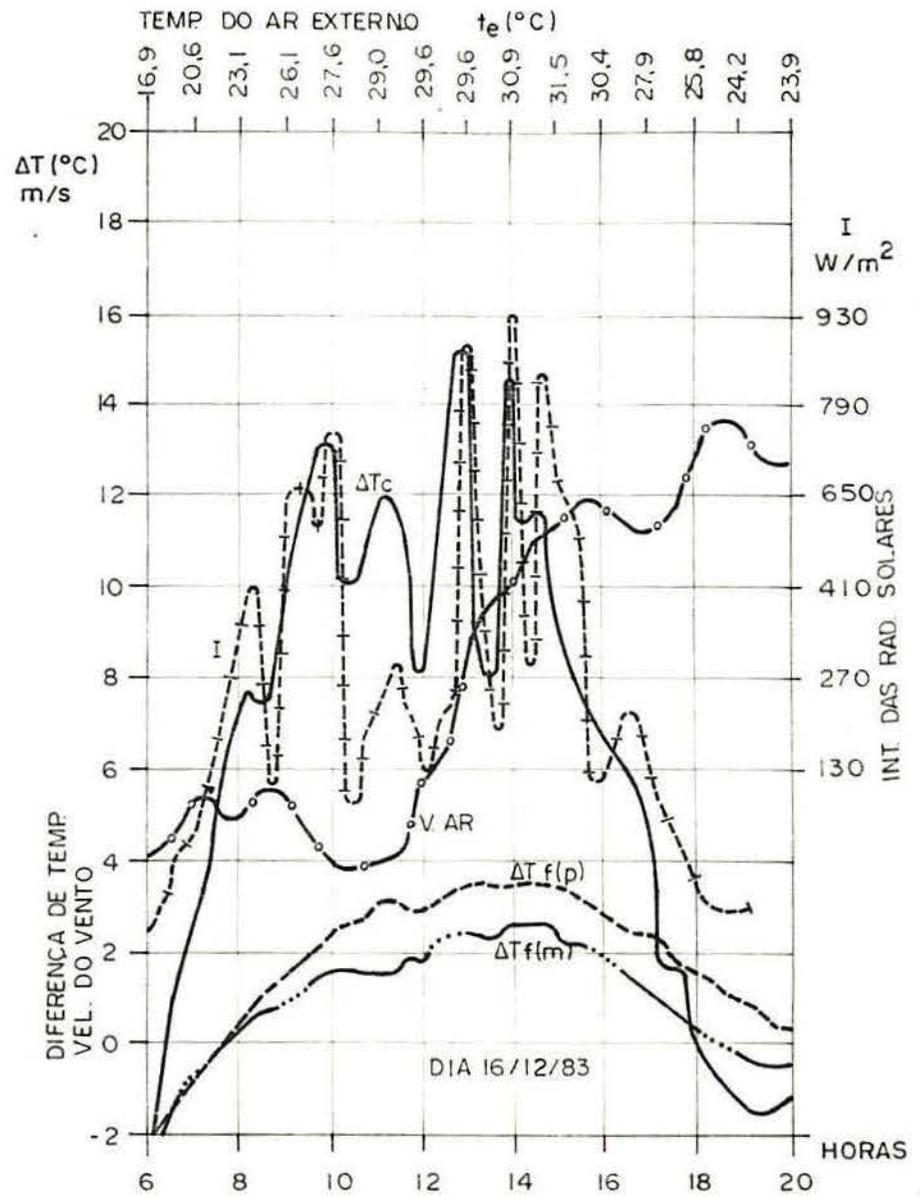
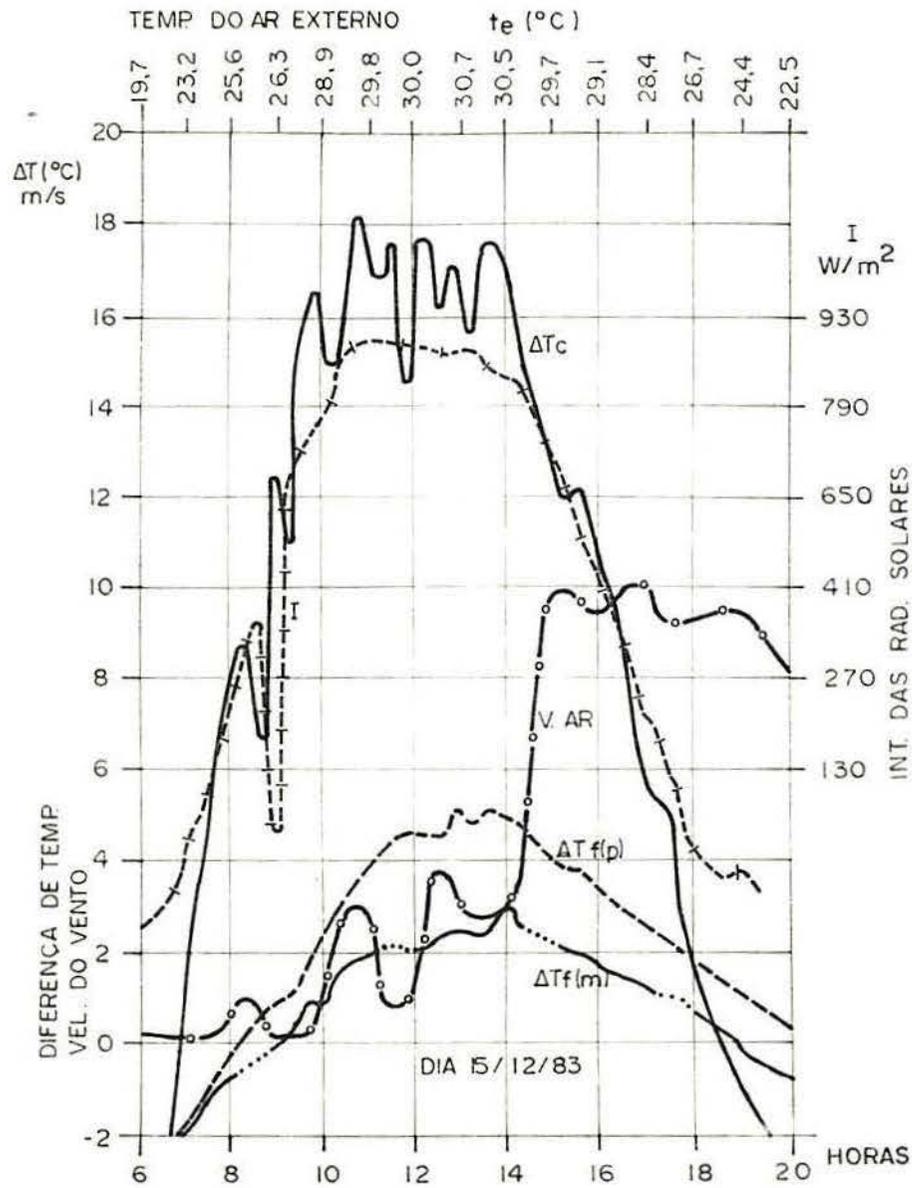
As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam o comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m2^*)$, V.ar, t_e e I. As variações das temperaturas em pontos da cobertura, durante um dia de teste, encontra-se nas figuras 3 e 4 do ANEXO I.

As tabelas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 trazem os esquemas de cálculo dos índices L.

TABELA 4.7 - Cálculo do índice L - 15 Dez. 1983.

	10:20	10:50	11:20	11:50
ΔT_c	15,2	18,2	17,2	
$\Delta T_f(p)$		3,8	4,4	4,5
$\Delta T_f(m2)$		2,1	2,4	2,3
L(p)	25,00	24,18	26,16	
L(m2)	13,82	13,19	13,37	
		$\bar{L}(p)$	= 25,11	
		$\bar{L}(m2)$	= 13,46	

* m2 = refere-se a cobertura modelo no teste 2



4.4 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 2.

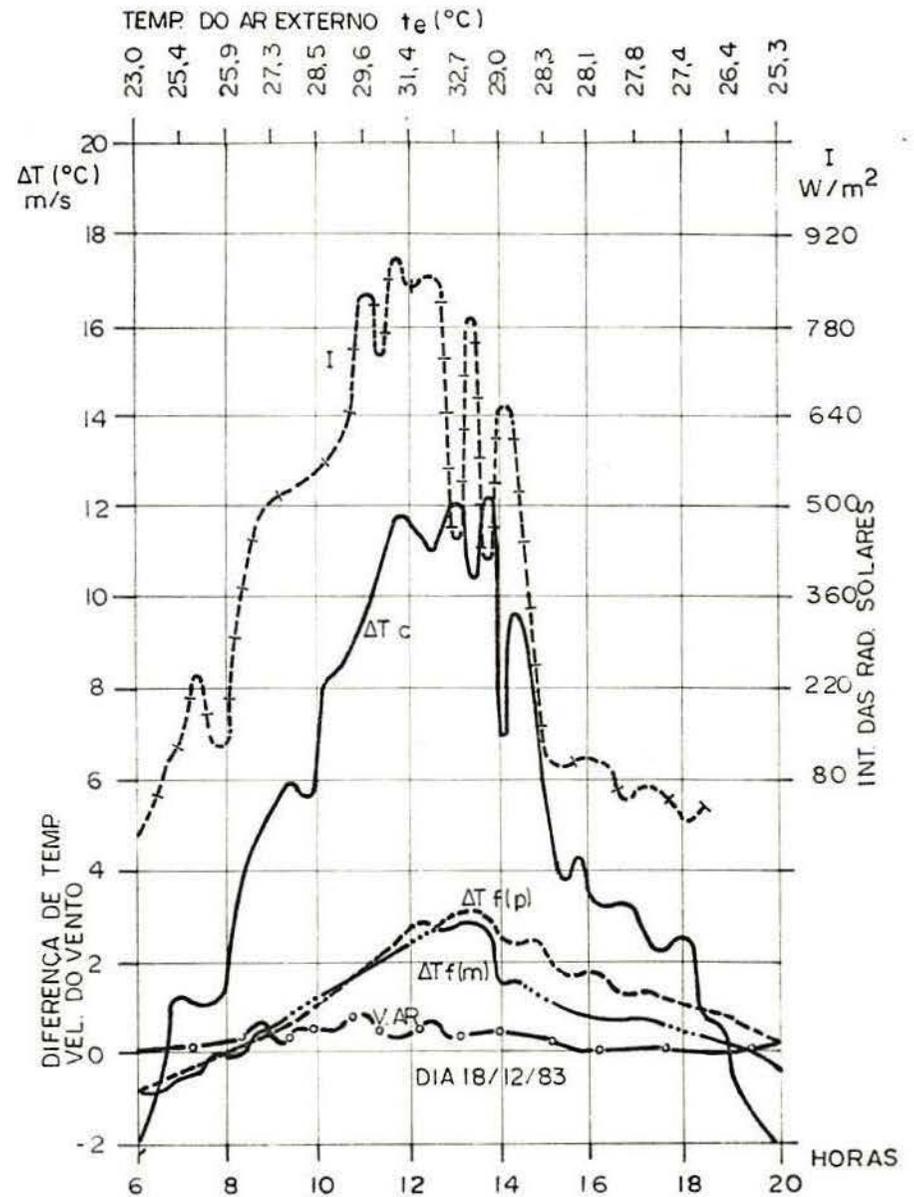
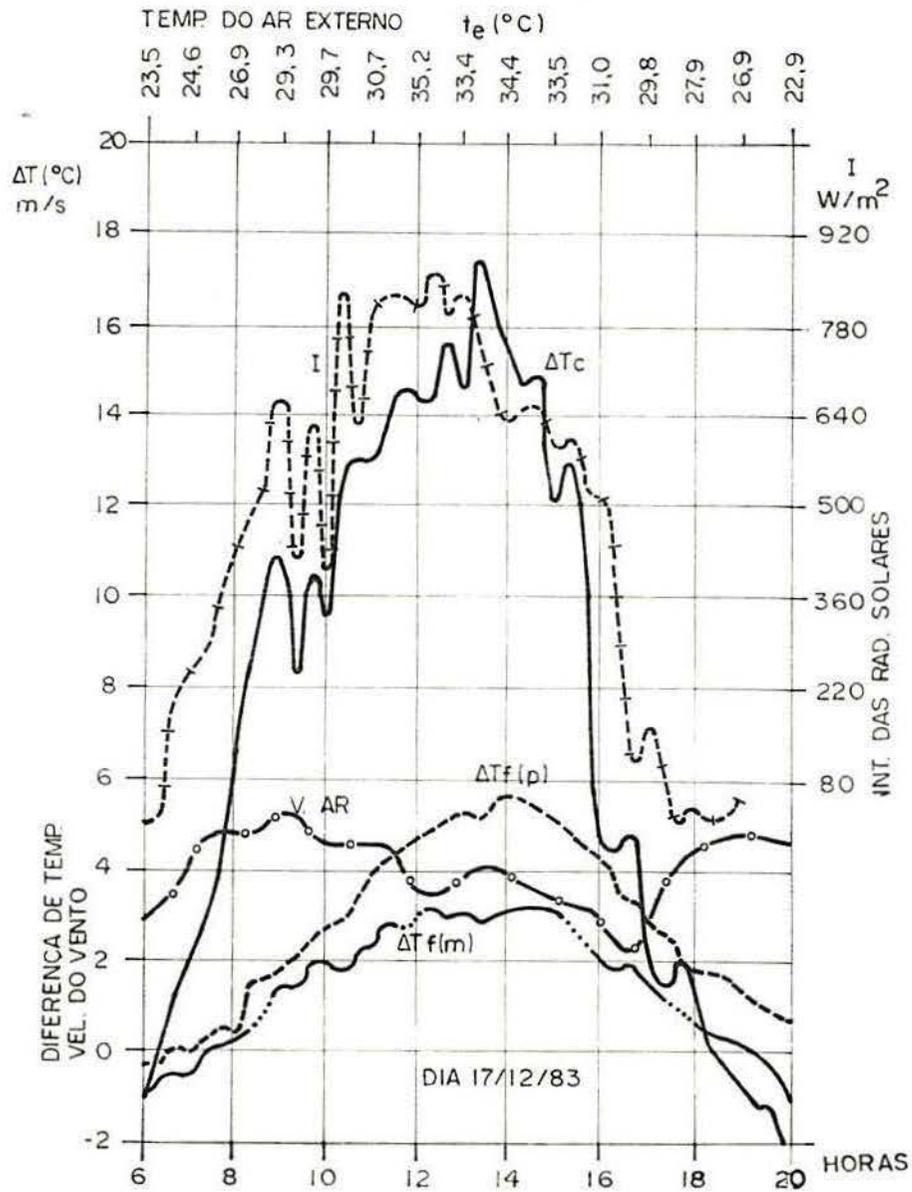


FIGURA 4.5 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 2.

TABELA 4.8 - Cálculo do índice L - 16 Dez. 1983

	12:20	12:50	13:20	13:50
ΔT_c	11,4	15,3	8,4	
$\Delta T_{f(p)}$		3,6	3,6	3,5
$\Delta T_{f(m2)}$		2,7	2,6	3,0
L (p)	31,58	23,53	41,67	
L (m2)	23,68	16,99	35,71	
		$\bar{L}(p) =$	32,26	
		$\bar{L}(m2) =$	25,46	

TABELA 4.9 - Cálculo do índice L - 17 Dez. 1983.

	12:55	13:25	13:55	14:25
ΔT_c	15,0	17,5	15,8	
$\Delta T_{f(p)}$		5,3	5,6	5,6
$\Delta T_{f(m2)}$		3,0	3,5	3,6
L (p)	35,33	32,00	35,44	
L (m2)	20,00	20,00	22,78	
		$\bar{L}(p) =$	34,26	
		$\bar{L}(m2) =$	20,93	

TABELA 4.10 - Cálculo do índice L - 18 Dez. 1983.

	12:30	13:00	13:30	14:00
ΔT_c	11,4	12,1	11,3	
$\Delta T_{f(p)}$		3,1	3,2	2,6
$\Delta T_{f(m2)}$		2,8	2,8	1,4
L (p)	27,19	26,45	23,01	
L (m2)	24,56	23,14	12,39	
		$\bar{L}(p) =$	25,55	
		$\bar{L}(m2) =$	20,03	

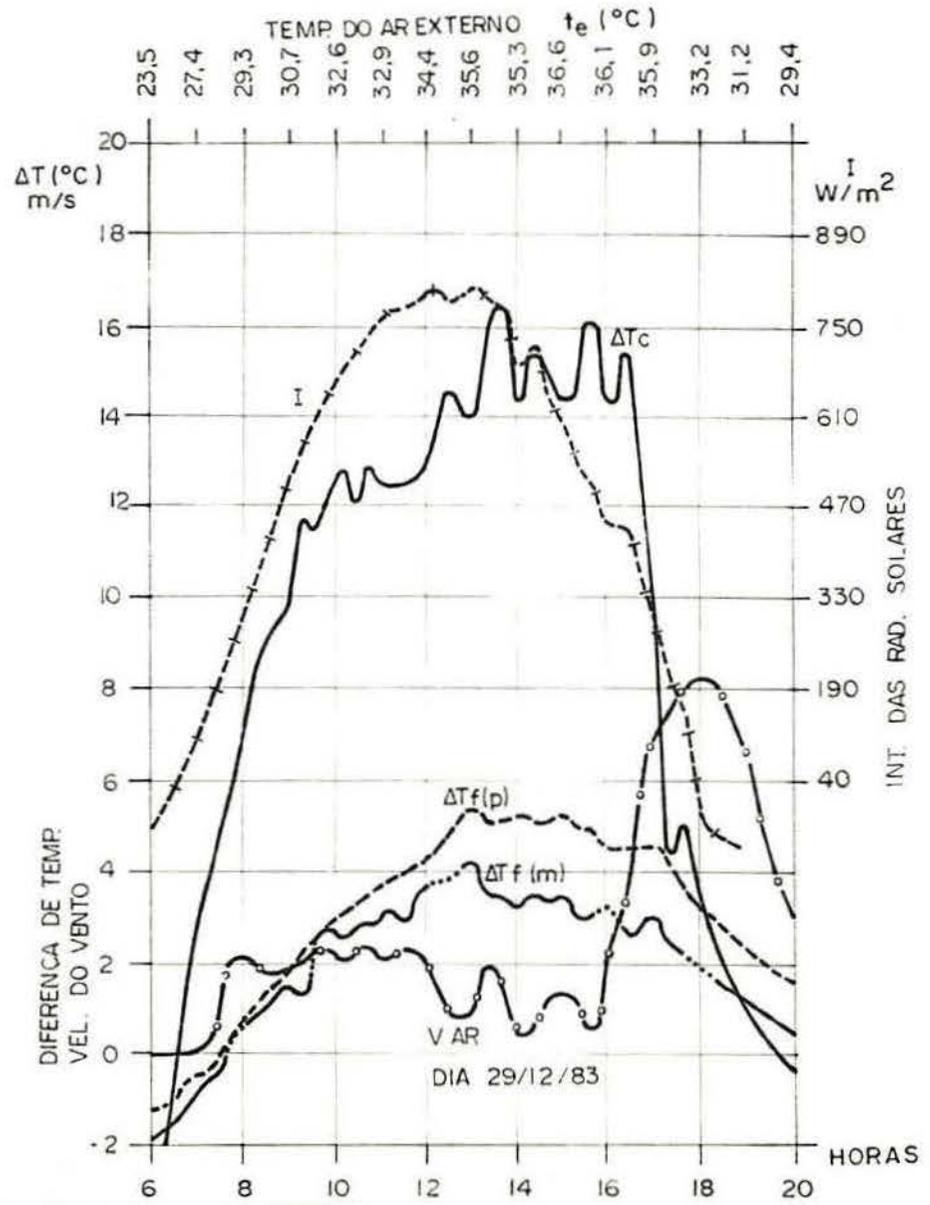
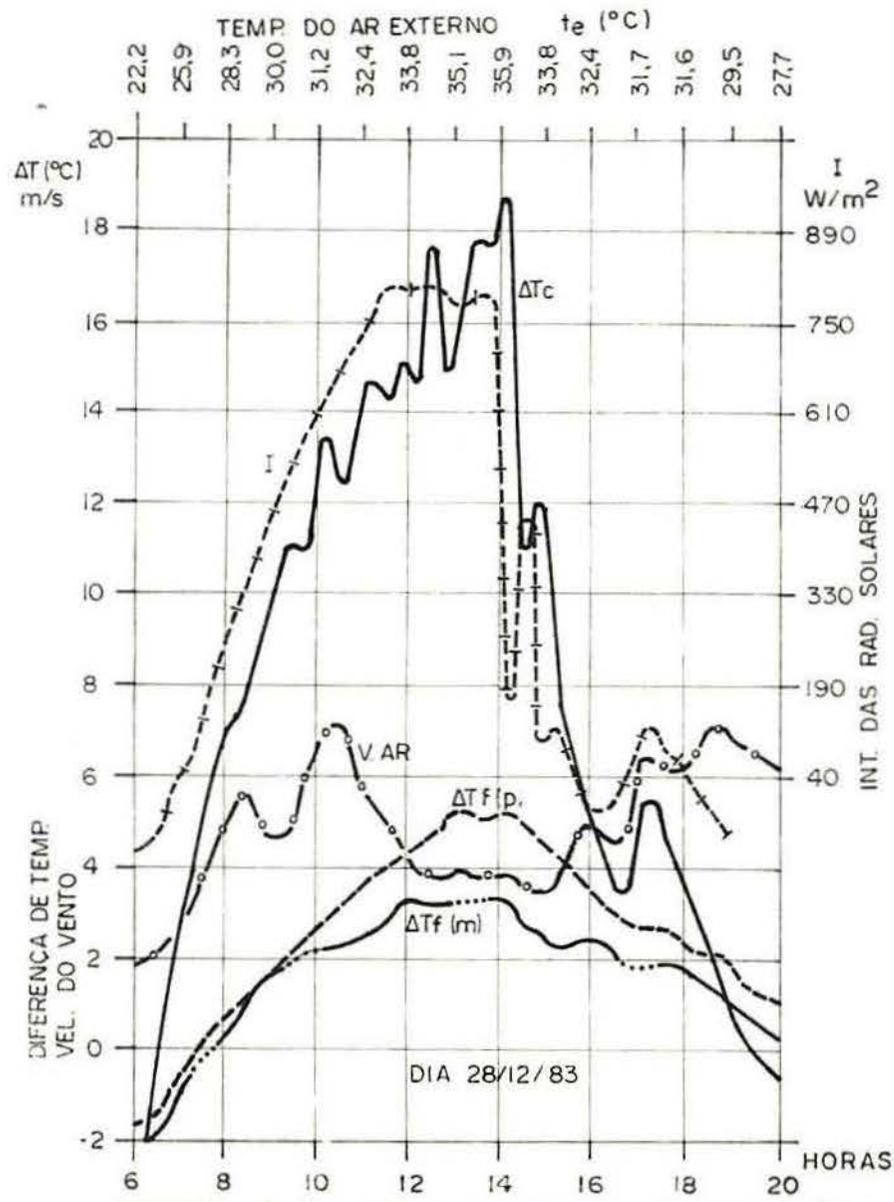


FIGURA 4.6 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 2.

TABELA 4.11 - Cálculo do índice L - 28 Dez. 1983

	13:30	14:00	14:30
ΔT_c	17,9	18,3	10,8
$\Delta T_f(p)$	5,3	5,4	5,0
$\Delta T(m2)$	3,4	3,4	2,8
L(p)	29,61	29,51	46,30
L(m2)	18,99	18,58	25,93
		$\bar{L}(p) =$	35,14
		$\bar{L}(m2) =$	21,17

Neste dia não existiu o atraso na resposta do forro em relação à excitação externa.

TABELA 4.12 - Cálculo de índice L - 29 Dez. 1983.

	13:20	13:50	14:20	14:50
ΔT_c	14,7	16,5	14,7	
$\Delta T_f(p)$		5,1	5,1	5,1
$\Delta T_f(m2)$		3,4	3,4	3,3
L(p)	34,63	30,91	34,69	
L(m2)	23,13	20,61	22,45	
		$\bar{L}(p) =$	33,43	
		$\bar{L}(m2) =$	22,06	

O cálculo do índice \bar{L}_2 e os índices \bar{L} do teste 2 estão na tabela 4.13.

TABELA 4.13 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_2

	15 Dez.	16 Dez.	17 Dez.	18 Dez.	28 Dez.	29 Dez.
$\bar{L}(p)$	25,11	32,26	34,26	25,55	35,14	33,43
$\bar{L}(m2)$	13,46	25,46	20,93	20,03	21,17	22,06
			$\bar{L}_2(p) = 30,96$			
			$\bar{L}_2(m2) = 20,52$			

A cobertura em amianto pintada de branco teve um melhor desempenho térmico que a cobertura padrão, mostrando a influência da absorvância à radiação solar sobre o desempenho térmico da cobertura.

4.3 TESTE 3: Cobertura em cimento-amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com ventilação por 10cm além da abertura das ondas (1º, 2, 5, 6, 7 e 8 de jan. de 1984).

Este é um dos testes que permite observar a influência da ventilação do ático na transferência de calor pela cobertura.

O comportamento da ΔT_C , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m3^*)$, V.ar, t_e e I. está representado nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9. A variação da temperatura em pontos das coberturas durante um dia de testes estão representadas nas figuras 5 e 6 do ANEXO I.

O esquema de cálculo dos índices L estão nas tabelas 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19.

TABELA 4.14 - Cálculo do índice L - 1º Jan. 1984

	10:50	11:20	11:50	12:20
ΔT_C	13,4	17,3	12,2	
$\Delta T_f(p)$		3,6	3,8	3,4
$\Delta T_f(m3)$	4,3	4,8	4,2	
L(p)	26,87	21,97	27,87	
L(m3)	32,09	27,75	34,43	
		$\bar{L}(p) =$	25,57	
		$\bar{L}(m3) =$	31,42	

O $\Delta T_f(m3)$ não apresentou retardamento na hora do pique.

*m3 = refere-se à cobertura modelo do teste 3.

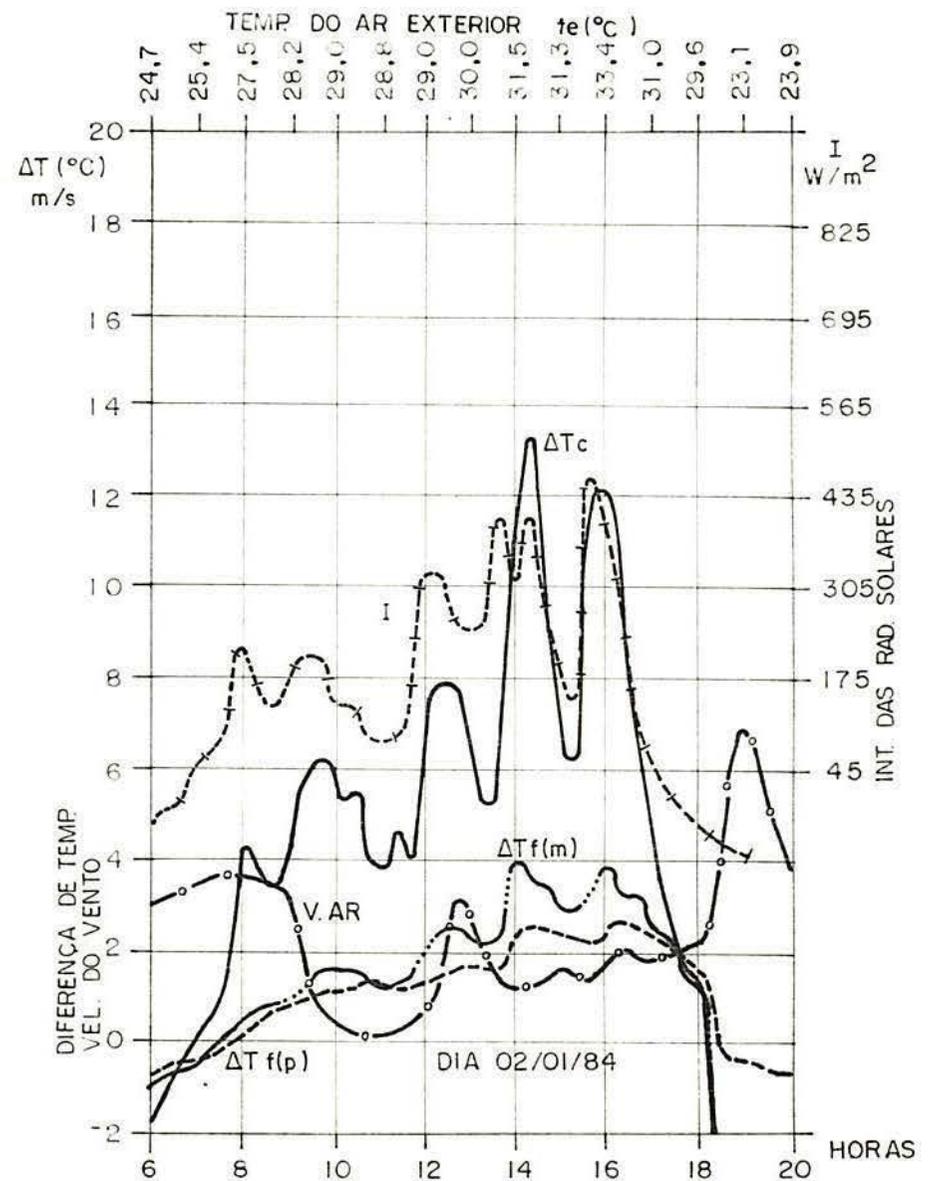
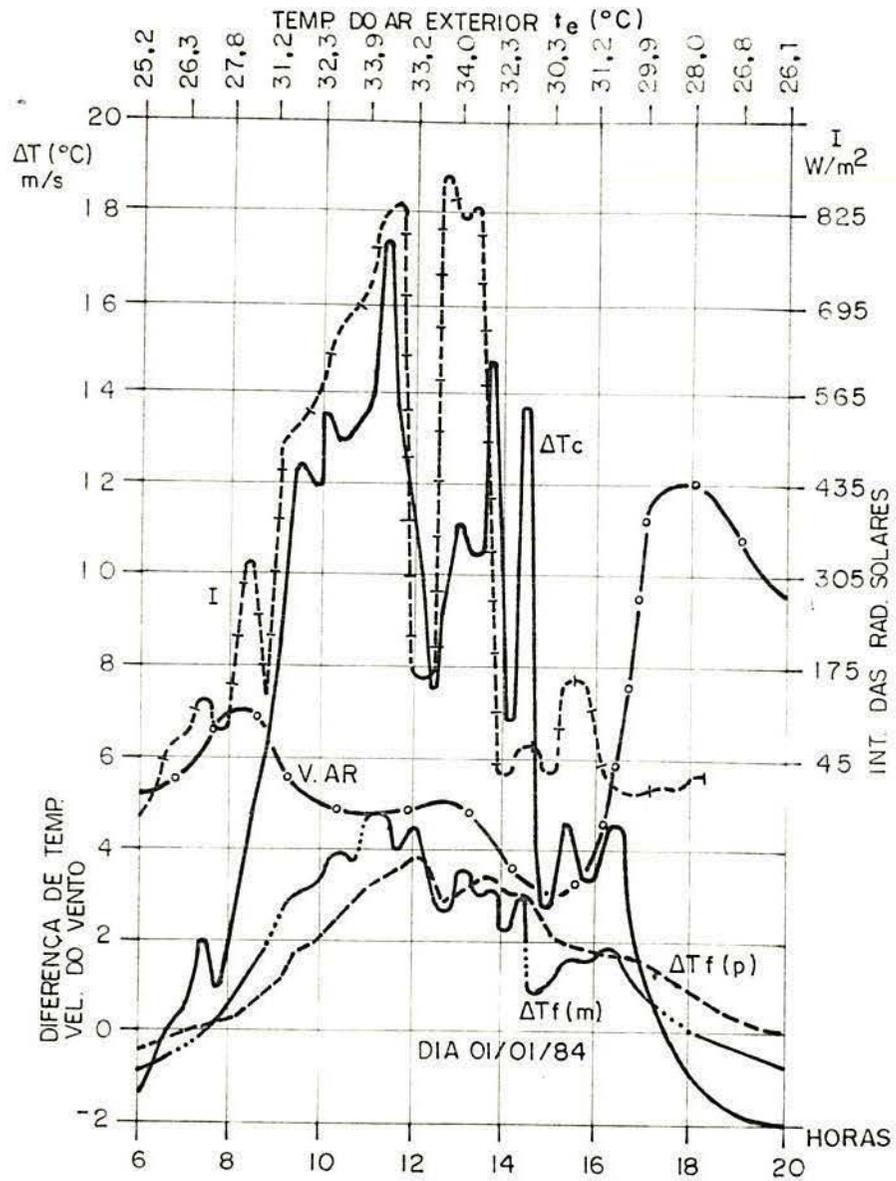


FIGURA 4. 7 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 3.

TABELA 4.15 - Cálculo do índice L - 02 Jan. 1984

	13:50	14:20	14:50	15:20
ΔT_C	9,8	13,4	8,1	
$\Delta T_f(p)$		2,6	2,6	2,6
$\Delta T_f(m3)$	3,2	3,8	3,2	
$L(p)$	26,53	19,40	26,63	
$L(m3)$	32,65	28,36	39,51	
		$\bar{L}(p) =$	25,19	
		$\bar{L}(m3) =$	33,51	

TABELA 4.16 - Cálculo do índice L - 05 Jan. 1984.

	13:30	14:00	14:30	15:00
ΔT_C	14,2	18,9	16,5	
$\Delta T_f(p)$		3,5	3,7	3,4
$\Delta T_f(m3)$	4,6	5,1	4,7	
$L(p)$	24,65	19,58	20,61	
$L(m3)$	32,39	26,98	28,48	
		$\bar{L}(p) =$	21,61	
		$\bar{L}(m3) =$	29,28	

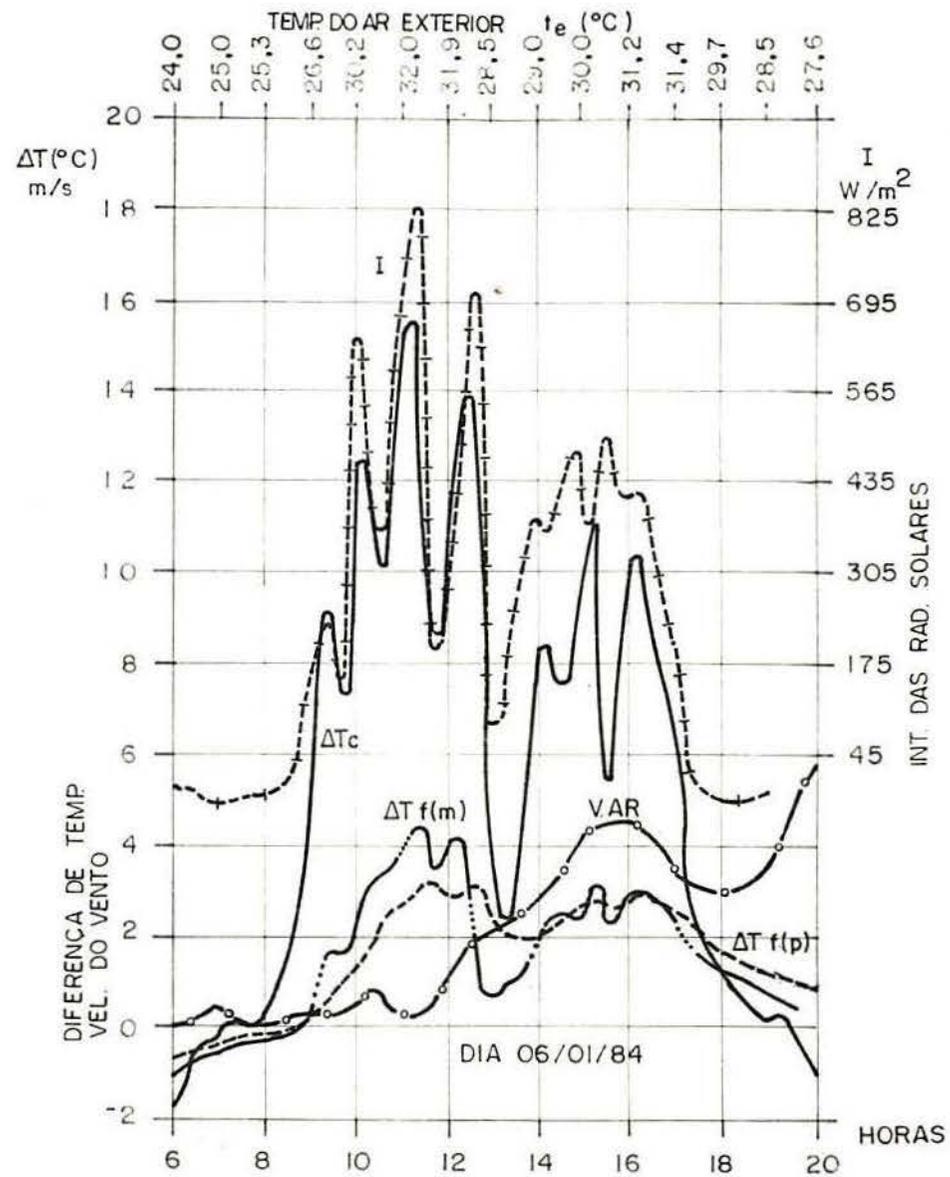
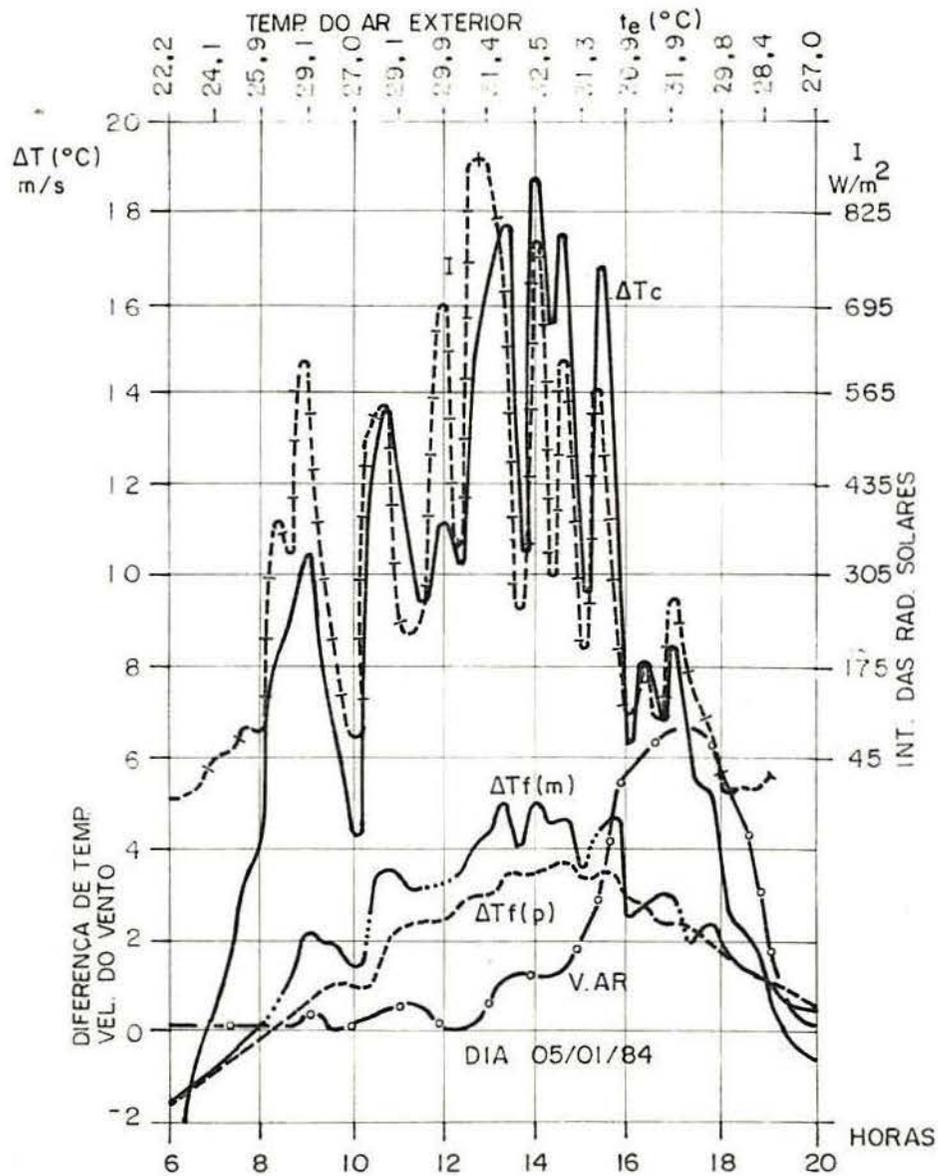


FIGURA 4.8 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 3.

TABELA 4.17 - Cálculo do índice L - 06 Jan. 1984

	10:50	11:20	11:50	12:20
ΔT_C	12,1	15,6	9,5	
$\Delta T_f(p)$		3,2	3,0	3,0
$\Delta T_f(m3)$	3,7	4,5	3,9	
L(p)	26,45	19,23	31,58	
L(m3)	30,58	28,85	41,05	
		$\bar{L}(p) =$	25,75	
		$\bar{L}(m3) =$	33,49	

TABELA 4.18 - Cálculo do índice L - 07 Jan. 1984

	12:50	13:20	13:50	14:20
ΔT_C	14,8	15,3	13,7	
$\Delta T_f(p)$		4,7	4,7	4,8
$\Delta T_f(m3)$	6,1	6,0	5,7	
L(p)	31,76	30,72	35,04	
L(m3)	41,22	39,22	41,61	
		$\bar{L}(p) =$	32,51	
		$\bar{L}(m3) =$	40,68	

O pique da ΔT_C se deu às 15:40h, e como ele só foi de 1°C acima do pique verificado às 13:20h que também coincide com o pique do forro, adotou-se os valores das 13:20h por serem mais significativos.

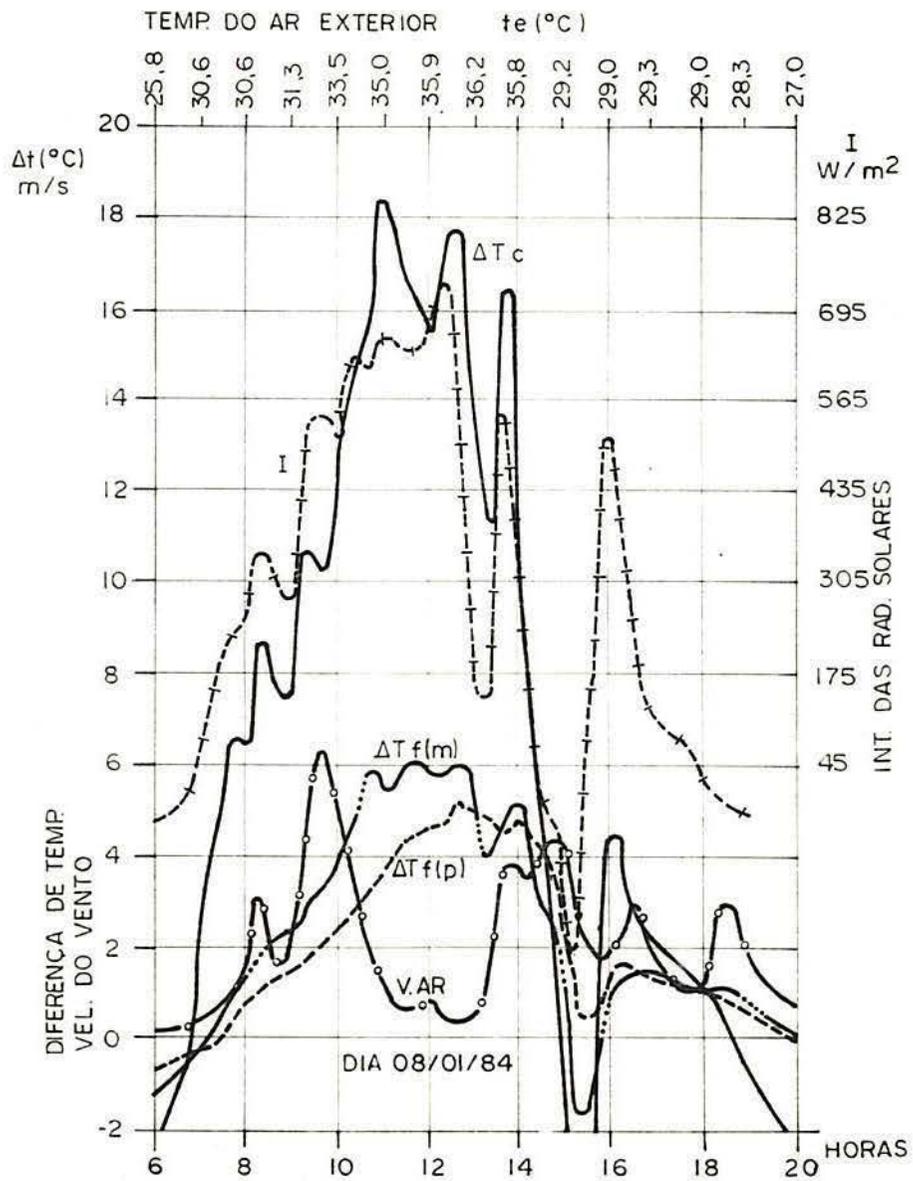
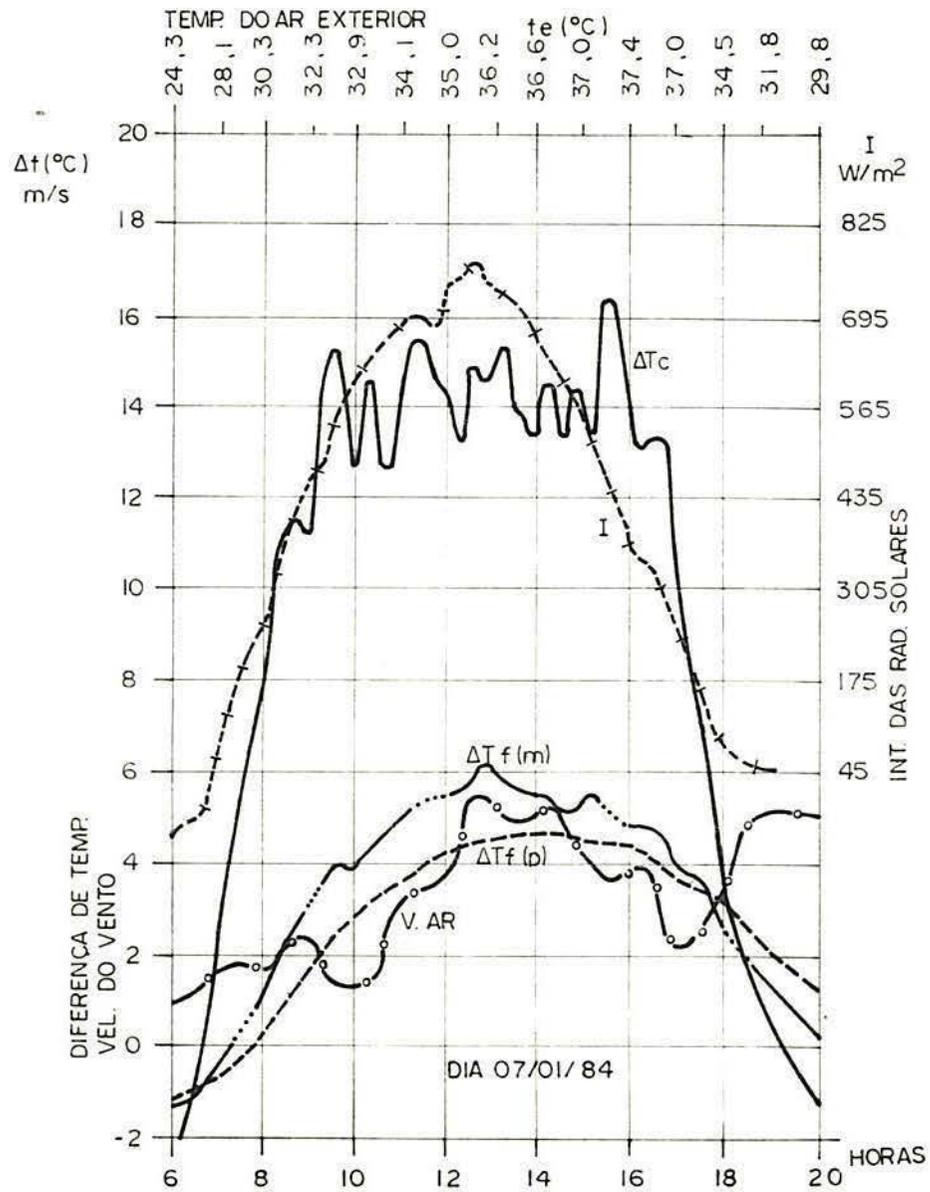


FIGURA 4.9 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V_{ar} , I e t_e - TESTE 3.

TABELA 4.19 - Cálculo do índice L - 08 Jan. 1984

	10:30	11:00	11:30	12:00
ΔT_c	14,9	18,4	17,0	
$\Delta T_f(p)$		3,9	4,3	4,8
$\Delta T_f(m3)$	4,8	5,5	6,0	
$L(p)$	26,17	23,37	28,24	
$L(m3)$	32,21	29,89	35,29	
		$\bar{L}(p) =$	25,93	
		$\bar{L}(m3) =$	32,46	

O cálculo do índice \bar{L}_3 está na tabela 4.20 juntamente com os índices \bar{L} do teste 3.

TABELA 4.20 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_3

	1º Jan.	02 Jan.	05 Jan.	06 Jan.	07 Jan.	08 Jan.
$\bar{L}(p)$	25,57	25,19	21,61	25,75	32,51	25,93
$\bar{L}(m3)$	31,42	33,51	29,28	33,49	40,68	32,46
			$\bar{L}_3(p) =$	26,09		
			$\bar{L}_3(m3) =$	33,47		

Está bem caracterizado o melhor desempenho térmico da cobertura padrão em relação à cobertura do testes 3.

4.4 TESTE 4: Cobertura em cimento-amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos e ventilada só pelas aberturas das ondas (24, 26, 27, 28 e 29 de Jan. de 1984).

Este teste também permite observar a influência da ventilação do ático na transferência de calor pela cobertura.

As variações da temperatura em pontos da cobertura durante um dia de testes estão representadas nas figuras 7 e 8 do ANEXO I. O comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m4^*)$, $V.ar$, t_e e I , está representado nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12.

Nas tabelas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 estão apresentados os esquemas de cálculo dos índices L .

TABELA 4.21 - Cálculo do índice L - 24 Jan. 1984.

	10:50	11:20	11:50	12:20
ΔT_c	14,0	14,7	14,4	
$\Delta T_f(p)$		3,6	4,1	4,6
$\Delta T_f(m4)$		4,6	5,2	5,1
$L(p)$	25,71	27,89	31,94	
$L(m4)$	32,86	35,37	35,42	
		$\bar{L}(p) =$	28,51	
		$\bar{L}(m4) =$	34,55	

*m4 = refere-se à cobertura modelo do teste 4.

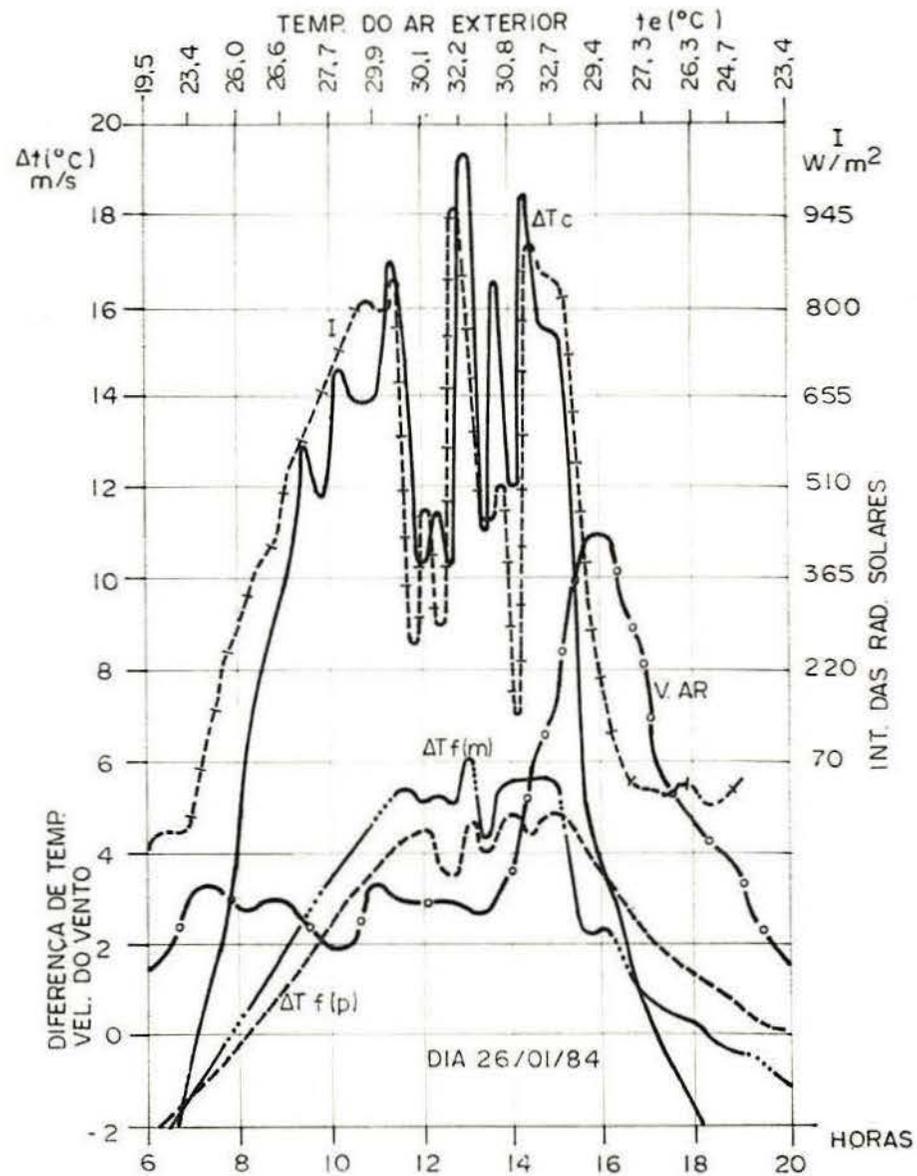
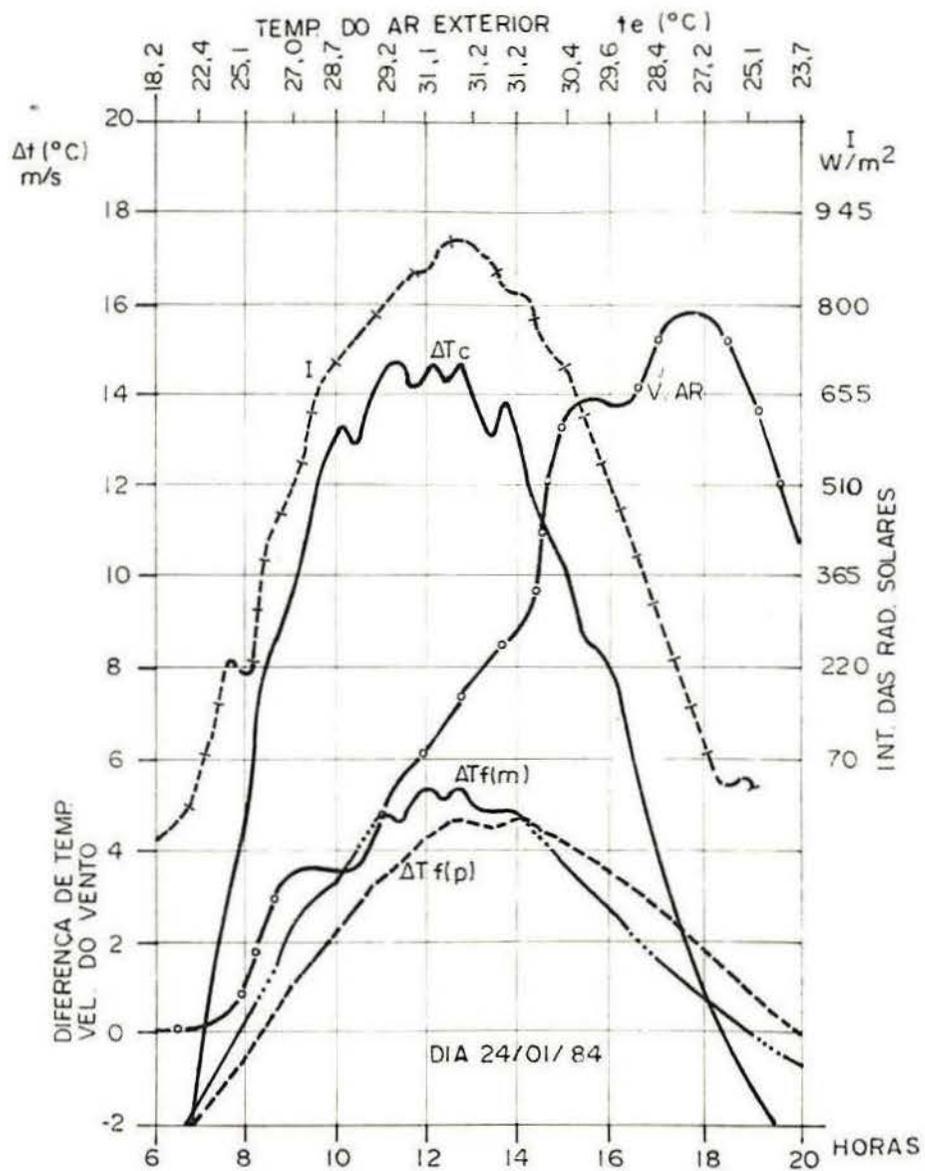


FIGURA 4.10 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V_{ar} , I e t_e - TESTE 4.

TABELA 4.22 - Cálculo do índice L - 26 Jan. 1984

	12:30	13:00	13:30
ΔT_C	10,9	19,5	13,8
$\Delta T_f(p)$	3,8	4,7	4,2
$\Delta T_f(m4)$	4,1	6,2	4,9
$L(p)$	34,86	24,10	30,43
$L(m4)$	37,61	31,79	35,51
		$\bar{L}(p) =$	29,80
		$\bar{L}(m4) =$	34,97

O $\Delta T_f(p)$ e $\Delta T_f(m4)$ não apresentaram retardamento na hora do pique.

TABELA 4.23 - Cálculo do índice L - 27 Jan. 1984*

	11:30	12:00	12:30	13:00
ΔT_C	9,6	13,1	10,9	
$\Delta T_f(p)$		2,6	3,0	3,5
$\Delta T_f(m4)$		4,1	4,5	5,1
$L(p)$	27,08	22,90	32,11	
$L(m4)$	42,71	34,35	46,79	
		$\bar{L}(p) =$	27,36	
		$\bar{L}(m4) =$	41,28	

*houve chuva leve na noite do dia 26-01-84.

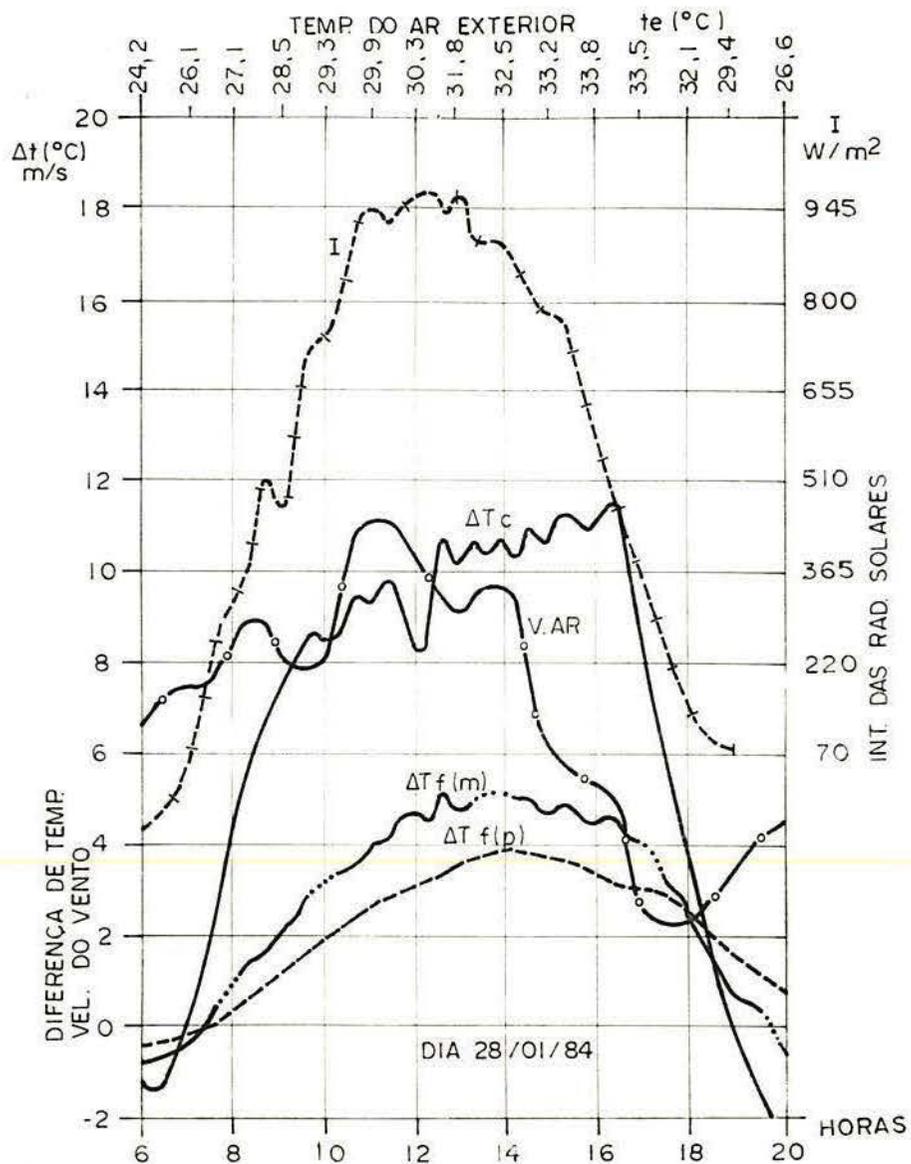
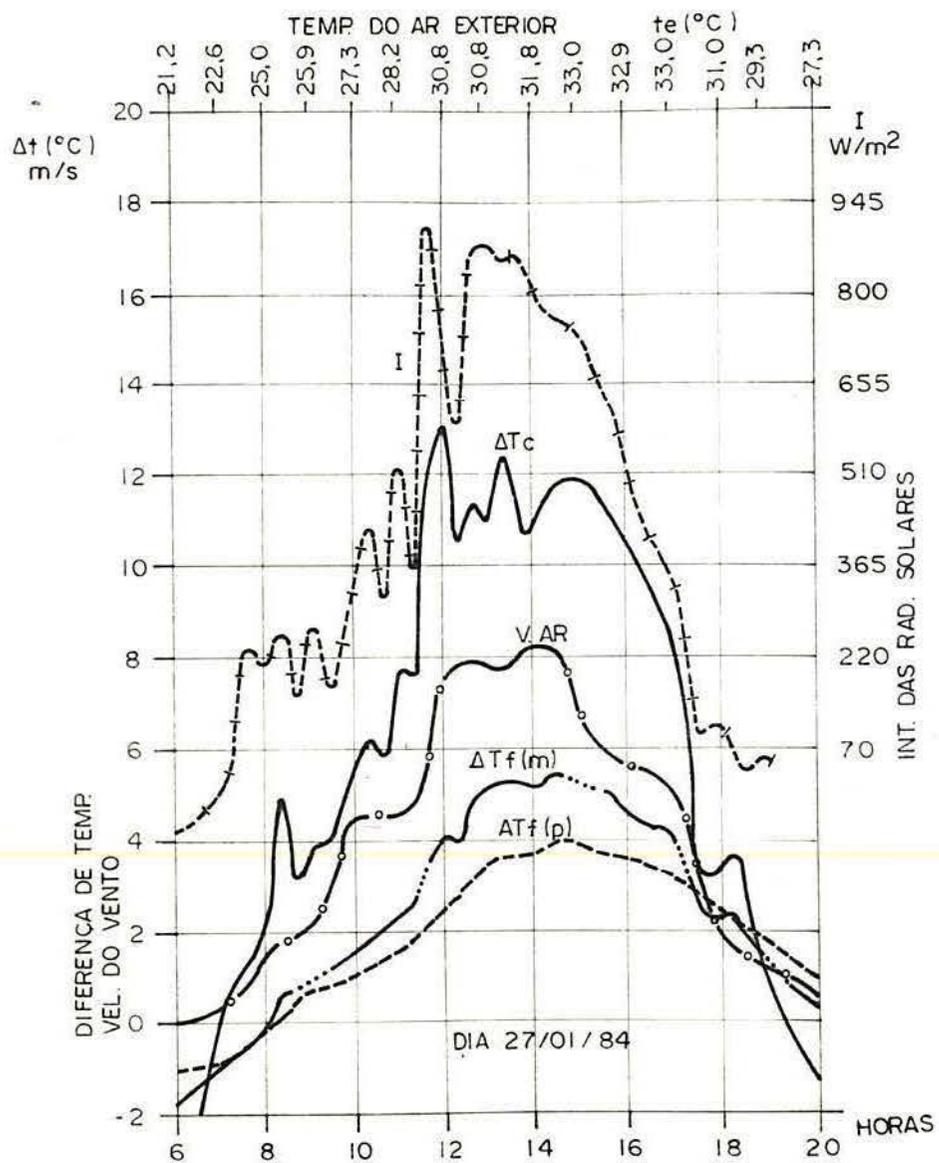


FIGURA 4.11 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 4.

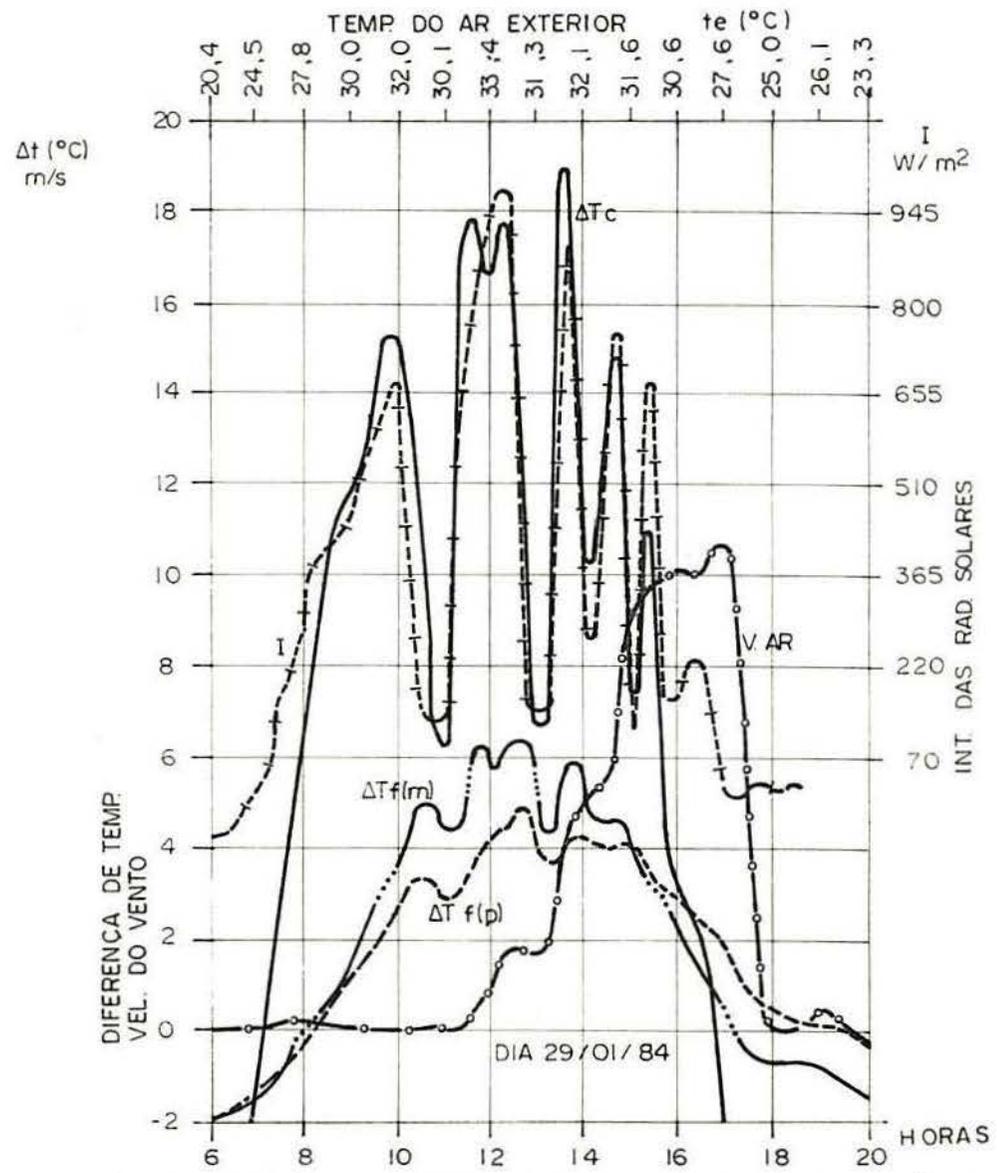


FIGURA 4.12 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar e t_e - TESTE 4.

TABELA 4.24 - Cálculo do índice L - 28 Jan. 1984

	14:10	14:40	15:10
ΔT_C	9,8	10,9	10,8
$\Delta T_f(p)$	3,8	4,0	3,7
$\Delta T_f(m4)$	5,1	5,0	4,8
$L(p)$	38,78	36,70	34,26
$L(m4)$	52,04	45,87	44,44
		$\bar{L}(p) =$	36,58
		$\bar{L}(m4) =$	47,45

TABELA 4.25 - Cálculo do índice L - 29 Jan. 1984

	13:10	13:40	14:10
ΔT_C	7,1	19,0	10,7
$\Delta T_f(p)$	3,8	4,2	4,2
$\Delta T_f(m4)$	4,5	6,0	4,7
$L(p)$	53,52	22,11	39,25
$L(m4)$	63,38	31,58	43,93
		$\bar{L}(p) =$	38,29
		$\bar{L}(m4) =$	46,30

A tabela 4.26 traz o resumo dos índices \bar{L} do teste 4 e calcula o índice \bar{L}_4 .

TABELA 4.26 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_4

	24 Jan.	26 Jan.	27 Jan.	28 Jan.	29 Jan.
$\bar{L}(p)$	28,51	29,80	27,36	36,58	38,29
$\bar{L}(m4)$	34,55	34,97	41,28	47,45	46,30
			$\bar{L}_4(p)$	= 32,11	
			$\bar{L}_4(m4)$	= 40,91	

A cobertura padrão apresentou melhor desempenho técnico que a cobertura modelo, neste teste.

4.5 TESTE 5 - Cobertura em cimento-amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com ventilação por 5 cm além da abertura das ondas (8,9,11 e 12 de Fev. de 1984).

Variando a abertura para renovação do ar do ático, pode-se observar sua influência no desempenho térmico de verão na cobertura modelo.

O comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m5^*)$, V.ar e I., em contra-se representado nas figuras 4.13 e 4.14. Nas figuras 9 e 10, do ANEXO I, estão as variações das temperaturas em pontos importantes das coberturas durante um dia de teste.

As tabelas 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30 contêm os esquemas de cálculo dos índices L.

TABELA 4.27 - Cálculo do índice L - 08 Fev. 1984.

	14:10	14:40	15:10
ΔT_c	15,2	18,8	17,8
$\Delta T_f(p)$	5,3	5,3	5,3
$\Delta T_f(m5)$	5,9	6,1	6,1
L(p)	34,87	28,19	29,78
L(m5)	38,82	32,45	34,27
		$\bar{L}(p) =$	30,95
		$\bar{L}(m5) =$	35,18

*m5 = refere-se à cobertura modelo do teste 5.

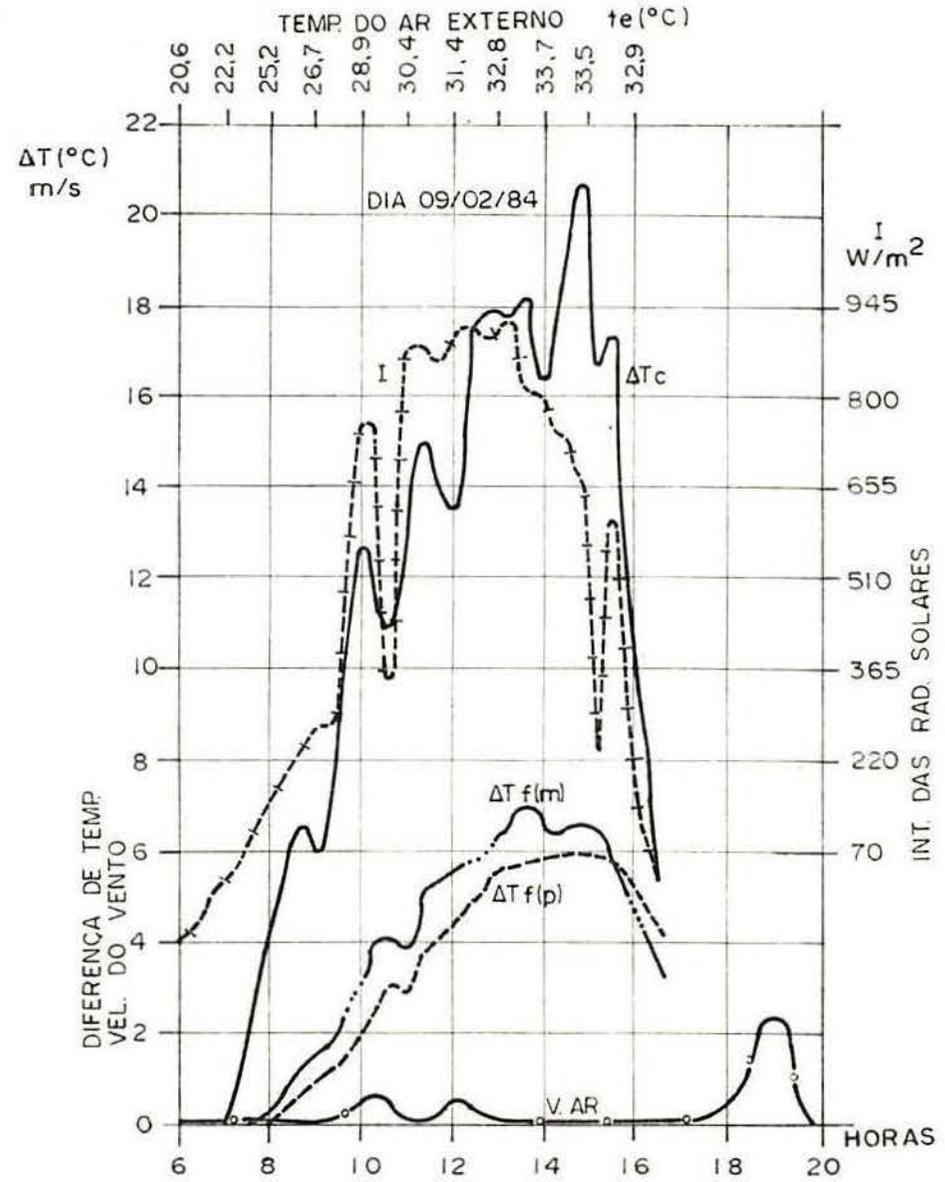
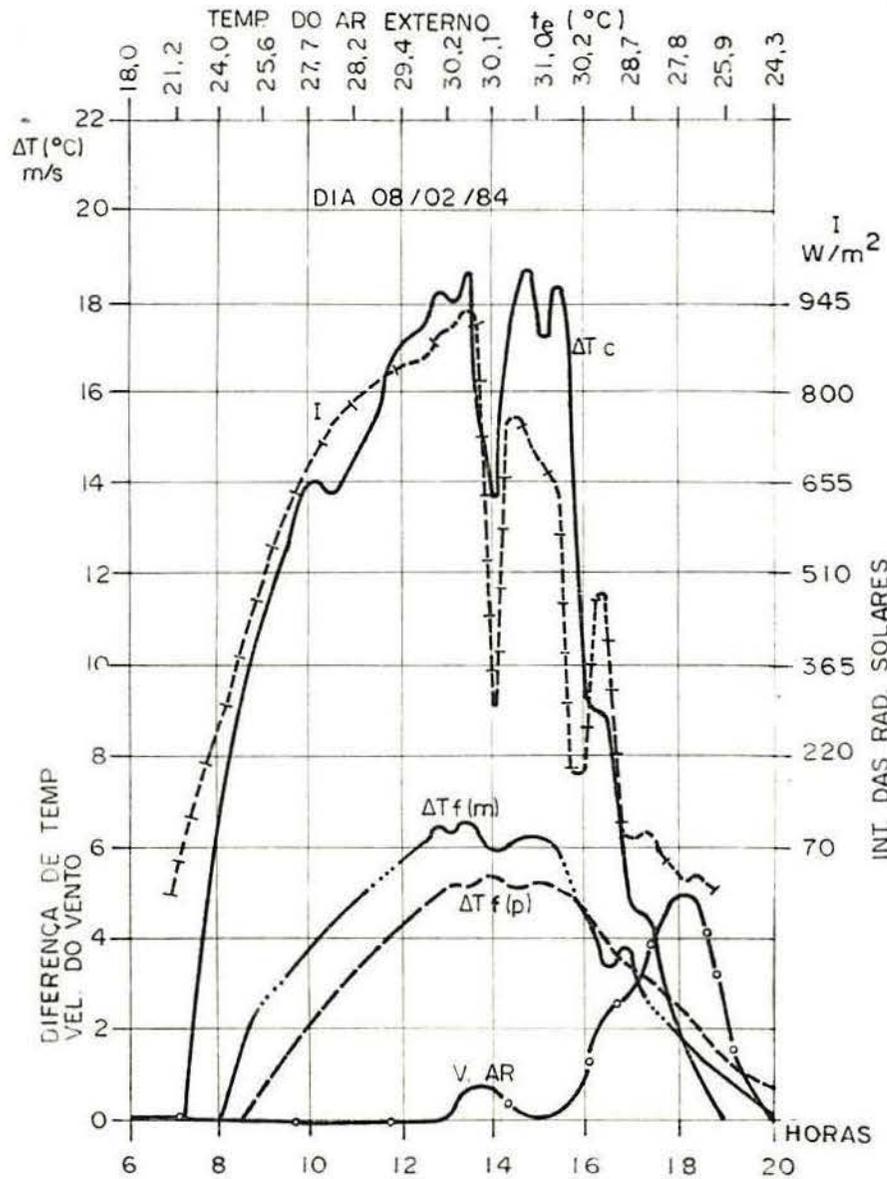


FIGURA 4.13 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 5.

TABELA 4.28 - Cálculo do índice L - 09 Fev. 1984.

	14:30	15:00	15:30
ΔT_C	17,9	20,8	17,1
$\Delta T_f(p)$	5,9	6,0	5,8
$\Delta T_f(m5)$	6,5	6,6	6,1
L(p)	32,96	28,85	33,92
L(m5)	36,31	31,73	35,67
		$\bar{L}(p) =$	31,91
		$\bar{L}(m5) =$	34,57

TABELA 4.29 - Cálculo do índice L - 11 Fev. 1984.

	14:40	15:10	15:40
ΔT_C	16,2	18,1	14,9
$\Delta T_f(p)$	5,7	5,6	5,5
$\Delta T_f(m5)$	6,3	6,4	5,6
L(p)	35,19	30,94	36,91
L(m5)	38,89	35,36	37,58
		$\bar{L}(p) =$	34,35
		$\bar{L}(m5) =$	37,28

TABELA 4.30 - Cálculo do índice L - 12 Fev. 1984.

	14:00	14:30	15:00
ΔT_C	16,5	19,0	16,1
$\Delta T_f(p)$	5,7	5,7	5,7
$\Delta T_f(m5)$	6,6	6,4	6,2
L(p)	34,55	30,00	35,40
L(m5)	40,00	33,68	38,51
		$\bar{L}(p) =$	33,32
		$\bar{L}(m5) =$	37,40

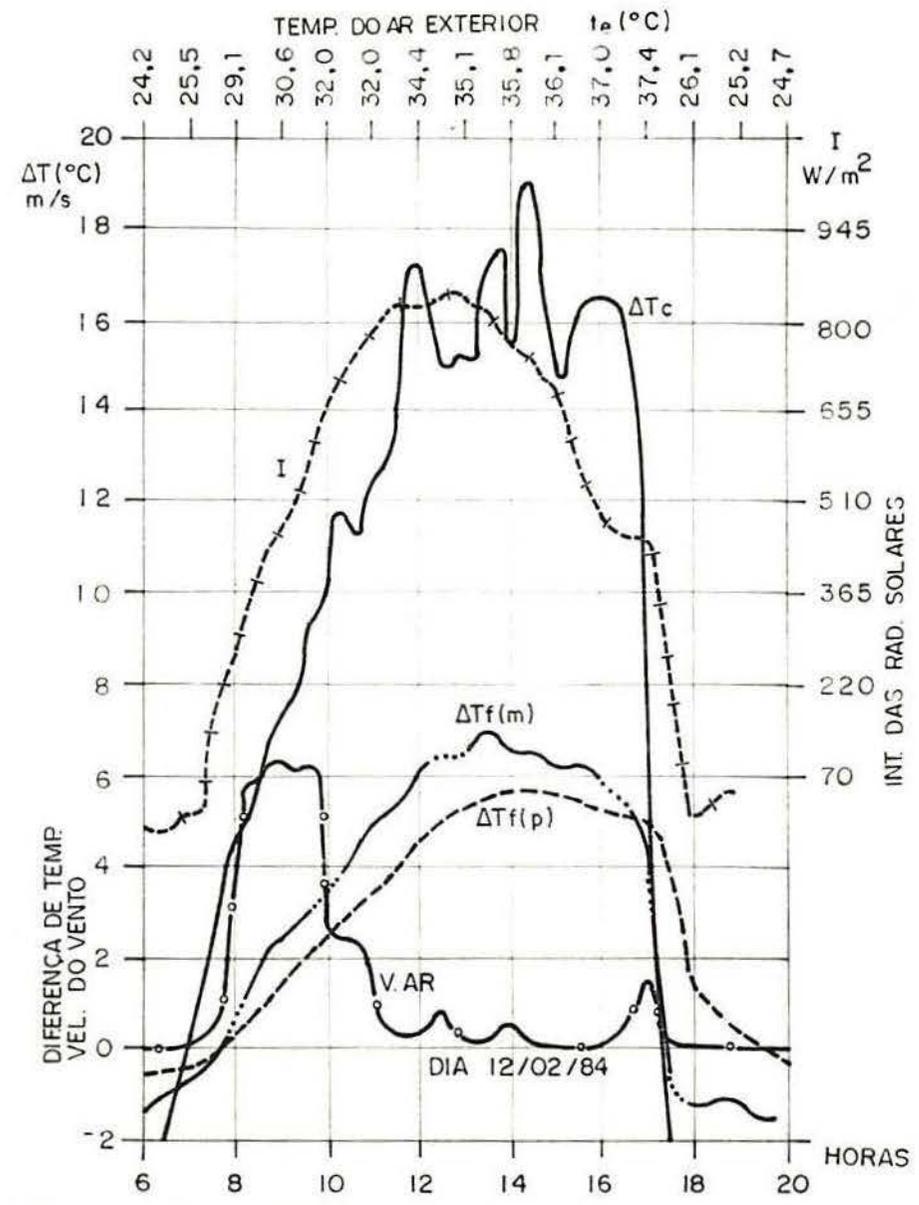
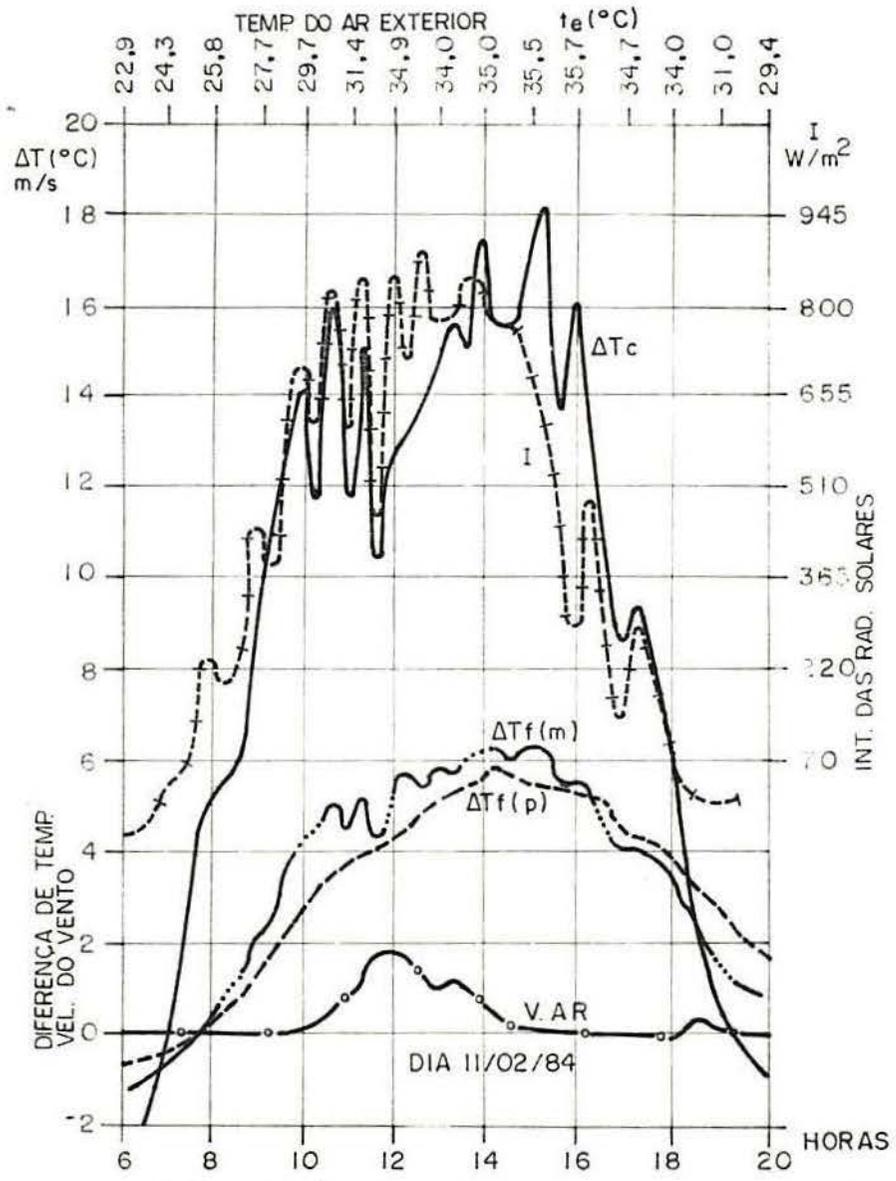


FIGURA 4.14 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 5.

A tabela 4.31 traz o cálculo do índice \bar{L}_5 e o resumo dos índices \bar{L} .

TABELA 4.31 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_5

	08 Fev.	09 Fev.	11 Fev.	12 Fev.
$\bar{L}(p)$	30,95	31,91	34,35	33,32
$\bar{L}(m5)$	35,18	34,54	37,28	37,40
			$\bar{L}_5(p) =$	32,63
			$\bar{L}_5(m5) =$	36,10

Neste teste, os resultados do telhado padrão foram melhores que aqueles do telhado modelo.

4.6 **TESTE 6** - Cobertura em cimento amianto envelhecida e enegrecida naturalmente por 8 anos, com uma folha de alumínio polido sob as telhas e com ventilação só pelas aberturas das ondas no espaço compreendido entre as telhas e a folha de alumínio (14, 15, 16, 18, 19 e 20 de Fev. de 1984).

Este teste permitiu observar a transferência de calor pela cobertura, quando há uma redução na troca de radiação entre o telhado e o forro, devido a folha de alumínio polido sob as telhas.

As figuras 4.15, 4.16 e 4.17 apresentam o comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m6^*)$, V.ar, te e I. As variações das temperaturas em pontos da cobertura, durante um dia de teste, estão representadas nas figuras 11 e 12 do ANEXO I.

As tabelas 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37 trazem os esquemas de cálculo dos índices L.

TABELA 4.32 - Cálculo do índice L - 14 Fev. 1984

	13:45	14:15	14:45	15:15
ΔT_c	18,6	20,8	18,0	
$\Delta T_f(p)$	6,0	6,2	6,3	
$\Delta T_f(m6)$		1,9	2,0	2,1
L(p)	32,26	29,81	35,00	
L(m6)	10,22	9,62	11,67	
		$\bar{L}(p)$	= 32,36	
		$\bar{L}(m6)$	= 10,50	

* m6 = refere-se a cobertura modelo no teste 6.

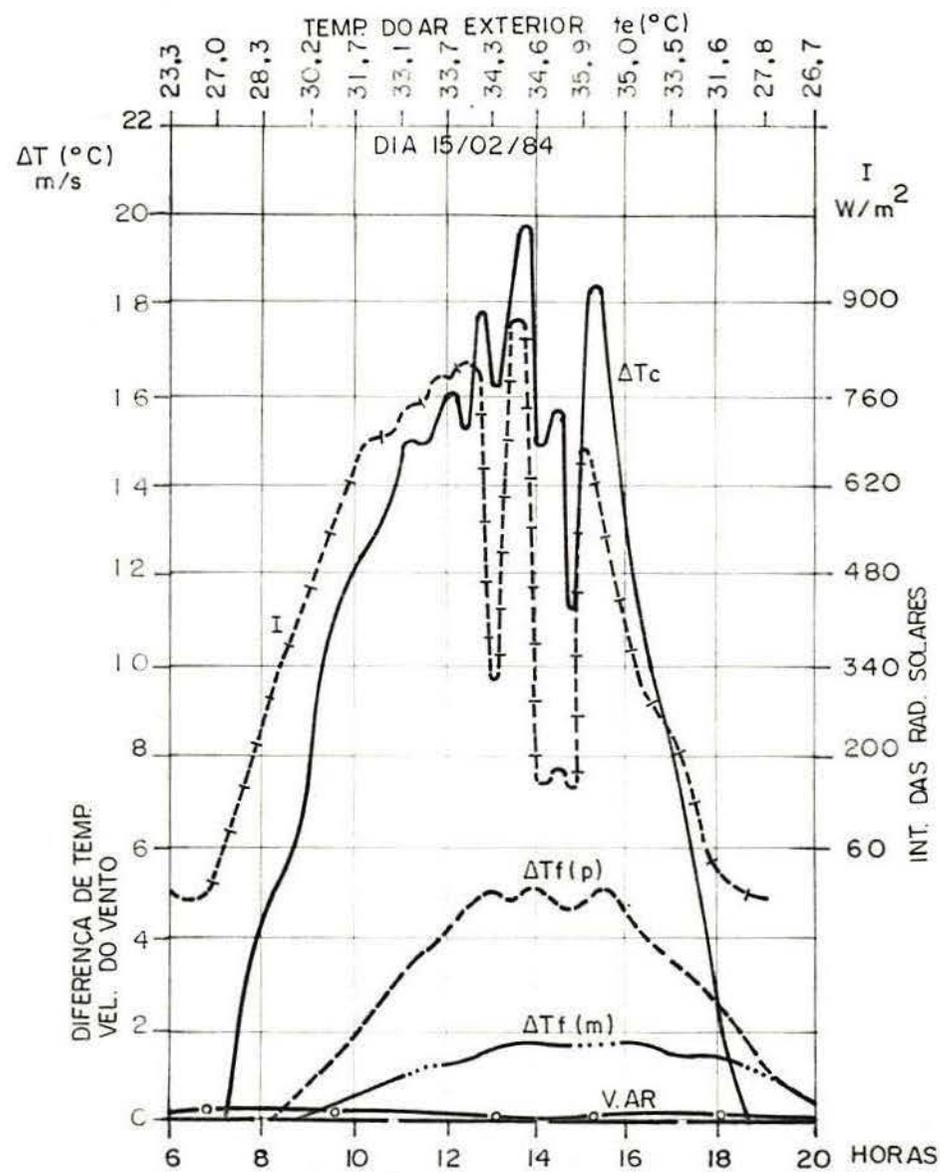
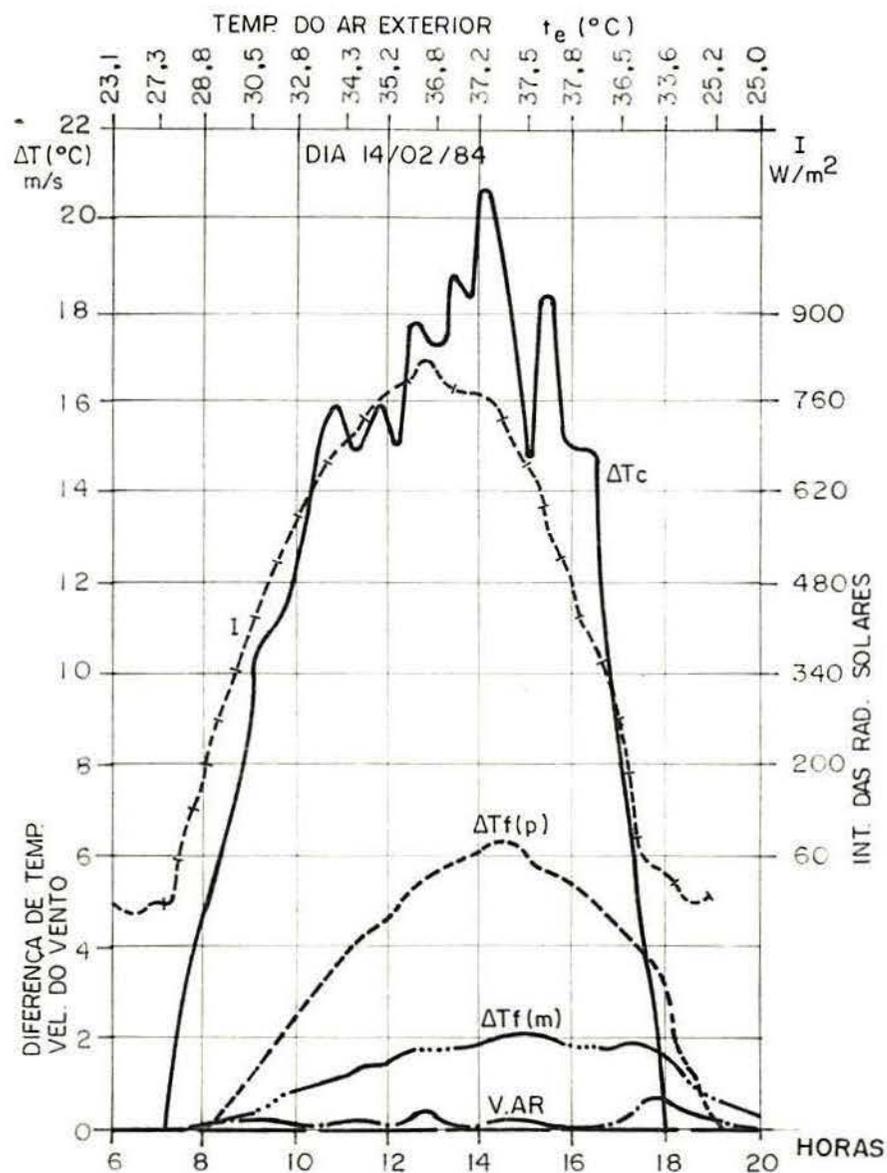


FIGURA 4.15 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 6.

TABELA 4.33 - Cálculo do índice L - 15 Fev. 1984

	13:10	13:40	14:10	14:40
ΔT_c	17,2	19,9	15,3	
$\Delta T_f(p)$	4,9	5,1	5,0	
$\Delta T_f(m6)$		1,6	1,7	1,6
$L(p)$	28,49	25,63	32,68	
$L(m6)$	9,30	8,54	10,46	
		$\bar{L}(p)$	= 28,93	
		$\bar{L}(m6)$	= 9,43	

TABELA 4.34 - Cálculo do índice L - 16 Fev. 1984

	10:10	10:40	11:10	11:40
ΔT_c	11,2	16,2	12,1	
$\Delta T_f(p)$		3,1	3,4	3,0
$\Delta T_f(m6)$		0,7	0,9	1,0
$L(p)$	27,68	20,99	24,79	
$L(m6)$	6,25	5,56	8,26	
		$\bar{L}(p)$	= 24,49	
		$\bar{L}(m6)$	= 6,69	

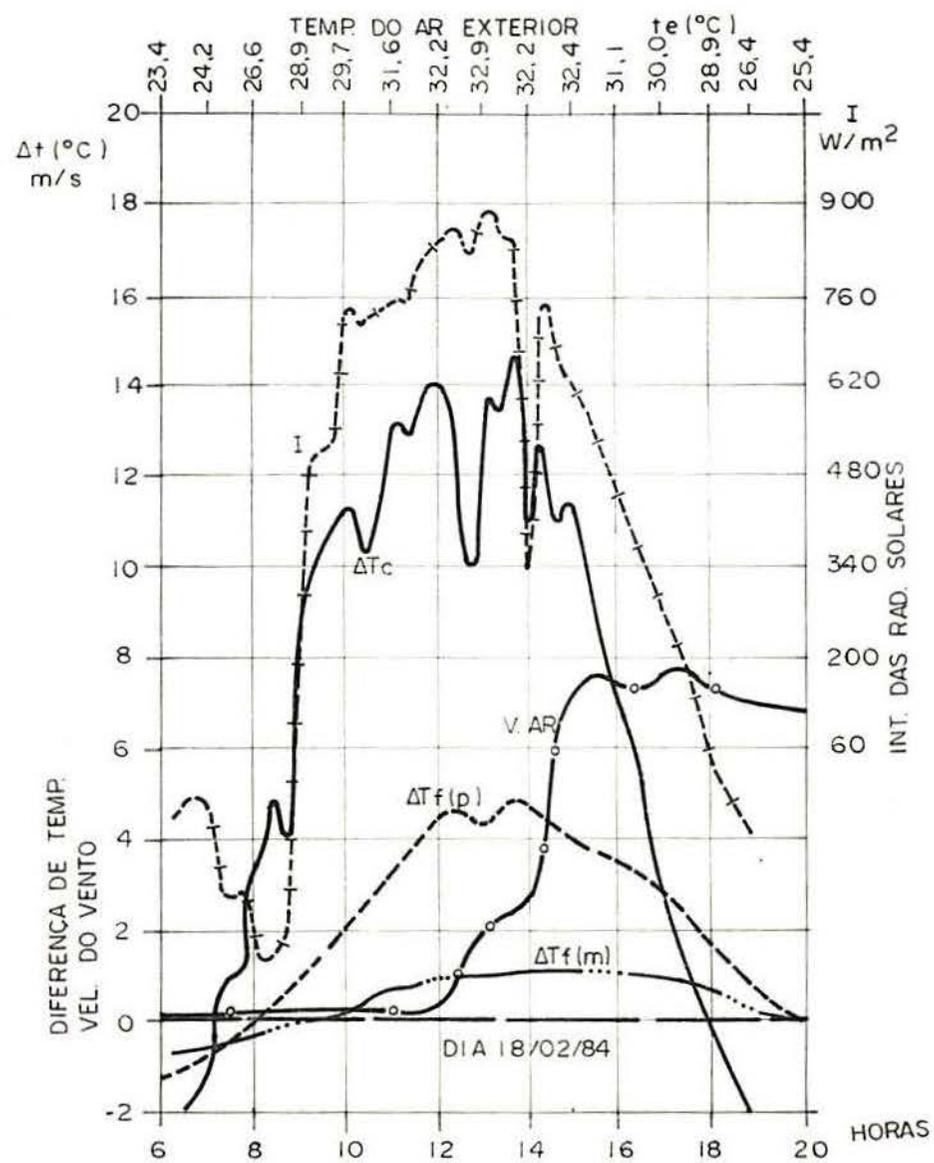
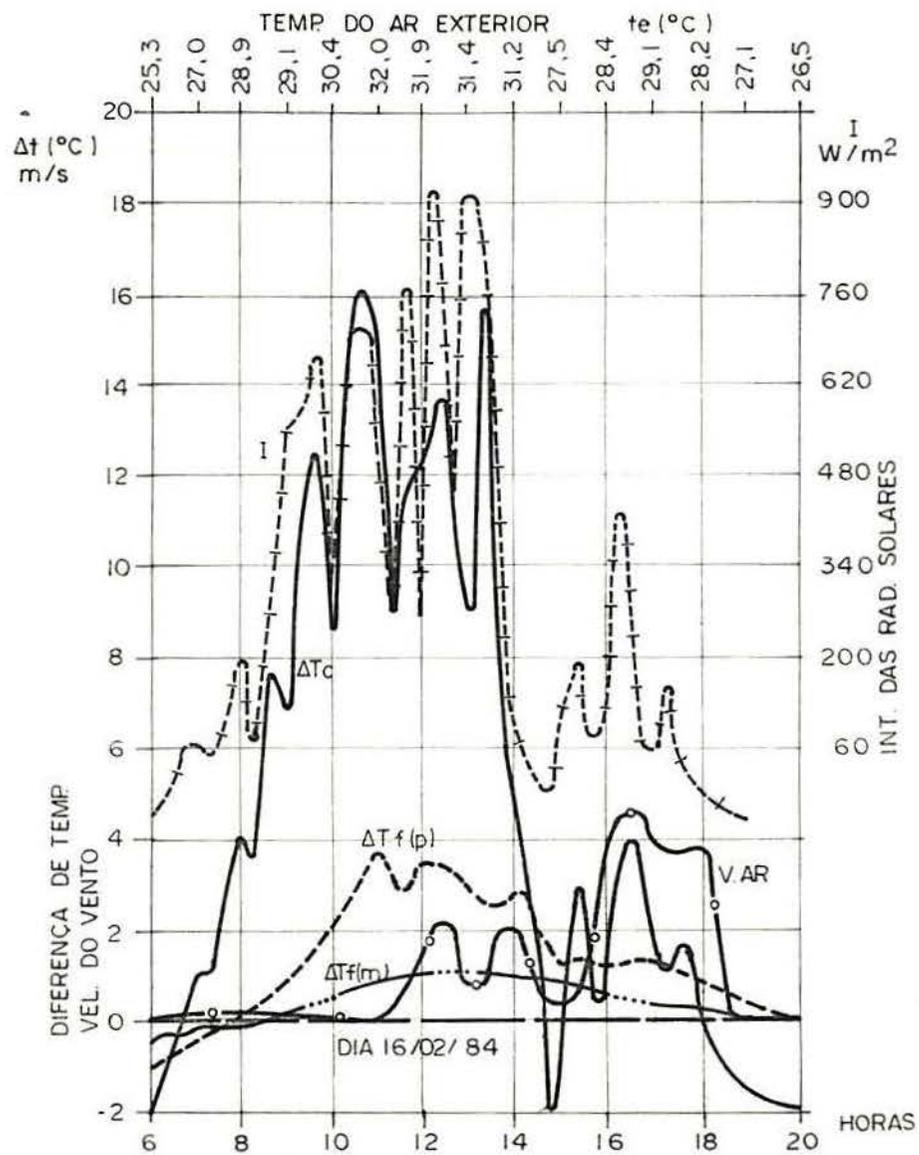


FIGURA 4.16 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 6.

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

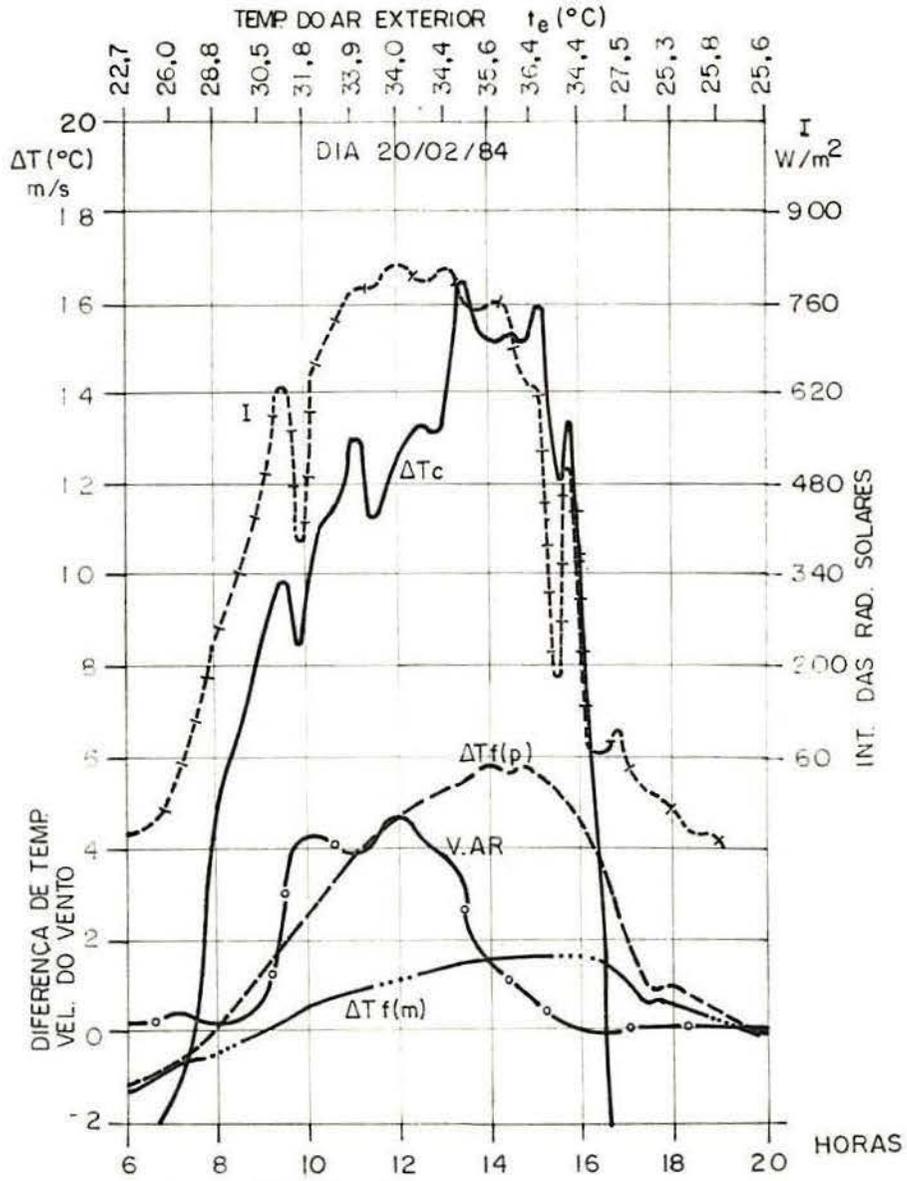
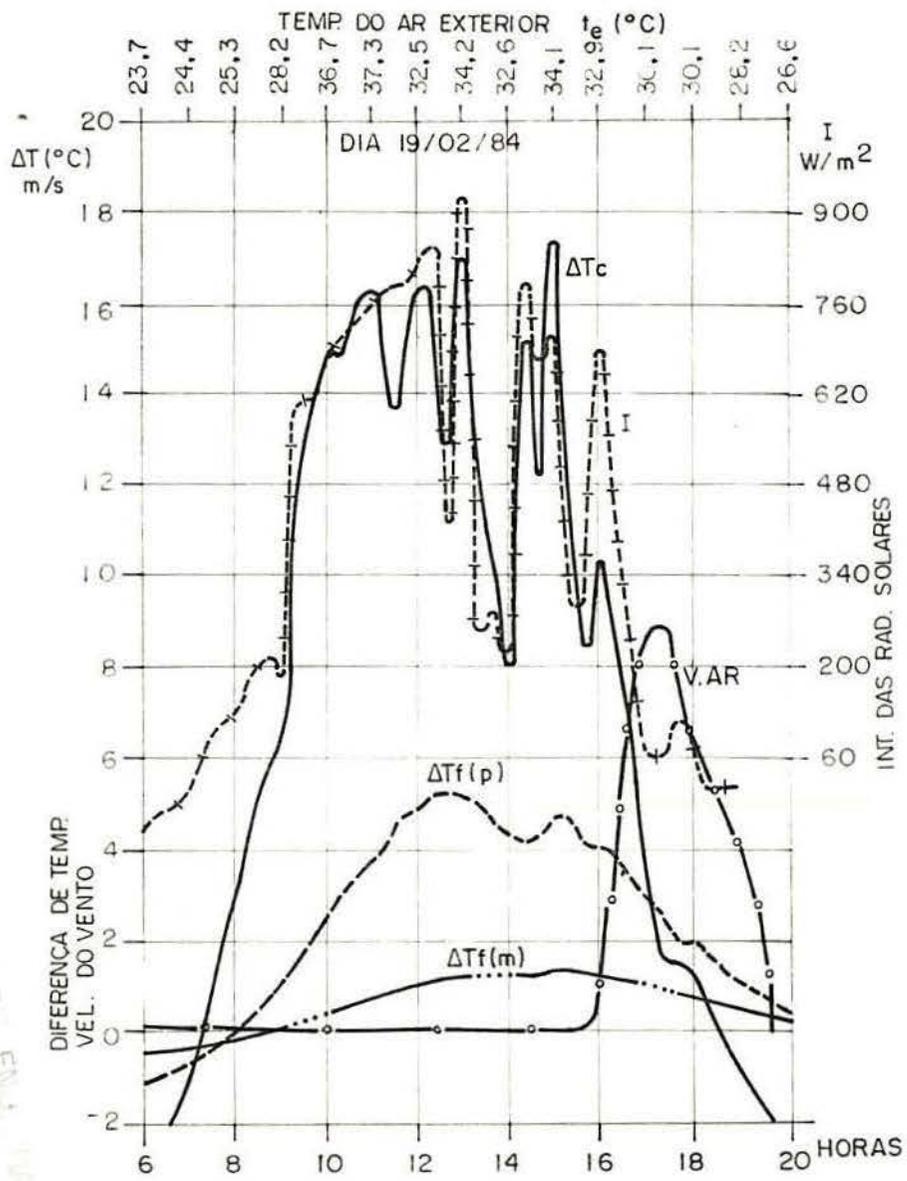


FIGURA 4.17 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 6.

TABELA 4.35 - Cálculo do índice L - 18 Fev. 1984

	13:10	13:40	14:10	14:40
T_c	13,6	14,6	11,8	
$T_f(p)$	4,5	4,9	4,6	
$T_f(m6)$		1,1	1,2	1,2
$L(p)$	33,09	33,56	38,98	
$L(m6)$	8,09	8,22	10,17	
		$\bar{L}(p)$	= 35,21	
		$\bar{L}(m6)$	= 8,83	

TABELA 4.36 - Cálculo do índice L - 19 Fev. 1984

	14:30	15:00	15:30	16:00
T_c	13,6	17,2	10,3	
$T_f(p)$	4,3	4,7	4,5	
$T_f(m6)$		1,3	1,4	1,4
$L(p)$	31,62	27,33	43,69	
$L(m6)$	9,56	8,14	13,59	
		$\bar{L}(p)$	= 34,21	
		$\bar{L}(m6)$	= 10,43	

TABELA 4.37 - Cálculo do índice L - 20 Fev. 1984

	12:50	13:20	13:50	14:20
T_c	13,4	16,6	15,1	
$T_f(p)$		5,4	5,8	5,6
$T_f(m6)$		1,5	1,7	1,6
$L(p)$	40,30	34,94	37,09	
$L(m6)$	11,19	10,24	10,60	
		$\bar{L}(p)$	= 37,44	
		$\bar{L}(m6)$	= 10,68	

O índice \bar{L}_6 está calculado na tabela 4.38, juntamente os índices \bar{L} do teste 6.

TABELA 4. 38 - Resumo dos índices \bar{L} e cálculo do índice \bar{L}_6

	14 Fev.	15 Fev.	16 Fev.	18 Fev.	19 Fev.	20 Fev.
$\bar{L}(p)$	32,36	28,93	24,49	35,21	34,21	37,44
$\bar{L}(m6)$	10,50	9,43	6,69	8,83	10,43	10,68
			$\bar{L}_6(p)$	= 32,11		
			$\bar{L}_6(m6)$	= 9,43		

O desempenho térmico da cobertura 6 é superior que o da cobertura padrão.

4.7 Observações Noturnas

Para a condição de esfriamento, ou perda de calor da câmara para o ambiente externo, as tabelas 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43 e 4.44 trazem o resumo dos índices \bar{L} calculados com os valores encontrados na hora da temperatura mínima do ar, à noite. Aqui chamados de \bar{L}_{ni} *

TABELA 4.39 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n1} *¹

	24 Nov.	03 Dez.	04 Dez.	12 Dez.
$L_n(m\ 1)$	40,63	43,06	40,00	49,02
$\bar{L}_{n1}(m\ 1) = 43,18$				

*¹ cimento amianto nova com ventilação pelas aberturas das ondas.

TABELA 4.40 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n2} *²

	15 Dez.	16 Dez.	17 Dez.	18 Dez.	28 Dez.	29 Dez.
$\bar{L}_n(m2)$	53,62	50,00	47,62	43,75	45,61	47,83
$\bar{L}_{n2}(m2) = 48,07$						

*² cimento amianto pintada de branco com ventilação pelas aberturas das ondas.

* "n" indica que o índice L foi medido à noite.
"i", indica o teste da medida.

TABELA 4.41 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n3}^{*1}

	01 Jan.	02 Jan.	05 Jan.	06 Jan.	07 Jan.	08 Jan.
$\bar{L}_n(m3)$	44,00	59,09	46,36	45,83	47,22	42,42
	$\bar{L}_{n3}(m3) = 47,49$					

*¹ Cimento amianto envelhecido com 10 cm de abertura para ventilação.

TABELA 4.42 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice L_{n4}^{*2}

	24 Jan.	26 Jan.	27 Jan.	28 Jan.	29 Jan.
$\bar{L}_n(m4)$	50,00	46,30	47,37	50,00	44,83
	$\bar{L}_{n4}(m4) = 47,70$				

*² Cimento amianto envelhecido com ventilação só pelas aberturas das ondas.

TABELA 4.43 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n5}^{*3}

	08 Fev.	09 Fev.	11 Fev.	12 Fev.
$L_n(m5)$	47,46	53,13	38,71	42,86
	$\bar{L}_{n5}(m5) = 45,54$			

*³ Cimento amianto envelhecido com 5 cm da altura para ventilação

TABELA 4.44 - Resumo dos índices \bar{L}_n e cálculo do índice \bar{L}_{n6} *¹

	14 Fev.	15 Fev.	16 Fev.	18 Fev.	19 Fev.	20 Fev.
$\bar{L}_n(m6)$	8,87	11,90	13,51	26,67	17,14	17,07
$\bar{L}_{n6}(m6) = 15,36$						

*¹Cimento amianto envelhecido com ventilação só pelas aberturas das telhas e com uso da folha de alumínio.

4.8 Apresentação dos Resultados

Os valores \bar{L}_i (mi) representam, como já foi visto, a relação percentual entre as densidades de fluxo que entram pelo forro da cobertura modelo e o fluxo da cobertura padrão. A tabela 4.45 traz os \bar{L}_i (mi) calculada para os testes realizados.

TABELA 4.45 - Resumo geral dos \bar{L}_i (mi)

TESTE	IDENTIFICAÇÃO	\bar{L}_i (mi)
1	Telha nova	32,81
2	Pintada de branco	20,52
3	8 anos ventilação 10cm	33,47
4	8 anos	40,91
5	8 anos ventilação 5cm	36,10
6	8 anos com alumínio	9,43

Para o cálculo do $\bar{L}_{(p)}$ final, na tabela 4.46, usou-se a média entre os valores encontrados em cada teste. O valor obtido ficou acima daquele encontrado por LAMBERTS²¹ *, o que se explica pela mudança da cor externa do telhado, devido ao envelhecimento das telhas no período que separou as duas observações.

* O valor determinado por LAMBERTS foi de $L = 24,19$.

TABELA 4.46 - Cálculo do $\bar{L}_{(p)}$ final

TESTE	$\bar{L}_i(p)$
1	26,55
2	30,96
3	26,09
4	32,11
5	32,63
6	32,11
$\Sigma = 179,42$	
$\bar{L}_{(p)}$ final = 30,07	

Quanto ao desempenho térmico das coberturas, observado pelos decréscimos no índice L nas tabelas 4.45 e 4.46, obteve-se a seguinte classificação:

- . Cobertura em cimento-amianto envelhecida, com ventilação só pelas aberturas das ondas (teste 4).
- . Cobertura em cimento-amianto envelhecida, com ventilação por 5cm além das aberturas das ondas (teste 5).
- . Cobertura em cimento-amianto envelhecida, com ventilação por 10cm além das aberturas das ondas (teste 3).
- . Cobertura em cimento-amianto nova, com ventilação só pelas aberturas das ondas (teste 1).
- . Coberturas em telhas de barro, tipo "Marselha", com 1 ano de uso e com ventilação só pelas frestas das telhas (cobertura padrão).
- . Cobertura em cimento-amianto com a face externa pintada de branco e com ventilação só pelas aberturas das ondas (teste 2).
- . Cobertura em cimento-amianto envelhecida, com uma folha de alumínio polido sob as telhas e com ventila-

ção sô pelas aberturas das ondas (teste 6).

Essa classificação demonstra claramente as influências quanto ao uso da folha de alumínio, ou seja, a diminuição da emissividade e a compartimentação da câmara de ar, o que dificulta o fluxo por radiação e convecção, que se destacou das demais pelo seu excelente desempenho térmico expressado na melhora de 77% da cobertura sem o alumínio. O telhado pintado de branco, que corresponde a diminuição da absorvidade à radiação solar, apresenta uma melhora do desempenho térmico de 50% em relação ao telhado enegrecido, sendo uma solução de interesse pela simplicidade de aplicação. Foi notada, também, a influência quanto a ventilação do ático, mesmo que em menor valor; sendo a melhora de 12% e 18% para coberturas com aberturas ao longo do beiral e cumeeira de 5 e 10cm respectivamente, além das aberturas das ondas.

Na tabela 4.47 encontra-se os $\bar{L}_{ni}(mi)$, noturnos, calculados para os testes realizados.

TABELA 4.47 - Resumo Geral dos $\bar{L}_{ni}(mi)$

TESTE	$\bar{L}_{ni}(mi)$
1	43,18
2	48,07
3	47,49
4	47,70
5	45,54
6	15,86

Concluiu-se que a cor externa e a ventilação não tiveram influência significativa no desempenho térmico por esfriamento durante à noite. Isto explica-se porque as cores não mudam a emissividade da superfície, e a ventilação do ático por termosifão não é propícia devido o esfriamento da telha. Enquanto que a

aplicação da folha de alumínio na cobertura resultou em um bom desempenho térmico tanto nos dias quentes de verão como nos supostos dias frios de inverno. Isto se explica pela baixa emissividade e absorvidade da folha, além da compartimentação da movimentação do ar em duas câmaras separadas.

Como não foram feitos testes específicos para observar a influência da umidade na transferência de calor pela cobertura nem no índice L, apresenta-se aqui observações feitas em alguns testes envolvendo esta variável.

As figuras 4.18 e 4.19 mostram o comportamento da ΔT_c , $\Delta T_f(p)$, $\Delta T_f(m)$, V.ar, t_e e I em dias posteriores a um dia chuvoso. O $\Delta T_f(p)$ em um mesmo teste, foi bem inferior em dias que tiveram o dia antecedente com chuva, dando origem a um índice L baixo para a cobertura padrão, em relação à cobertura modelo nesses dias. Isto ocorre por ser a cobertura padrão (telha de barro) mais espessa que a cobertura modelo (cimento-amianto), resultando uma maior quantidade de água absorvida por m^2 , já que possuem praticamente a mesma absorvidade (ver ANEXO III), necessitando de uma maior quantidade de calor para evaporar a água contida em seus vazios. Essa energia calorífica gasta na evaporação dissipa-se sem que se transfira calor pela cobertura.

Esses dias de teste foram excluídos do cálculo do índice L dos respectivos testes, por não apresentarem um desempenho real em termos de comparação de coberturas, visto o decréscimo observado na cobertura padrão não ser notado na modelo

As tabelas 4.48, 4.49, 4.50 e 4.51 contêm os cálculos dos índices L para o dia ulterior a um dia chuvoso.

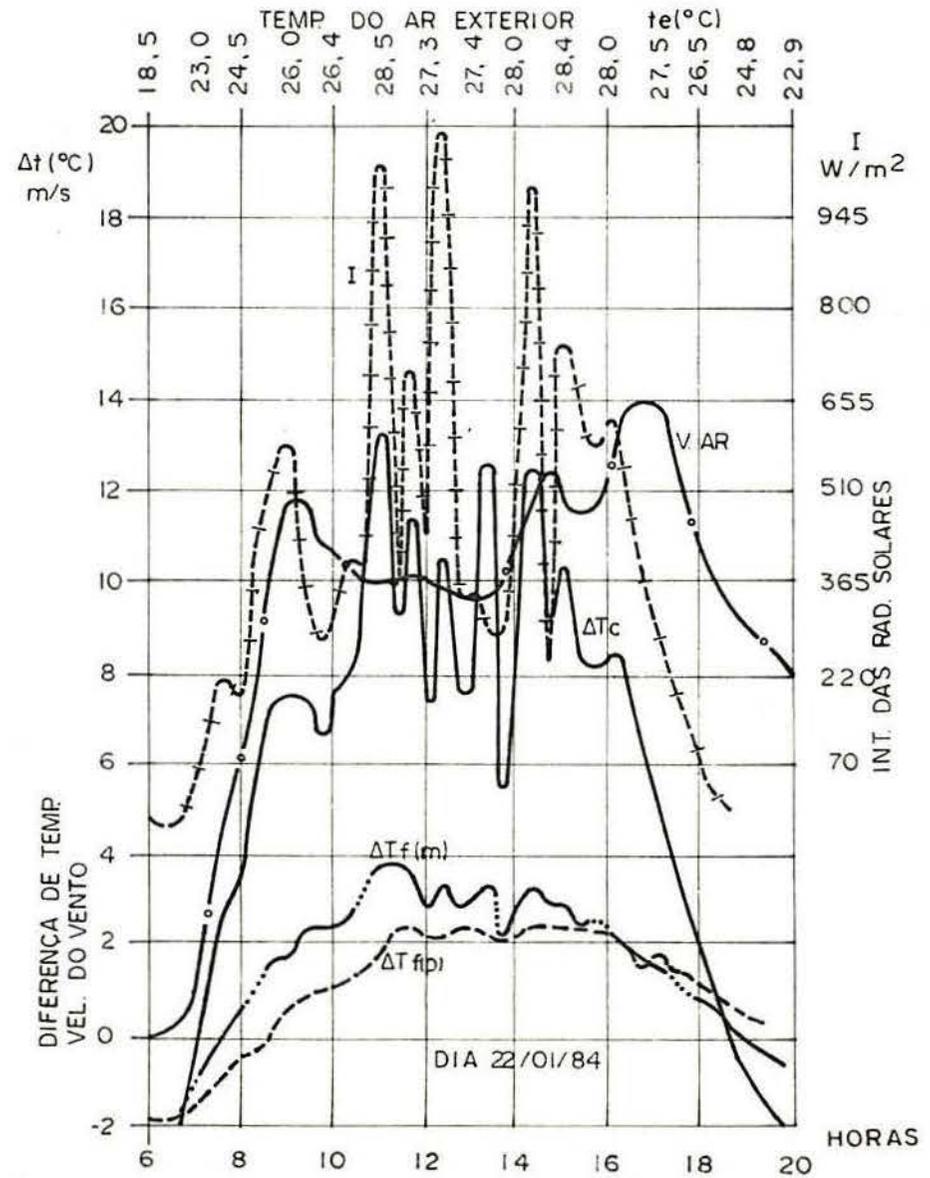
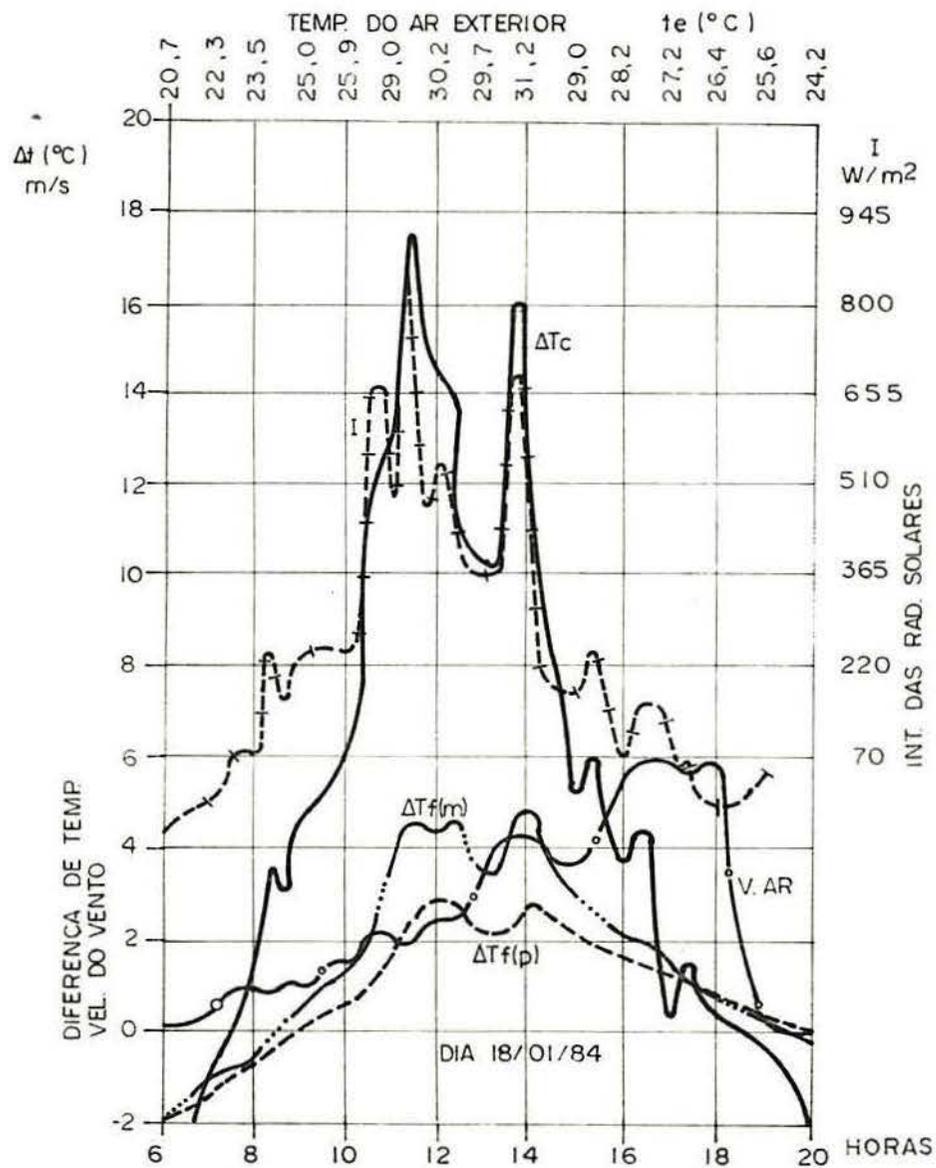


FIGURA 4.18 - Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 4 - observação do efeito da umidade.

TABELA 4.48 - Cálculo do índice L - 18 Jan. 1984 (teste 4)

	10:50	11:20	11:50	12:20
ΔT_c	13,1	17,6	14,8	
$\Delta T_f(p)$		2,4	2,7	2,9
$\Delta T_f(m4)$		4,5	4,6	4,7
$L(p)$	18,32	15,34	19,59	
$L(m4)$	34,35	26,14	31,76	
	$\bar{L}(p) = 17,75$		$\bar{L}(m) - \bar{L}(p)$	$\times 100 = 73,24\%$
	$\bar{L}(m4) = 30,75$		$\bar{L}(p)$	

TABELA 4.49 - Cálculo do índice L - 22 Jan. 1984 (teste 4)

	10:30	11:00	11:30	12:00
ΔT_c	8,9	13,4	10,4	
$\Delta T_f(p)$		1,9	2,4	2,1
$\Delta T_f(m4)$		3,8	3,8	2,6
$\bar{L}(p)$	21,35	17,91	20,19	
$L(m4)$	42,70	28,36	25,00	
	$\bar{L}(p) =$	19,82	$\bar{L}(m) - \bar{L}(p)$	$\times 100 = 61,55\%$
	$\bar{L}(m4) =$	32,02	$\bar{L}(p)$	

O resultado médio, incluindo todos os dias do teste 4, foi o seguinte:

$$\bar{L}_4(p) = 31,08$$

$$\bar{L}_4(m4) = 39,80$$

$$\frac{\bar{L}_4(m4) - \bar{L}_4(p)}{\bar{L}_4(p)} \times 100 = 28,06\%$$

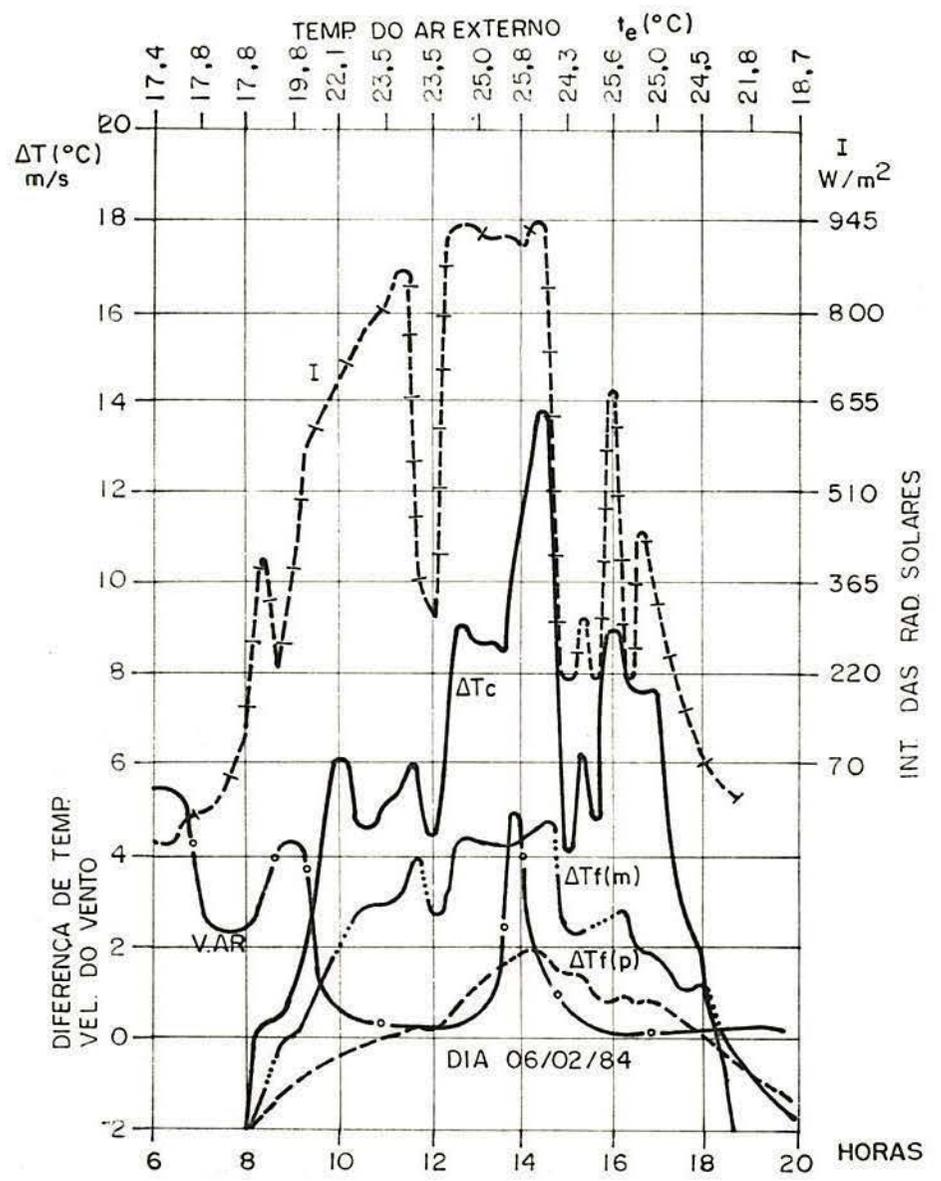
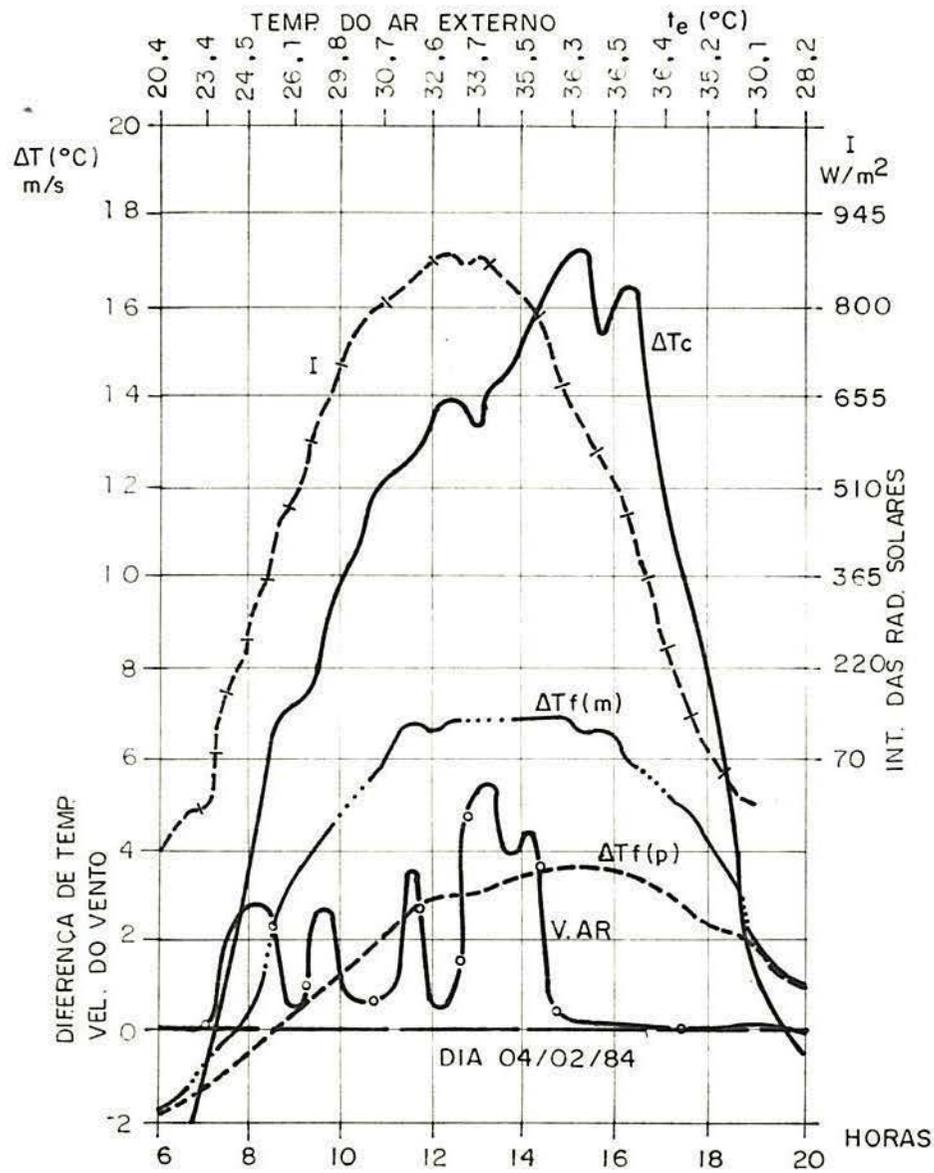


FIGURA 4.19- Comportamento da ΔT_c , ΔT_f , V.ar, I e t_e - TESTE 5 - observação do efeito da umidade.

Como pode-se observar, nos dias 18 Jan. e 22 Jan. de 1984, o índice $\bar{L}(p)$ se distanciou do $\bar{L}(m4)$, não proporcionalmente aos valores observados nos dias restantes normais.

TABELA 4.50 - Cálculo do índice L - 04 Fev. 1984 (teste 5)

	14:50	15:20	15:50
ΔT_c	16,8	17,2	15,8
$\Delta T_f(p)$	3,6	3,6	3,5
$\Delta T_f(m5)$	6,9	6,6	6,5
$L(p)$	21,43	20,93	22,15
$L(m5)$	41,07	38,37	41,14
	$\bar{L}(p) = 21,50$		$\frac{\bar{L}(m) - \bar{L}(p)}{\bar{L}(p)} \times 100 = 86,93\%$
	$\bar{L}(m5) = 40,19$		

TABELA 4.51 - Cálculo do índice L - 06 Fev. 1984 (teste 5)

	14:00	14:30	15:00
ΔT_c	11,1	13,8	-
$\Delta T_f(p)$	1,9	1,9	-
$\Delta T_f(m5)$	4,6	4,3	-
$L(p)$	17,12	13,77	
$L(m5)$	41,44	34,78	
	$\bar{L}(p) = 15,44$		$\frac{L(m) - \bar{L}(p)}{\bar{L}(p)} \times 100 = 147,83\%$
	$\bar{L}(m5) = 38,11$		

No dia 6 houve chuva após às 14:30h, hora do pique, a baixando rapidamente ΔT_c e $\Delta T_f(m5)$, o que não ocorreu, na mesma proporcionalidade, com a $\Delta T_f(p)$, o que mudaria sensivelmente os valores dos índices L às 15h. Assim, se eliminou, para cálculo,

os valores ocorridos neste horário.

O teste 5 teve como resultados médios de todos os dias, os seguintes valores:

$$\begin{aligned} \bar{L}_5(p) &= 32,63 & \frac{\bar{L}_5(m5) - \bar{L}_5(p)}{\bar{L}_5(p)} \times 100 &= 10,63\% \\ \bar{L}_5(m5) &= 36,10 \end{aligned}$$

Valor este, bem inferior aos referentes ao dia ulterior à chuva.

Como visto nos cálculos dos índices L dos dias 18 Jan., 22 Jan., 04 Fev. e 06 Fev., a umidade é um importante fator na redução do fluxo de calor; conseqüentemente tem uma influência significativa na obtenção do índice L.

Teve-se como premissa que os testes fossem realizados sob condições normais de verão, eliminando-se os dias em que as coberturas apresentassem um grau elevado de umidade, o que é facilmente notado pelo índice L da cobertura padrão, bem como os dias nublados. Assim, por esses motivos achou-se que não era de interesse medir o conteúdo de umidade das telhas durante os testes.

5. CONCLUSÃO

As coberturas com telhados do tipo leve, são as mais usuais em nosso país. Como são facilmente penetradas pelo fluxo de calor, há necessidade do uso de técnicas que possam amenizar essa transferência. A técnica mais conhecida e aplicada consiste na colocação de um forro horizontal, com diferentes alternativas de materiais. Entretanto, outras técnicas não difundidas e por vezes simples e de baixo custo, podem ser aliadas ao uso do forro. Podemos citar, entre outras, as que serviram de análise para o desempenho térmico do telhado em cimento-amianto neste trabalho. Assim, teremos, a pintura de branco da superfície externa das telhas, a ventilação do ático e a colocação de uma folha de alumínio sob as telhas.

Mas, para que se faça uso correto de uma técnica é necessário conhecer as condições climáticas, o comportamento desta técnica frente a estas condições e ao tipo de telhado a ser empregado. Este tipo de conhecimento, será possível com a realização de testes práticos em condições naturais de exposição da cobertura fornecendo, assim, subsídios necessários ao domínio teórico do comportamento e conseqüentemente à confecção de um projeto adequado.

O registrador de dados, usado neste levantamento, possibilitou boa precisão dos dados, com intervalos constantes durante as 24 horas do dia, em até 20 pontos da bancada, abrindo caminhos de análise antes impossíveis.

O método do índice L, empregado para classificar e quantificar as variáveis técnicas testadas neste trabalho, apresentou resultados satisfatórios. Pode ser considerado como uma

ótima ferramenta para quantificar e classificar diferentes técnicas e materiais de cobertura, frente as condições climáticas, em relação a uma cobertura tida como padrão. Os valores dos índices \bar{L} calculados para os testes realizados foram: 40,91 com telhas envelhecidas e com 5cm de aberturas nos beirais, para ventilação; 33,47 para telhas envelhecidas e com 10cm de abertura nos beirais; 32,81 para telhas novas ; 20,52 para as telhas com a superfícies externas pintadas de branco e 9,43 para as telhas envelhecidas e com folha de alumínio sob as mesmas. Salienta-se que, quanto menor o índice L menor a quantidade de fluxo de calor atravessando a cobertura, e, que o índice \bar{L} calculado para a cobertura com telhas "Marselha" foi de 30,07.

Ainda, com o índice L, foram feitas as observações no turnas, com objetivo de avaliar o comportamento da cobertura em relação a perda de calor do interior para o exterior, simulando uma situação de inverno. Concluiu-se que a cor da superfície externa das telhas e a ventilação do ático não influenciam significativamente ao esfriamento da câmara. Entretanto, o uso da folha de alumínio dificulta o intercâmbio de calor entre o interior e o exterior nos dois sentidos.

Apesar, de não ter sido feito um estudo específico, pode-se observar que o aumento do conteúdo de umidade, nas telhas, dificulta a penetração do fluxo de calor; conseqüentemente ter-se-ão menores valores para o índice L, ou seja, melhor desempenho térmico da cobertura.

Devido a impossibilidade de medir a vazão do ar no ático não foi possível ajustar um modelo físico simplificado, obtendo-se resultados exageradamente imprecisos.

Para uma checagem mais precisa, é necessário equipar a bancada de testes com equipamentos apropriados, e fazer uma relação entre a velocidade e a orientação dos ventos em intervalos breves.

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

■ Testes de inverno na bancada, com o telhado em cimento-amianto.

■ Testes de verão e inverno na bancada, com diversos tipos de telhas usadas em nosso país.

■ Medição da vazão de ar no ático na bancada em relação com termossifão, velocidade e direção do vento.

■ Pesquisar novas técnicas para minimizar o fluxo de calor pelas coberturas.

ANEXO I - Gráficos com as principais temperaturas levantadas em um dia de cada teste.

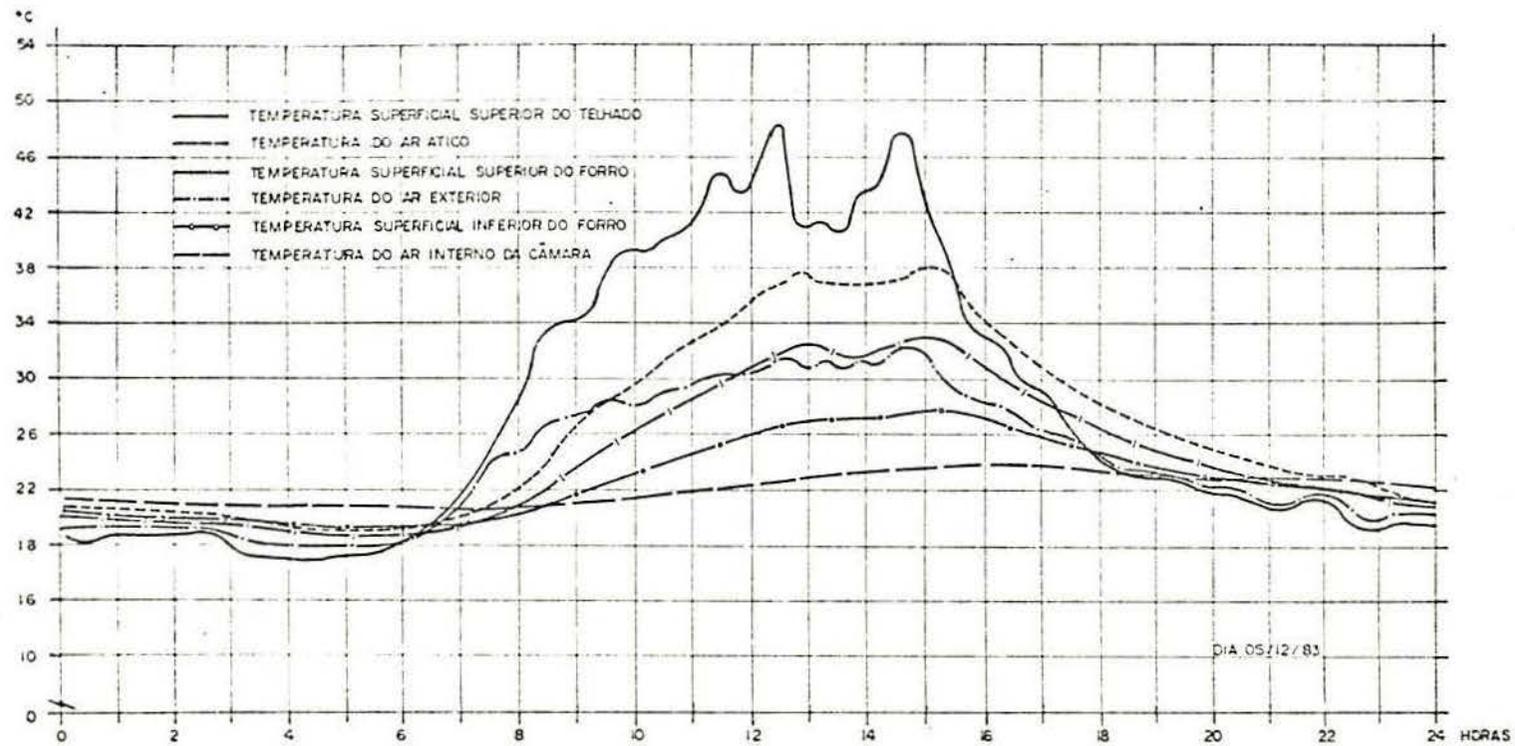


FIGURA 1 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 1

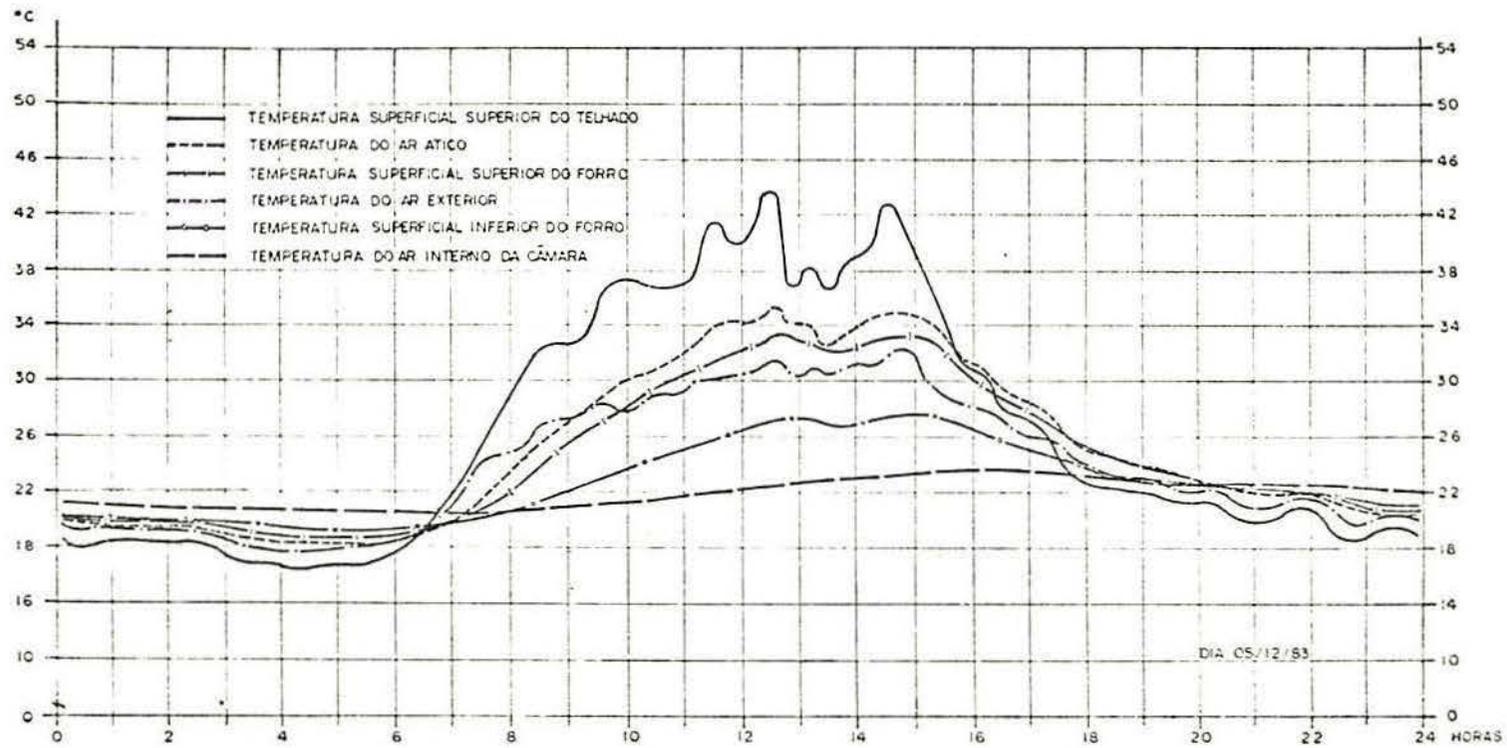


FIGURA 2 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 1

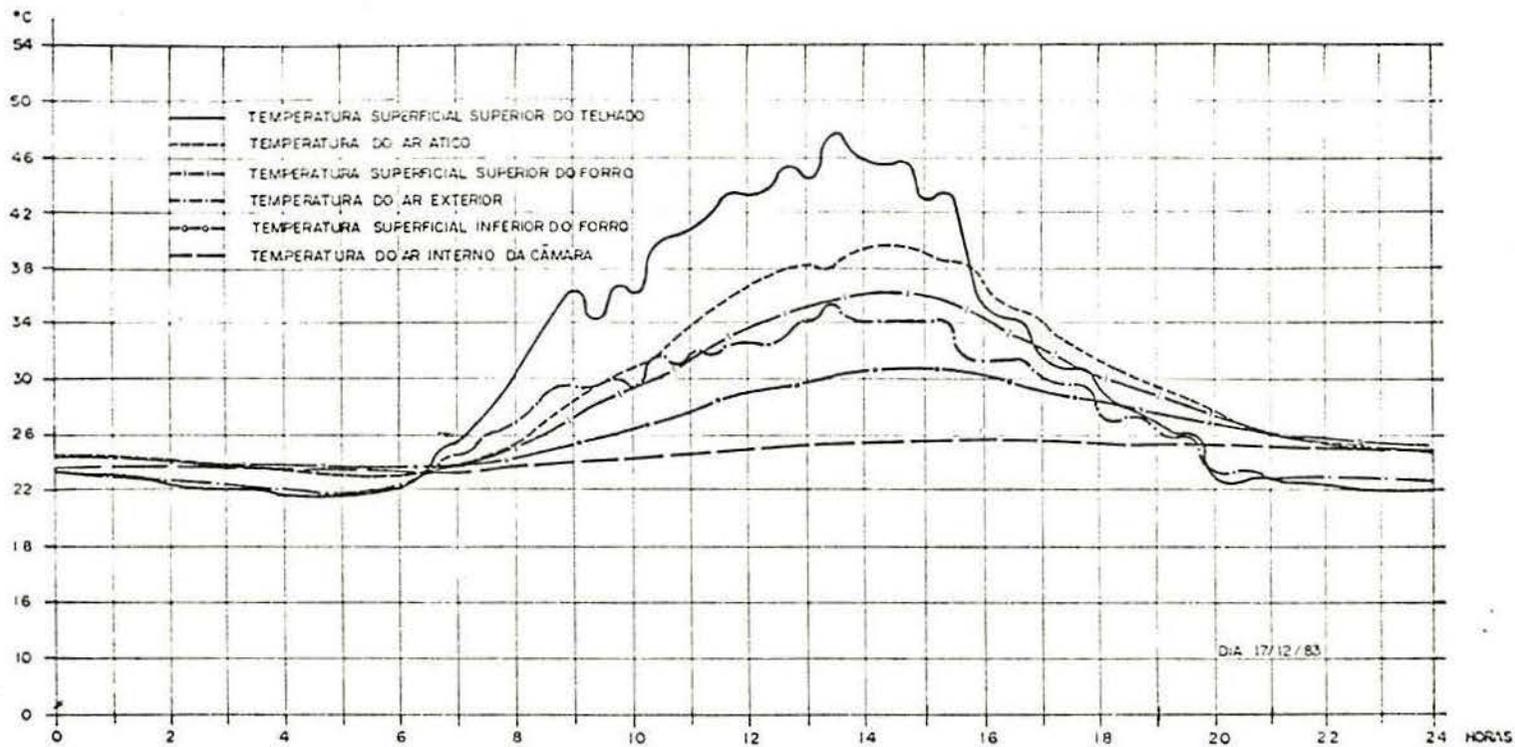


FIGURA 3 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 2

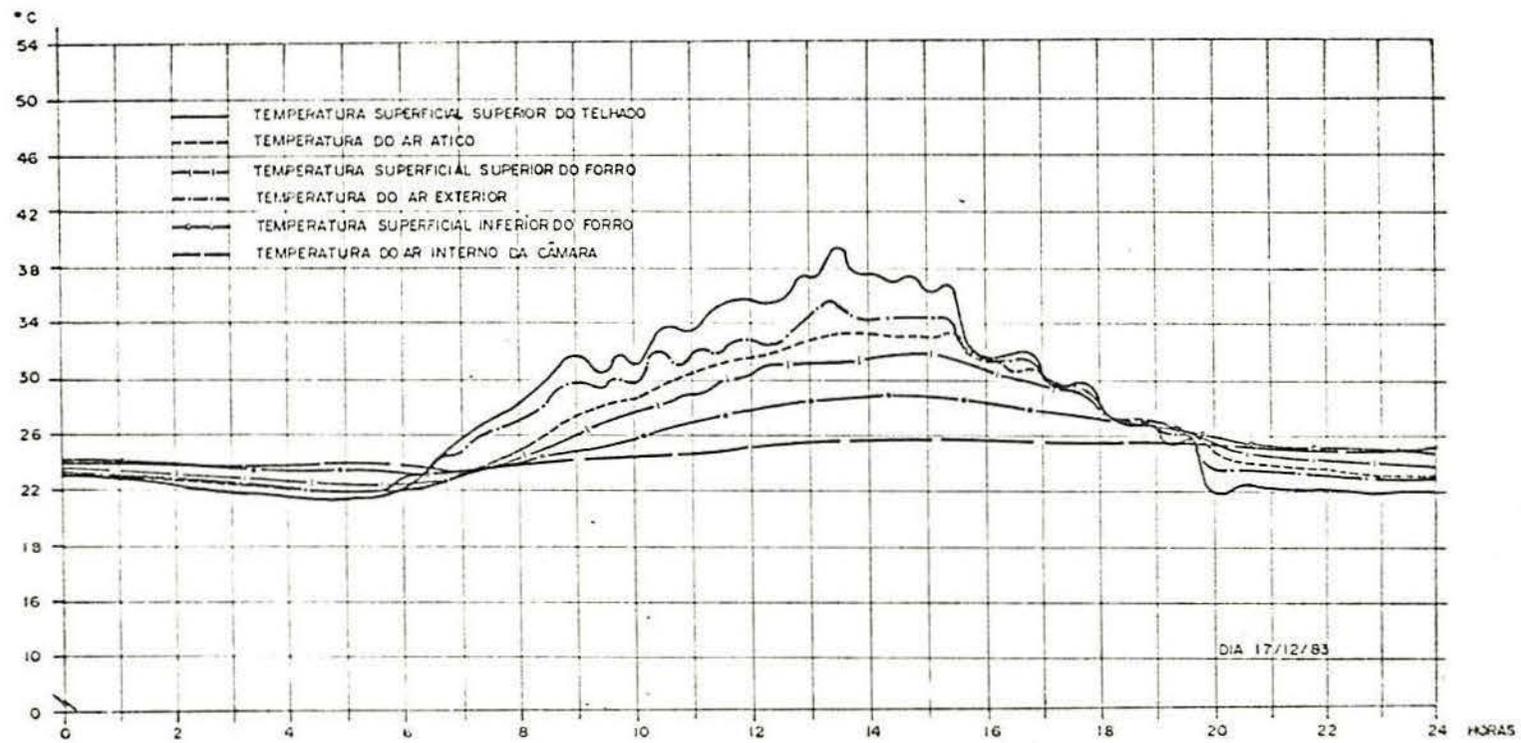


FIGURA 4 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 2

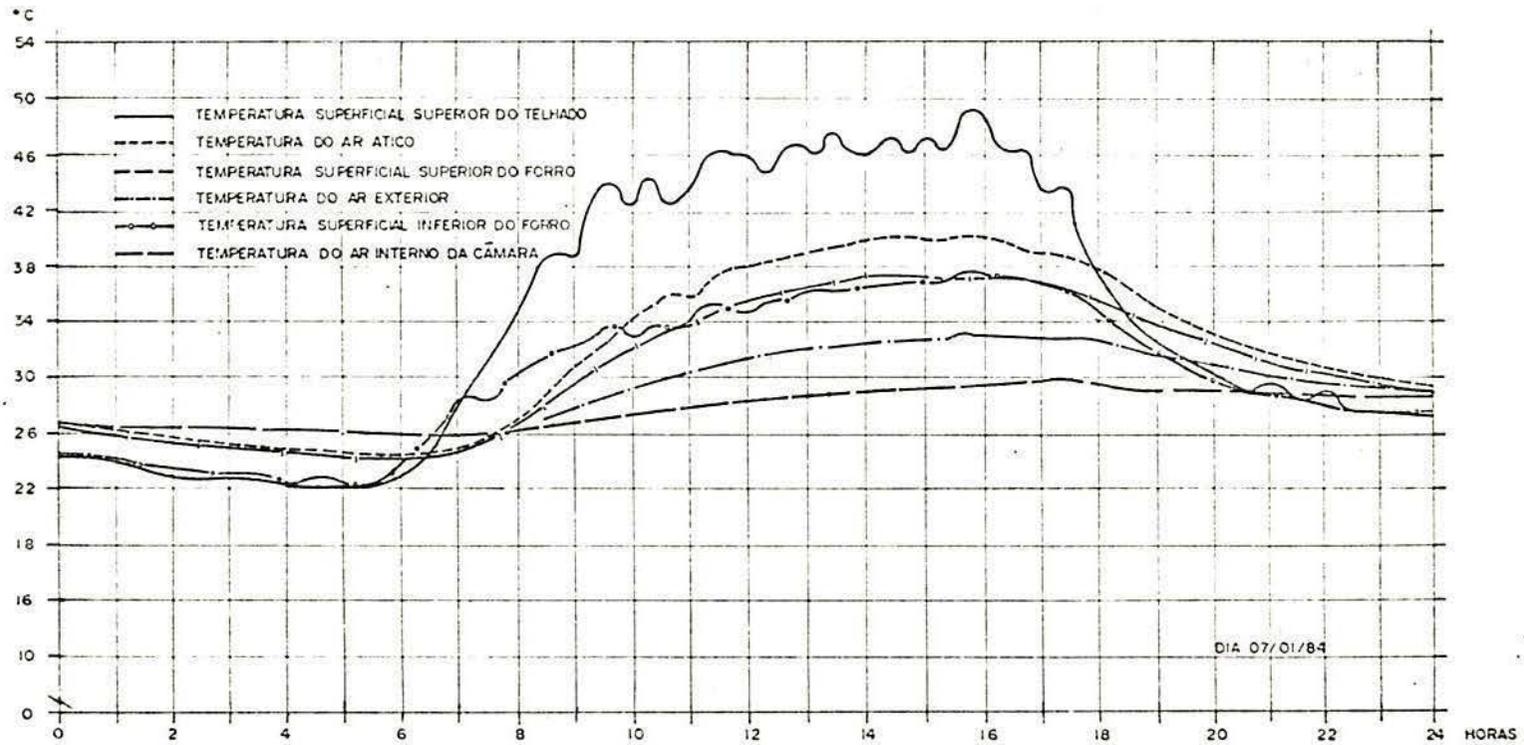


FIGURA 5 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 3

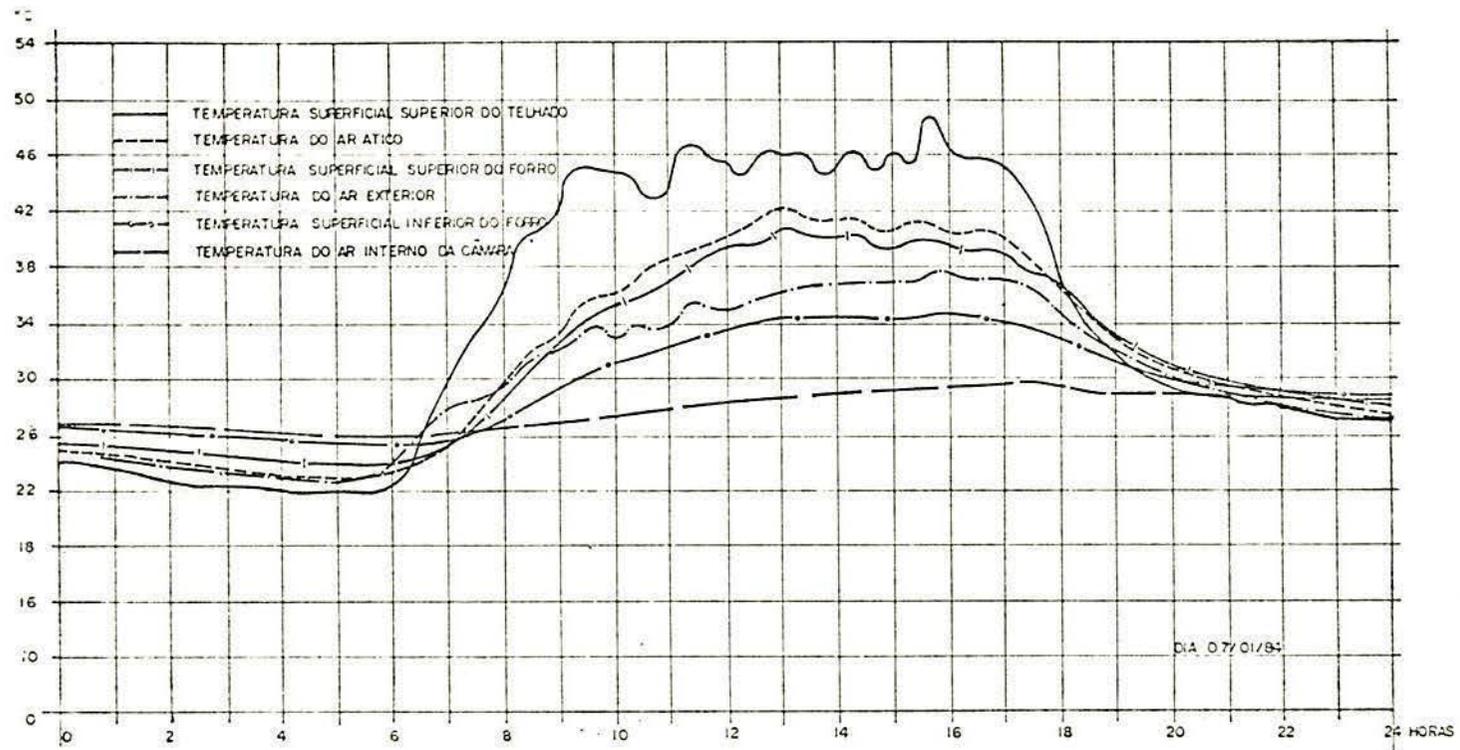


FIGURA 6 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 3

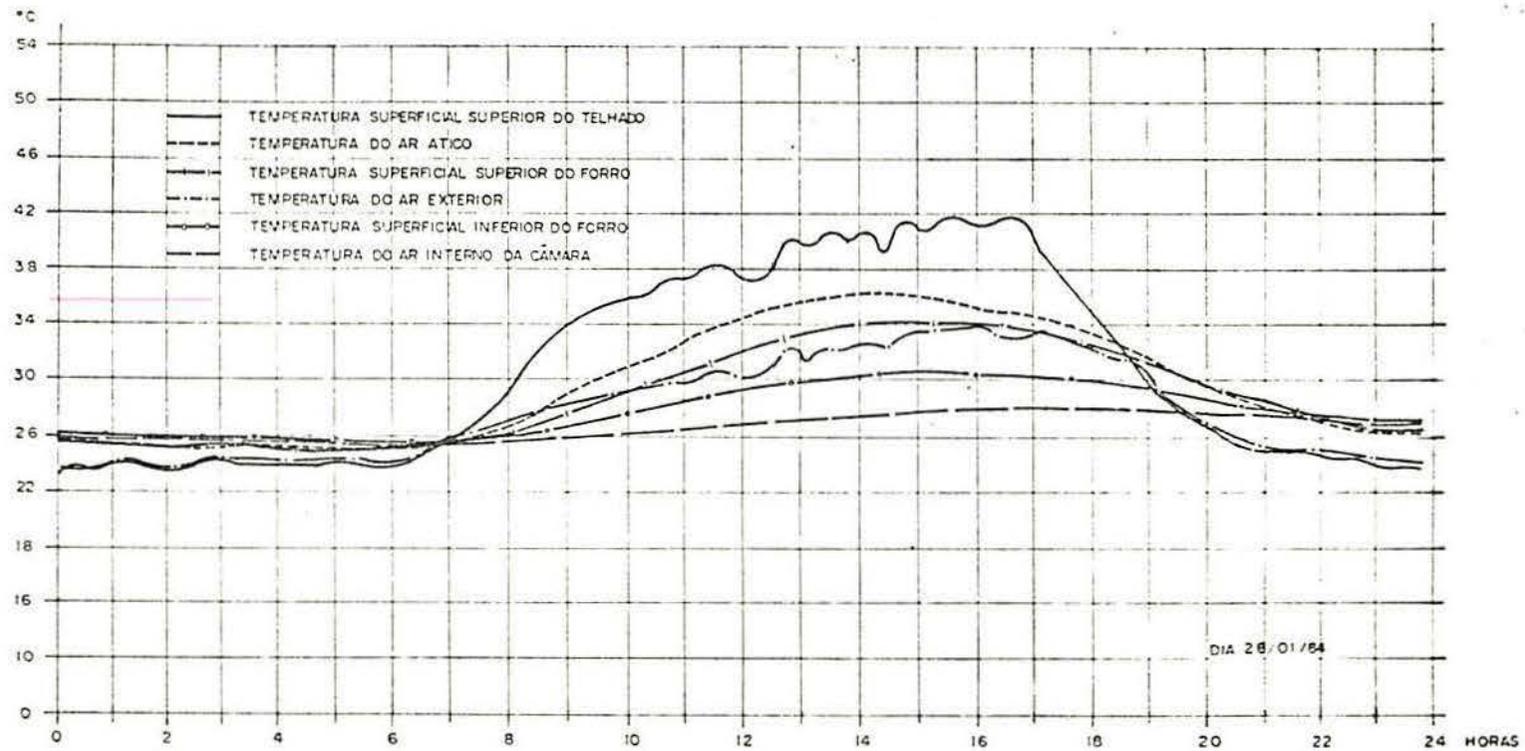


FIGURA 7 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 4

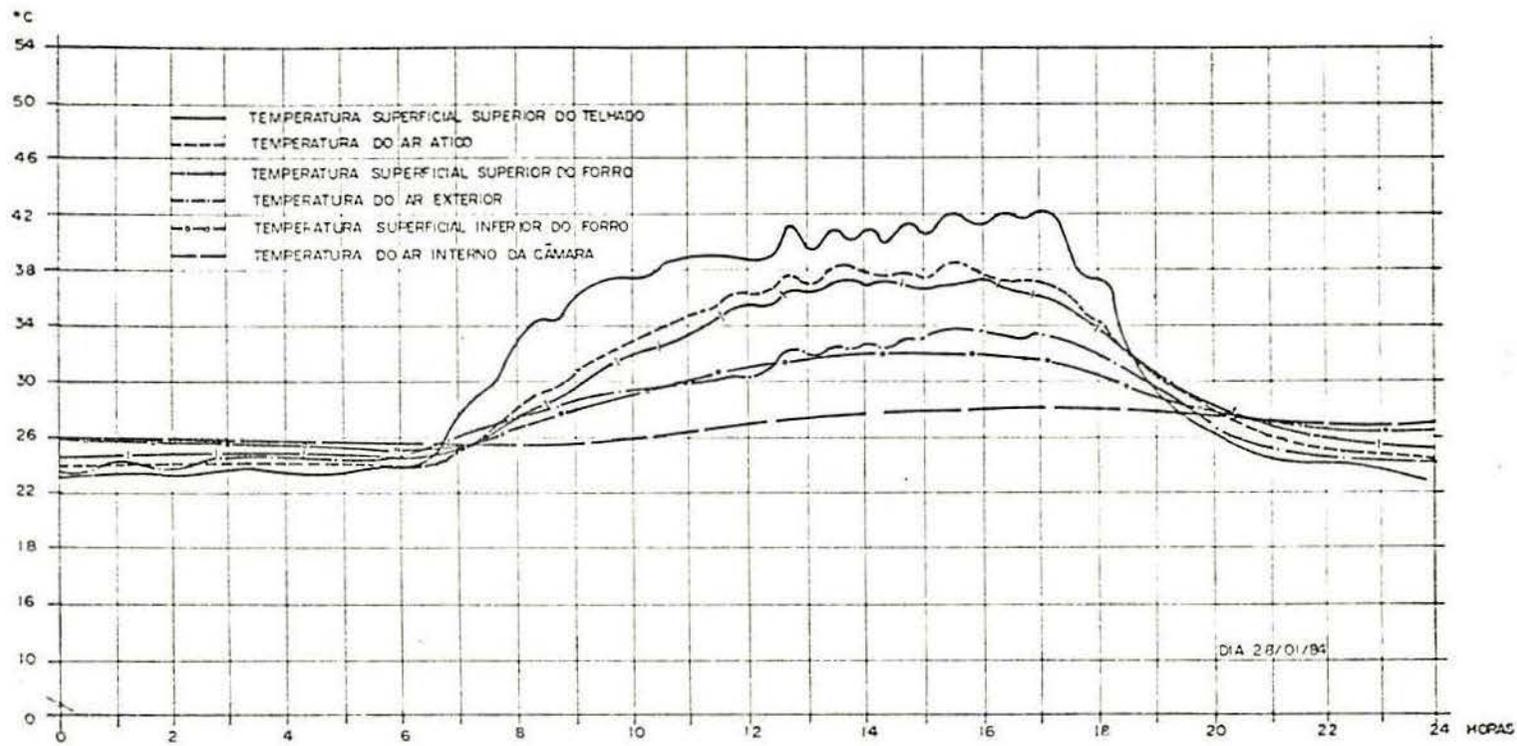


FIGURA 8 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 4

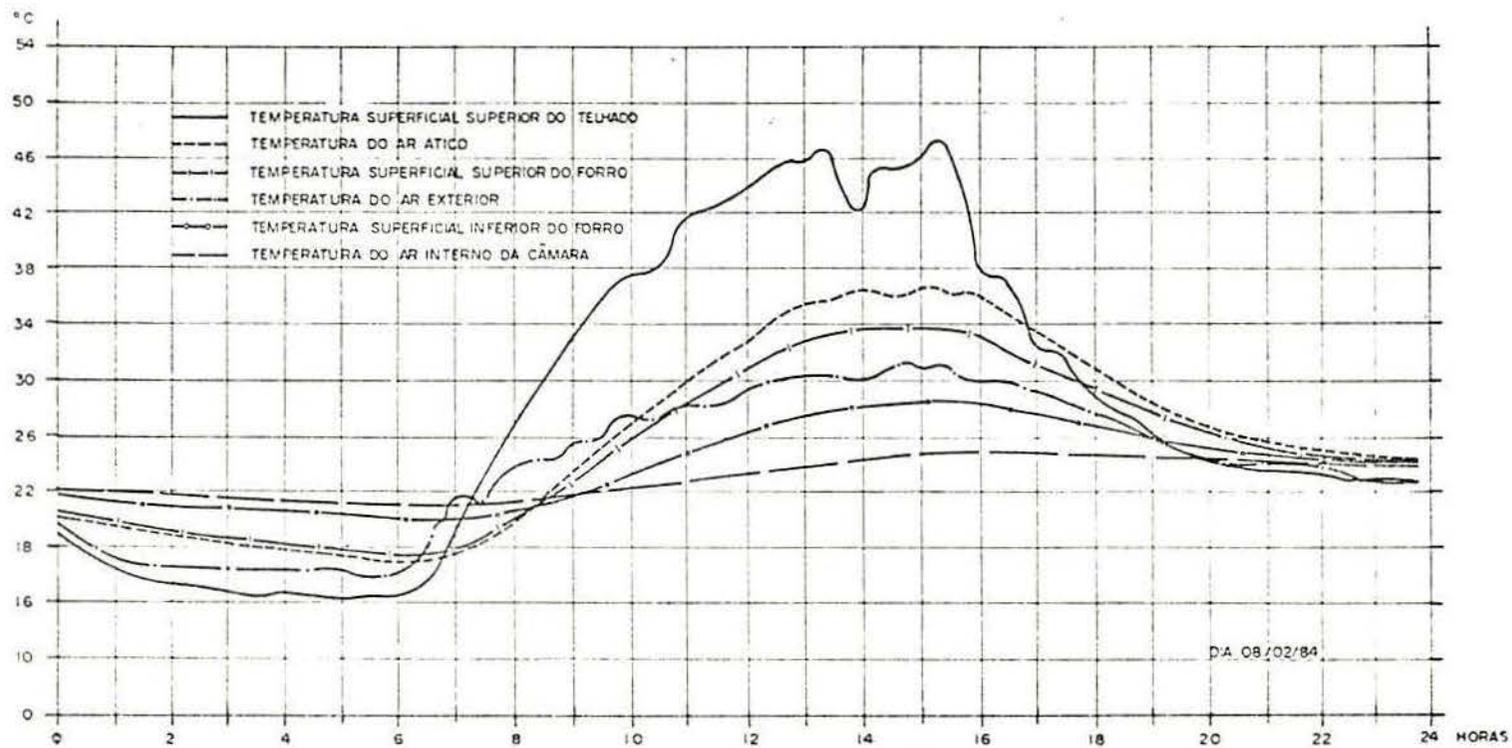


FIGURA 9 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 5

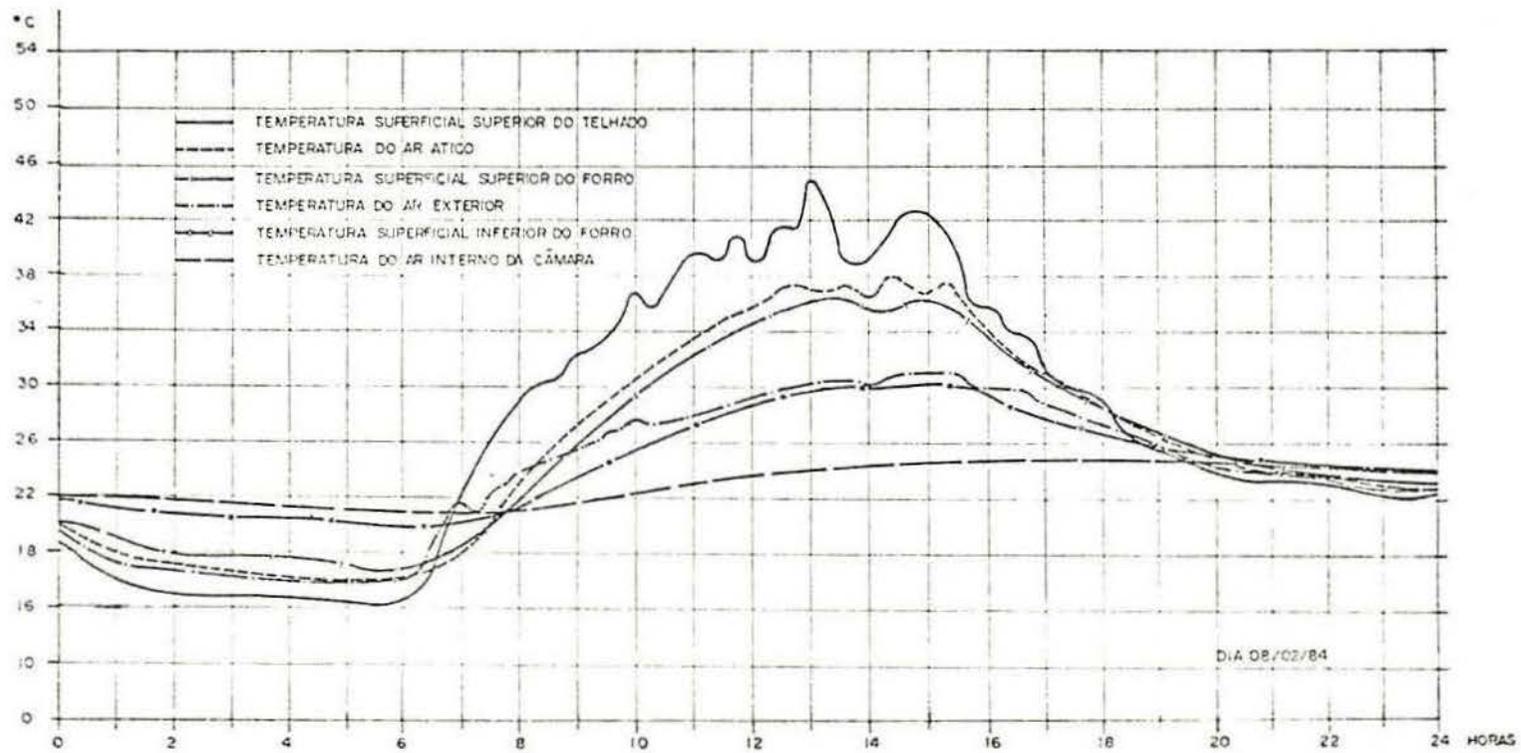


FIGURA 10 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 5

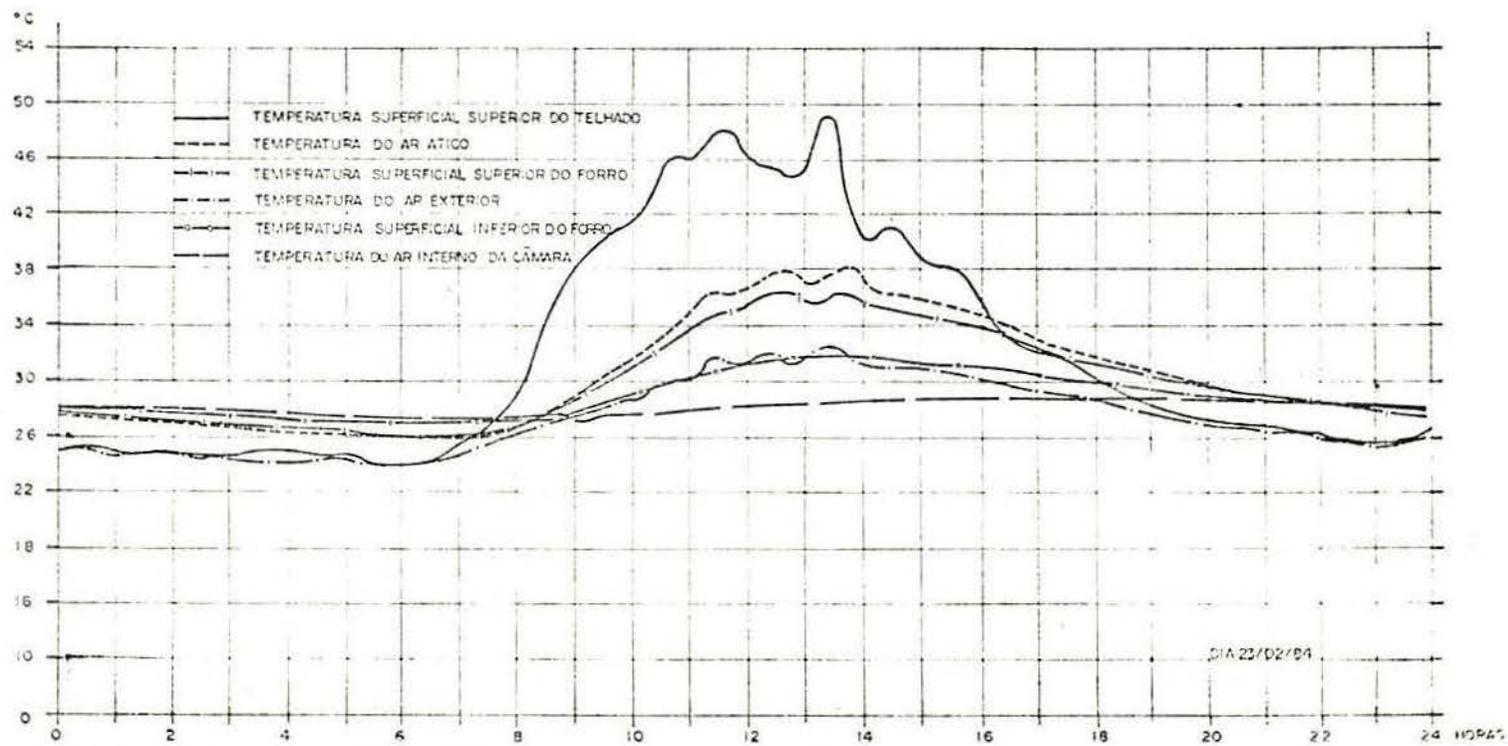


FIGURA 11 - Temperaturas principais medidas na cobertura padrão - TESTE 6

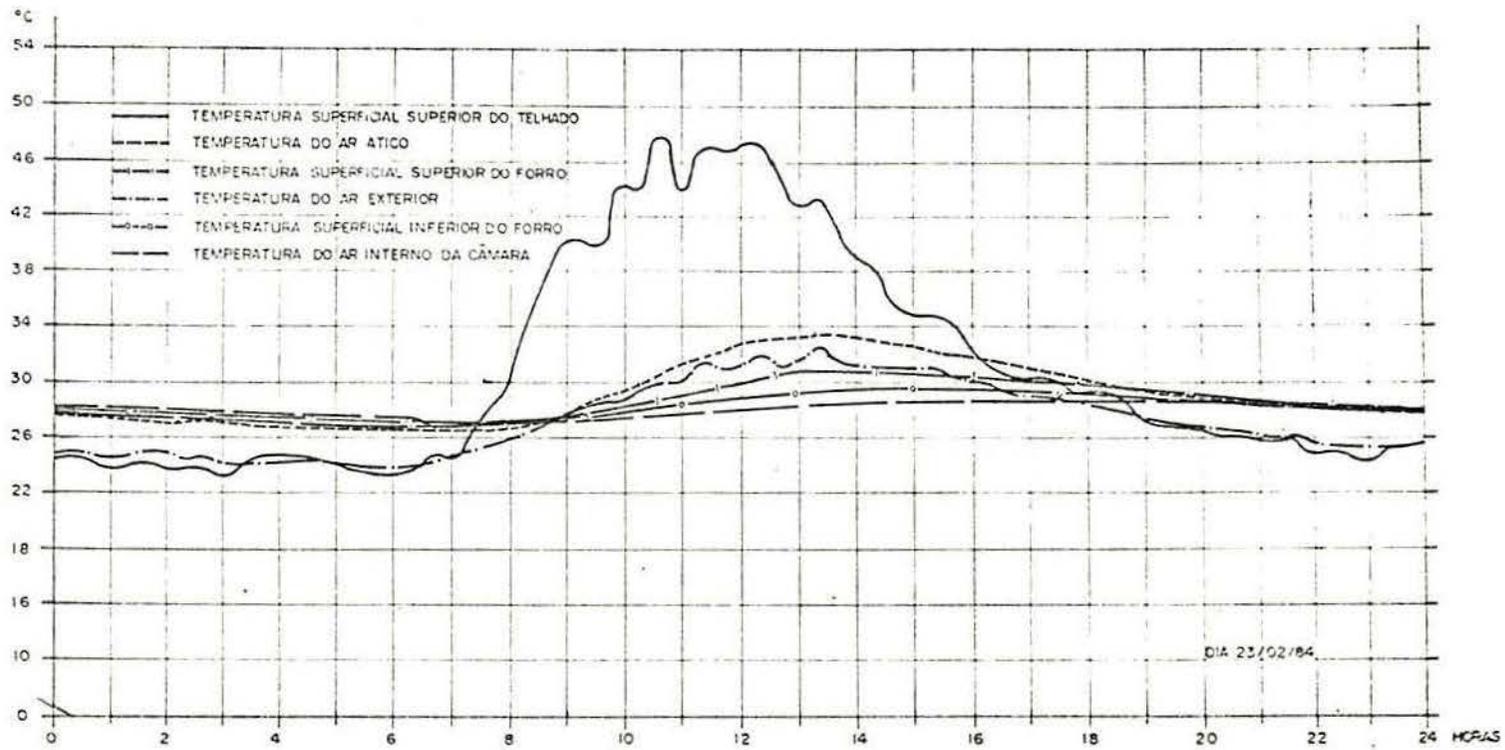


FIGURA 12 - Temperaturas principais medidas na cobertura modelo - TESTE 6

ANEXO II - Aferição e Calibragem dos Termômetros

Para aferir-se os termômetros digitais, utilizou-se como comparativo, um termômetro de mercúrio com precisão em décimos de grau.

A aferição e calibragem abrangeram duas etapas, ou faixas de temperaturas, água em ebulição e gelo fundente.

Durante o período da calibragem e aferição, a água foi mantida em movimento de turbulência constante e de mesma intensidade, para manter a água com temperatura uniforme. Fixou-se o termômetro de mercúrio com o bulbo imerso na água, o mesmo procedimento com as ponteiras contendo os transistores. A aferição e calibragem foi realizada separadamente para cada canal, e simultaneamente para ambos aparelhos. Visto, o visor ler apenas um canal por vez.

ANEXO III - Obtenção da massa específica, volume e capacidade de absorção de água das telhas de cimento-amianto nova.

Foram ensaiadas quatro amostras com 40 x 17,5cm de dimensão.

As amostras foram condicionadas em um recipiente com água, deixando-as totalmente submersas. Após 24 horas, foram retiradas, uma a uma, eliminando-se o excesso de água por meio de um pano úmido, e pesando-as. Obtendo-se o peso úmido (P_H). Mediu-se também, o peso submerso (P_i) das amostras e a temperatura da água para fazer a correção da sua massa específica (M_e). A seguir, as amostras foram secas em estufa a 110°C, por um período de 24 horas. Após esse período, foram novamente pesadas; obtendo-se assim o peso seco (P_S). Com esses dados, foram feitos os cálculos seguintes:

. Determinação da massa específica (M_e), pela fórmula:

$$M_e = \frac{P_S}{P_H - P_i} \cdot M_e (\text{água})$$

assim:

$$M_{e1} = 1.577,1 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{e2} = 1.577,9 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{e3} = 1.619,9 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{e4} = 1.614,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_e = 1.597,3 \text{ Kg/m}^3$$

. Determinação do volume da amostra (V_a):

$$V_a = \frac{P_s}{M_e}$$

resultando:

$$V_{a1} = 455,7 \text{ cm}^3$$

$$V_{a2} = 452,9 \text{ cm}^3$$

$$V_{a3} = 457,1 \text{ cm}^3$$

$$V_{a4} = 448,1 \text{ cm}^3$$

$$V_a = 453,5 \text{ cm}^3$$

. Determinação da absorção máxima de água em relação ao volume, pela fórmula:

$$A = \frac{P_h - P_s}{V_a} \cdot 100$$

Obtendo-se:

$$A_1 = 0,3879 \text{ g/cm}^3$$

$$A_2 = 0,3876 \text{ g/cm}^3$$

$$A_3 = 0,3681 \text{ g/cm}^3$$

$$A_4 = 0,3670 \text{ g/cm}^3$$

$$A = 0,3777 \text{ g/cm}^3$$

ANEXO IV - Determinação da condutibilidade térmica (k)

Na ausência de meios técnicos capazes para sua determinação, lançou-se mão da bibliografia (3, 5, 7, 12, 20 e 31), onde associam os valores da condutibilidade térmica aos da massa específica do material. Visto, encontrar-se valores com pequena divergência dos demais, realizou-se uma regressão linear para uma determinação aproximada. Acompanhando os resultados do trabalho de LAMBERTS²¹, propomos o uso dos seguintes valores:

cimento amianto $k = 0,75 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$

compensado $k = 0,157 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$

cerâmica $k = 0,574 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$

alumínio $k = 221 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$

ANEXO V - Modelo Físico Simplificado de Análise

As variáveis envolvidas no processo térmico da cobertura, foram colocadas sob uma forma matemática que permitiria prever o comportamento de alternativas de escolhas destas variáveis, com finalidade de verificar o resultado com o levantamento empírico. Usou-se, para isto, um esquema dos fenômenos térmicos, com base no regime estacionário e simplificações clássicas, referidas na bibliografia.

V.1 Modelo Utilizado

Nas condições normais de verão, e nas horas de pique, com a radiação solar sobre o plano do telhado e o ar externo aquecido, há fluxos de calor através da cobertura para o interior da câmara que se mantém mais fria correspondendo ao esquema apresentado na figura V.1 a seguir:

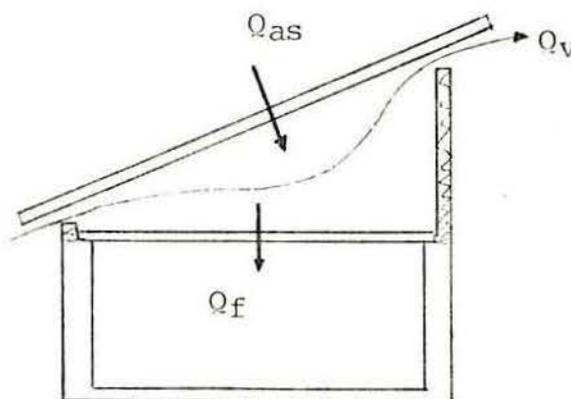


FIGURA V.1 Esquema do equilíbrio térmico da cobertura.

O Q_{as} representa o fluxo de calor através do plano do telhado, necessitando recorrer à utilização da "temperatura ar-sol" (t_{as}) por ser uma superfície sujeita à insolação. Segundo a expressão clássica²⁴ tem-se:

$$t_{as} = t_e + R_e (\alpha I - EI_0) \quad (\text{em } ^\circ\text{C}) \quad (\text{eq. 9})$$

onde:

- t_e = temperatura do ar externo ($^\circ\text{C}$)
- R_e = resistência superficial externa em ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)
- α = coeficiente de absorção das radiações solares, que depende fundamentalmente da cor externa
- I = intensidade das radiações solares incidentes na face externa (em W/m^2)
- E = emissividade
- I_0 = intensidade das radiações por onda longa (em W/m^2)

MARKUS²⁶, atribui valores padronizados aos fatores que intervêm nos intercâmbios em onda longa, apoiado nas recomendações do IHVE Guide. Resultando:

$$R_e \cdot E \cdot I_0 = 0,045 \times 0,9 \times 100 \cong 4 \quad (\text{em } ^\circ\text{C})$$

assim sendo, tem-se:

$$t_{as} = t_e + \alpha I R_e - 4 \quad (\text{eq.10})$$

O fluxo de energia térmica transmitido por uma superfície opaca, do meio externo para o interno, sendo em regime permanente, compreende a expressão:

$$Q = U \cdot A (t_2 - t_1) \quad (\text{em W}) \quad (\text{eq.11})$$

onde:

U = coeficiente de transmissão de calor de meio a meio em ($W/m^2^{\circ}C$)

t_2 e t_1 = temperaturas dos dois meios em ($^{\circ}C$)

A = área da superfície opaca ($2,98 m^2$)

assim:

$$Q_{as} = U_t \cdot A_t (t_{as} - t_a) \quad (\text{eq.12})$$

onde:

U_t = coeficiente de transmissão de calor do telhado

t_a = temperatura do ar do ático.

A_t = área do telhado sobre o ático ($2,98 m^2$)

Quando os ambientes permitem a circulação do ar, este ar se transforma em um veículo de calor. Segundo a vazão de ar renovado e a diferença entre as temperaturas, será a quantidade de calor colocada, ou retirada do ambiente. A quantidade de calor, carregada pelo ar, por metro cúbico e por grau de temperatura é chamada de capacidade térmica volumétrica, e tem valor de $1.200 J/m^3^{\circ}C$. Assim, tem-se que a quantidade de calor transportada pela corrente de ar, será:

$$Q_v = 1.200 \cdot V \cdot (t_s - t_e) \quad (\text{em W}) \quad (\text{eq.13})$$

onde:

V = vazão ou volume de ar transferido em uma unidade de tempo, no ático (em m^3/s)

t_s = temperatura do ar que sai do ático

Segundo Costa⁹, a temperatura do ar do ático pode ser considerada como a média entre a temperatura do ar externo de entrada e a temperatura do ar que sai do ático.

$$t_a = \frac{t_e + t_s}{2} \quad (\text{eq.14})$$

logo:

$$t_s = 2t_a - t_e$$

substituindo-se em Q_v , fica:

$$Q_v = 2.400 V(t_a - t_e) \quad (\text{eq.15})$$

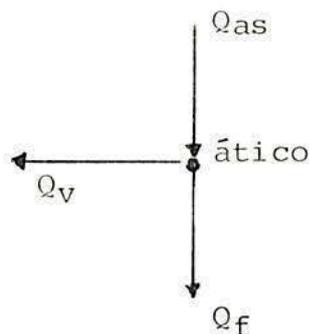
A expressão do fluxo da energia térmica entre o ático e a câmara através do forro é semelhante a utilizada para o telhado (eq. 11), eliminando-se apenas o efeito da radiação solar sobre o mesmo, ficando:

$$Q_f = U_f \cdot A_f (t_a - t_i) \quad (\text{em W}) \quad (\text{eq. 16})$$

onde:

- U_f = coeficiente de transmissão de calor do forro em (W/m²°C)
- t_i = temperatura interna da câmara (em °C)
- A_f = área do forro (2,37 m²)

Para a condição de verão, que é aqui estudada, tem-se que, no regime permanente, para que haja condições de equilíbrio térmico no ático, a equação de fluxo de energia térmica fica conforme demonstração abaixo:



$$Q_{as} = Q_v + Q_f \quad (\text{eq.17})$$

Substituindo-se as equações 12, 13 e 16 na equação 17 obtém-se

$$U_t \cdot A_t (t_{as} - t_a) = 2400 \cdot V (t_a - t_e) + U_f \cdot A_f (t_a - t_i)$$

Isolando-se a vazão (V), incôgnita a ser verificada, se a sua grandeza corresponde a valores aceitáveis, tem-se:

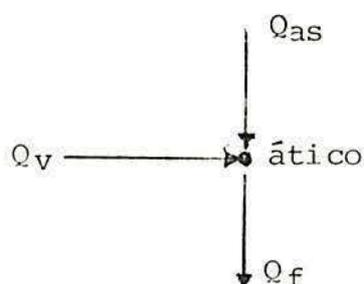
$$V = \frac{U_t \cdot A_t (t_{as} - t_a) - U_f \cdot A_f (t_a - t_i)}{2400 (t_a - t_e)} \quad (\text{em m}^3/\text{s}) \quad (\text{eq.18})$$

Para expressar os resultados de V em m³/h e referí-los a unidade de área, (m²), da habitação, deve-se fazer:

$$V(\text{em m}^3/\text{s}) \cdot \frac{3600 \text{ s}}{2,37 (\text{área em m}^2)} = V' (\text{em m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

* quando existir a folha de alumínio na cobertura, usar-se-a um valor U_{ta} que corresponda ao conjunto: telha, câmara de ar e folha de alumínio.

Observou-se que em vários dias de teste a equação anterior apresentava sinal negativo. Assim sendo, o equilíbrio de verã corresponder à demonstração seguinte:



$$\text{resultando } Q_{as} = Q_f - Q_v \quad (\text{eq.19})$$

da qual resultará:

$$V = \frac{U_f \cdot A_f (t_a - t_i) - U_t \cdot A_f (t_{as} - t_a)}{2400 (t_a - t_e)} \quad (\text{em m}^3/\text{s}) \quad (\text{eq.20})$$

V.2 Dados

Para o uso nas expressões é necessário recorrer às diversas fontes de informação usando-se meios diretos ou indiretos, como expostos a seguir:

V.2.1 Dados Diretamente Obtidos

São aqueles obtidos nos testes com o uso dos equipamentos, conforme descrição em Metodologia Empregada. Para substituição nas equações, utilizou-se os valores encontrados em um mesmo instante, ou seja, no momento que ocorreu o ΔT_C máximo.

V.2.2 Dados Indiretamente Obtidos

São os que por falta de equipamentos adequados à sua obtenção foram extraídos de fontes bibliográficas (3, 5, 12, 14, 23, 26 e 33).

O interesse primário é obter U_t , e U_f para substituição nas equações 18 ou 20, conforme o caso.

O valor do coeficiente de transmissão do calor de meio a meio (U) como é definido no item 2.1 e na bibliografia clássica, será o inverso da soma das resistências interpostas à passagem do fluxo.

$$U_t = 1/(R_e + R_{mt} + R_{it}) \quad (\text{em } W/^\circ C \cdot m^2) \quad (\text{eq.21})$$

$$U_f = 1/(R_{sf} + R_{mf} + R_{if}) \quad (\text{em } W/^\circ C \cdot m^2) \quad (\text{eq.22})$$

sendo:

- U_t = coeficiente de transmissão de calor do telhado
- U_f = coeficiente de transmissão de calor do forro.
- R_e = resistência térmica da superfície externa do telhado.
- R_{if} = resistência térmica da superfície inferior do forro.
- R_{it} = resistência térmica da superfície inferior do telhado.
- R_{mf} = resistência térmica do compensado (forro).
- R_{mt} = resistência térmica do cimento amianto (telhado).
- R_{sf} = resistência térmica da superfície superior do forro.

As resistências térmicas das superfícies podem ser obtidas por métodos simplificados, que correspondem aproximadamente com condições padronizadas. Dentre os métodos correntes, usou-se

neste trabalho o sugerido por MARKUS²⁶, em concordância com as recomendações do IHVE Guide. Propõe, o citado autor, o emprego das expressões seguintes para as resistências de superfície interna e externa:

$$R_{si} = 1/(E h_r + h_c) \quad (\text{em } m^2OC/W) \quad (\text{eq.23})$$

$$R_e = 1/(E h_r + h_{co}) \quad (\text{em } m^2OC/W) \quad (\text{eq.24})$$

onde:

R_{si} = resistência superficial interna.

R_e = resistência superficial externa.

h_r = coeficiente de radiação.

h_c = coeficiente de convecção para a superfície interna

h_{co} = coeficiente de convecção para a superfície externa.

MARKUS, sugere para as condições normais de temperatura e exposição das construções, o emprego dos seguintes valores para os coeficientes mencionados.

$E = 0,9$ para os materiais comuns na construção, como: cimento amianto e madeira.

$E = 0,05$ para folha nova de alumínio.

$h_r = 5,7 \text{ W/m}^2OC$ para superfícies internas.

$h_c = 4,6 \text{ W/m}^2OC$ para superfície externa.

$h_{co} = 5,8 + 4,1v$, onde "v" é a velocidade do ar externo que incide sobre a superfície.

Como, nos testes a verificar, o fluxo sempre aparece para baixo, o coeficiente de radiação e a emissividade são constantes, e a velocidade do ar corresponde a espaços fechados, então pode-se dizer que:

$$R_{si} = R_{if} = R_{it} = R_{sf}$$

substituindo-se os valores na equação 23 e 24, teremos:

$$R_{si} = 1/(0,9 \times 5,7 + 1,5) = 0,15 \quad (\text{m}^2\text{OC})/\text{W}$$

$$R_e = 1/(0,9 \times 4,6 + 5,8 + 4,1 \text{ v})$$

$$R_e = 1/(9,94 + 4,1 \text{ v})$$

As resistências térmicas dos materiais que compoem a cobertura resulta da relação entre a espessura (e) e o coeficiente de condutibilidade térmica do material (k). A obtenção do "k" encontra-se no ANEXO IV.

$$R_{mt} = \frac{e}{k} = \frac{0,006}{0,75} = 0,008 \quad (\text{m}^2\text{OC})/\text{W} \quad (\text{eq.25})$$

$$R_{mf} = \frac{0,014}{0,157} = 0,089 \quad (\text{m}^2\text{OC})/\text{W}$$

$$R_{ma} = \frac{0,0001}{221} = 0,000 \quad (\text{m}^2\text{OC})/\text{W}$$

A R_e depende da velocidade do vento e conseqüentemente o U_t . Para melhor observação, eles foram calculados na tabela V.1. O modelo empregado corresponde aproximadamente ao recomendado no livro *Arquitetura Ecológica*⁷. Nele o valor da resistência interna é de 0,2 e o valor da resistência externa é constante e igual a 0,05 ($\text{m}^2\text{OC})/\text{W}$, que corresponderá a uma velocidade do vento de 2,5m/s.

O U_f é constante e pode ser obtido substituindo-se os valores calculados, na equação 22.

$$U_f = 1/(0,15 + 0,089 + 0,15) = 2,57 \text{ W/m}^2\text{OC}$$

TABELA V.1 - Cálculo do coeficiente U_t corresponde a resistência térmica das superfícies dos telhados.

v m/s	R_e ($m^2 \circ C$)/W	U_t W/($m^2 \circ C$)
0	0,1000	3,87
1	0,0712	4,36
2	0,0550	4,69
3	0,0450	4,93
4	0,0380	5,10
5	0,0330	5,24
6	0,0290	5,35
7	0,0260	5,43
8	0,0230	5,51

A vazão calculada pelas equações 18 e 20, é a vazão necessária para que o modelo físico corresponda aos dados experimentais corretamente; ou seja, é a vazão que deveria ocorrer nos testes e no instante medido, para se obter as mesmas temperaturas que foram medidas in loco.

Como maneira de poder questionar os valores encontrados para a vazão, procurou-se obter aquela que fosse a mínima possível para o caso da inexistência de vento exterior. Usou-se assim, a vazão originada por termossifão, correspondente ao modelo que apresenta duas coberturas em alturas distintas. Esta vazão pode ser determinada pela expressão empírica³³, conforme a equação seguinte:

$$V_t = C \cdot A \sqrt{h (t_a - t_e)/t_a^*} \quad (\text{em } dm^3/s) \quad (\text{eq.26})$$

* usar a equação 26 com $t_a > t_e$, se $t_a < t_e$ substituir o t_a do denominador por t_e

sendo:

V_t = vazão por termossifão (em dm^3/s)

C = constante de proporcionalidade (89 para o efeito de abertura não favorável)³³

A = área de saída ou de entrada do fluxo pelos beirais (m^2)

h = diferença de nível entre as aberturas (1,12m)

t_a = temperatura média do ar do ático (em $^{\circ}\text{C}$)

t_e = temperatura do ar externo (em $^{\circ}\text{C}$)

Para expressar os valores encontrados, para a vazão por termossifão, em m^3/h e referi-los a unidade de área da habitação, deve-se fazer:

$$V_t \text{ (em } \text{dm}^3/\text{s}) \cdot \frac{3,6}{2,37} = V_t \text{ (em } \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Os valores medidos e calculados encontram-se na tabela V.2. Estas verificações não foram feitas para o teste 6 devido o telhado não corresponder com o modelo físico, já que o ático não permite a ventilação; entretanto a câmara compreendida entre a telha e o alumínio permite a ventilação.

TABELA V.2 - Resumo dos Dados Medidos e Calculados para a Hora do Pique 1963/84.

TESTE	DATA	DADOS DIRETAMENTE OBTIDOS					DADOS INDIRETAMENTE OBTIDOS							
		v velocidade do vento (m/s)	t _a temperatura do ar do ático (°C)	t _e temperatura do ar externo (°C)	t _i temperatura do ar interno da câmara (°C)	I intensidade de radiação solar (W/m ²)	α coeficiente de absorção	R _e resistência superficial externa (m ² OC/W) = 1/(E _{hr} + h _{cc})	t _{as} temperatura Ar-Sol (°C) = t _e + R _e (αI - E _{Io})	U _t coeficiente de transmissão de calor do telhado (W/OC m ²) U _t = 1/(R _e + R _{mt} + R _{it})	U _f coeficiente de transmissão de calor do forro (W/OC m ²) U _f = 1/(R _{sf} + R _{mf} + R _{if})	V' vazão de ar do ático pelo modelo testado	V _t vazão do ar do ático por termossifão V _t = C.A. √h. (t _a - t _e)/t _a	
1	24/11	7	34,2	30,4	20,3	860	0,60	0,026	39,8	5,43	2,57	1,97	1,08	
1	25/11	4	33,5	28,3	22,3	850	0,60	0,038	43,7	5,10	2,57	11,14	1,27	
1	04/12	5	29,3	28,3	20,8	900	0,60	0,033	42,1	5,24	2,57	59,51	0,73	
1	05/12	4	35,6	31,2	22,9	840	0,60	0,038	46,4	5,10	2,57	13,25	1,14	
1	12/12	4	38,2	33,8	25,3	795	0,60	0,038	47,9	5,10	2,57	10,68	1,10	
2	15/12	3	28,7	29,5	23,4	895	0,30	0,045	37,6	4,93	2,57	79,67*	0,53	
2	16/12	8	30,4	31,8	24,0	810	0,30	0,023	33,4	5,51	2,57	5,86*	0,68	
2	17/12	4	33,4	33,8	25,4	780	0,30	0,038	38,7	5,10	2,57	55,68*	0,35	
2	18/12	5	32,3	32,7	25,4	500	0,30	0,033	33,7	5,24	2,57	27,31	0,36	
2	28/12	4	36,2	35,9	26,7	710	0,30	0,038	40,0	5,10	2,57	8,20	0,29	
2	29/12	1	36,6	36,0	27,4	770	0,30	0,071	48,4	3,87	2,57	88,53	0,41	
3	19/01	5	38,7	34,0	28,0	825	0,75	0,033	50,4	5,24	2,57	16,43	6,76	
3	02/01	1	36,2	33,3	27,6	410	0,75	0,071	51,1	4,36	2,57	31,61	5,49	
3	05/01	1,5	37,3	32,5	26,8	790	0,75	0,062	65,2	4,57	2,57	36,20	7,32	
3	06/01	0,5	37,0	33,0	27,3	830	0,75	0,083	80,7	4,14	2,57	76,60	6,38	
3	07/01	4	41,5	36,4	28,9	750	0,75	0,038	53,8	5,10	2,57	14,33	6,86	
3	08/01	1	41,1	35,0	29,3	660	0,75	0,071	66,1	4,36	2,57	26,76	7,47	
4	24/01	8	34,4	30,3	24,7	815	0,75	0,029	44,0	5,35	2,57	15,14	1,12	
4	26/01	3	39,6	32,2	26,1	805	0,75	0,045	55,4	4,93	2,57	13,31	1,40	
4	27/01	7	35,8	30,8	25,7	722	0,75	0,026	40,9	5,43	2,57	3,20	1,21	
4	28/01	7	37,9	33,0	27,7	810	0,75	0,026	44,8	5,43	2,57	6,95	1,16	
4	29/01	5	41,6	34,1	27,8	900	0,75	0,033	52,4	5,24	2,57	7,63	1,37	
5	08/02	0	38,0	30,6	24,3	740	0,75	0,100	82,1	3,87	2,57	36,86	4,99	
5	09/02	0	40,6	33,6	27,0	660	0,75	0,100	79,1	3,87	2,57	33,17	4,70	
5	11/02	0,5	42,3	35,7	29,0	610	0,75	0,083	69,7	4,14	2,57	25,18	4,47	
5	12/02	0,5	43,5	35,8	30,0	720	0,75	0,083	76,6	4,14	2,57	27,27	4,76	
6	14/02	0	36,6	37,2	29,4	765	0,75	0,100	90,6	0,73	2,57	-	-	
6	15/02	0	35,2	36,0	28,7	880	0,75	0,100	98,0	0,73	2,57	-	-	
6	16/02	0	31,0	32,3	28,0	700	0,75	0,100	80,8	0,73	2,57	-	-	
6	18/02	2	32,0	32,7	27,4	840	0,75	0,055	63,4	0,75	2,57	-	-	
6	19/02	0	33,5	34,1	28,1	695	0,75	0,100	82,2	0,73	2,57	-	-	
6	20/02	3	33,3	34,7	28,2	770	0,75	0,045	56,7	0,76	2,57	-	-	

* Foi utilizada a equação 2.6 e para os demais casos a equação 1.8

V.3 Obtenção da vazão de renovação do ar do ático.

Com a falta de equipamento sensível para medir a velocidade do ar no ático, realizou-se uma experiência em um dia de teste (06 Jan. de 1984). Escolheu-se um dia com ventos escasos, insolação normal e telhado envelhecido com abertura de 10cm, por ser mais sensível a esta vazão.

Para obter-se a vazão, utilizou-se um projetor de fumaça colocado no beiral inferior como mostra a figura V.2, e mediu-se o tempo necessário para que a fumaça penetrada no ático saísse pelo beiral superior. A trajetória percorrida pela fumaça no ático não pode ser observada. Porém, podem ser formuladas duas hipóteses extremas:

- 1) Considerar que a fumaça tenha descrito uma trajetória linear, ocupando apenas a seção da abertura ao longo do plano do telhado.
- 2) Considerar que a fumaça tenha preenchido todo o espaço do ático antes de sair pelo beiral superior.

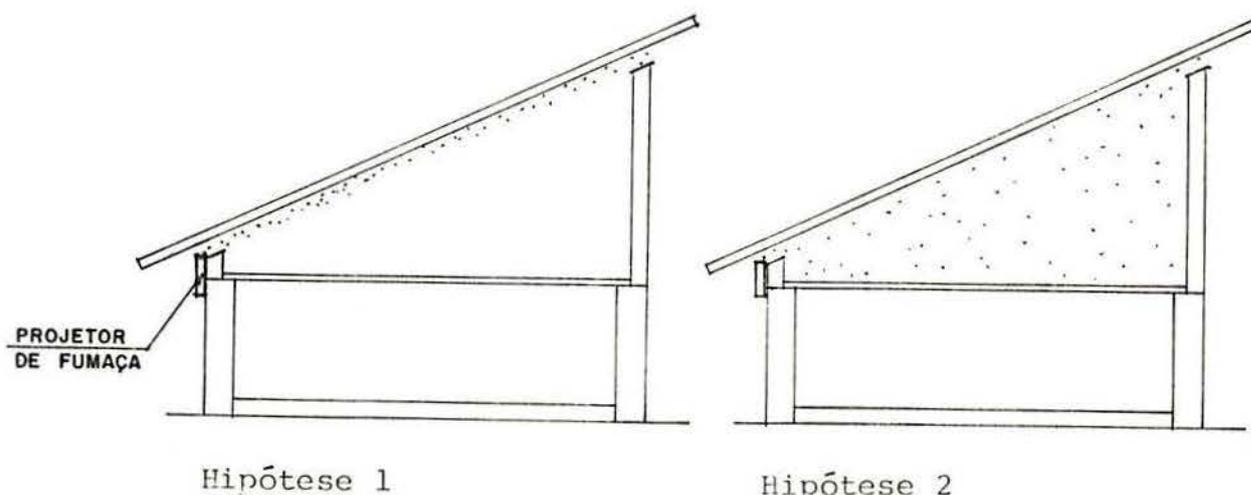


FIGURA V.2 - Hipótese demonstrativa da trajetória de fumaça no ático.

Com a hipótese 1 obtem-se a vazão mínima e com a 2 a vazão máxima para o tempo medido com as condições deste dia. Na realidade o fenômeno ocorre neste intervalo, podendo assim ser verificado o modelo físico-matemático.

Na hipótese 1, para se obter a vazão é necessário fazer o cálculo da velocidade do ar no ático com o tempo medido e a distância entre o ponto de entrada e de saída da fumaça. A velocidade será:

$$v = \frac{\text{distância}}{\text{tempo}} = \frac{2,8 \text{ m}}{60 \text{ s}}$$

$$v = 0,047 \text{ m/s}$$

O cálculo da vazão para a referida abertura será:

$$V = \text{área da abertura}^* \times \text{velocidade}$$

$$V = 1,13 (0,02 + 0,10) 0,047$$

$$V = 0,0064 \text{ m}^3/\text{s}$$

ou seja:

$$V' = 9,68 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$$

* Largura do beiral pela soma da altura livre uniforme da onda da telha mais a altura da abertura de ventilação.

Para a hipótese 2, considerando que a fumaça preenche todo o ático, - uma renovação do ar - tem-se:

$$V = \frac{\text{volume do ático}}{\text{tempo}}$$

$$V = \frac{3,20 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} = 0,053 \text{ m}^3/\text{s}$$

ou seja:

$$V' = 81,01 \text{ m}^3/\text{h m}^2$$

Pelo modelo físico simplificado, constatou-se ser necessário uma vazão de $76,60 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ para as condições climáticas do dia. Este valor, faz parte do intervalo compreendido pelas duas hipóteses.

V.4 Conclusão do anexo V

De uma maneira geral pode-se observar que os valores calculados para a vazão do ar, no ático, são aceitáveis. Eles estão dentro dos limites encontrados nas referências experimentais mencionadas pela bibliografia e são maiores que os encontrados pelo cálculo da vazão por termossifão, como deve ocorrer, devido ao efeito do vento. Como não foi possível registrar a direção do vento e conseqüentemente avaliar sua atuação sobre a cobertura, é possível que para determinados ângulos de ataque do vento, sejam modificadas as condições da resistência superficial externa. Por exemplo, sendo o vento soprado do setor sul, originar-se-á uma zona calma, estagnada, sobre as telhas; embora a velocidade do ar registrada pelo anemômetro seja alta, a resistência superficial real do telhado será maior que a empregada para efetuar o cálculo.

A vazão do ar do ático seria muito aumentada se o vento do setor norte ou sul, já que haverão sobre-pressão e sucções, que originam velocidades de entrada superiores à do vento registrados.

Em V.3 efetuou-se a análise do dia 06/01 comprovando-se que a aplicação do modelo deu uma vazão de $76,60 \text{ m}^3/\text{h m}^2$, compreendida entre o valor correspondente ao termossifão ($6,38 \text{ m}^3/\text{h m}^2$) e à hipótese de que a fumaça preencha todo o ático antes de sair ($81,01 \text{ m}^3/\text{h m}^2$).

Podemos concluir que o modelo físico de cálculo fornece informações exageradamente imprecisas, devido à indefinição da orientação do vento.

ANEXO VI - FIGURAS ILUSTRATIVAS DA BANCADA DE TESTES

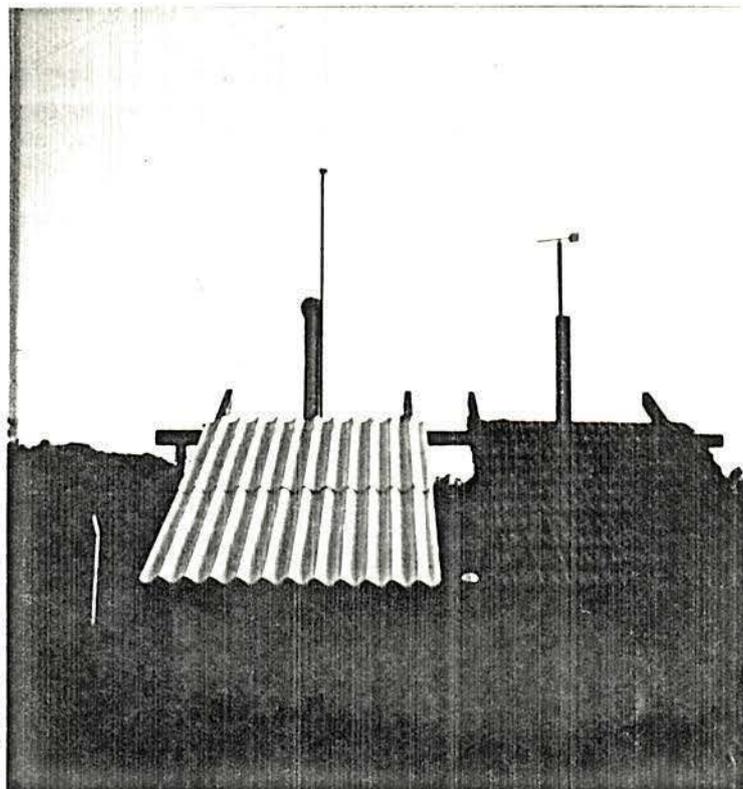


FIGURA VI.1 - Bancada de testes com cobertura padrão em "Marselha" e cobertura modelo em cimento-amianto pintada de branco.



FIGURA VI.2 - Bancada de testes com cobertura modelo em cimento-amianto envelhecido.

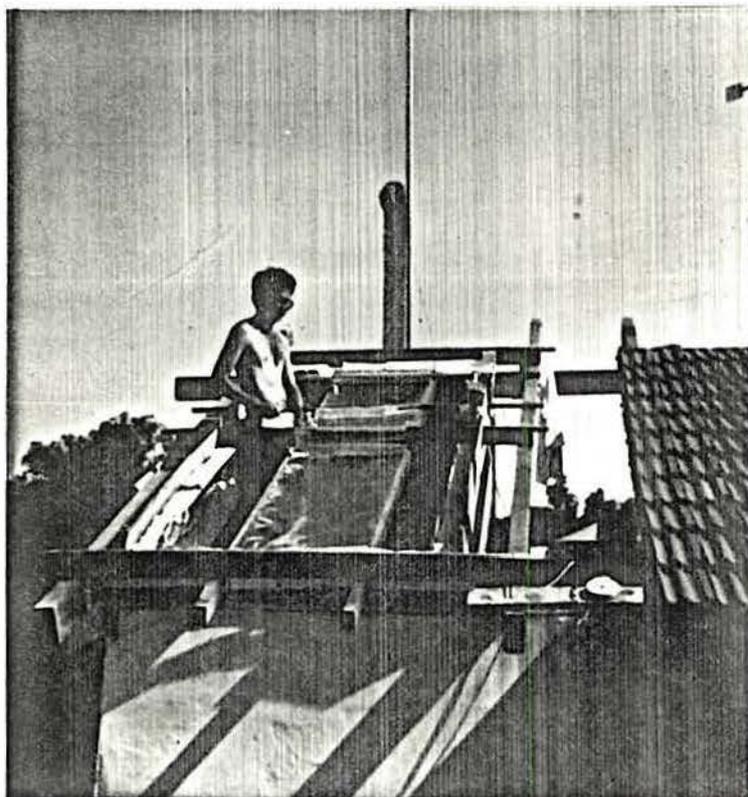


FIGURA VI.3 - Colocação da folha de alumínio no ático da cobertura modelo.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. ASHRAE handbook 1981: fundamentals. Atlanta, 1982.
2. ANDERSON, B.R. The assessment of U-values for insulated roofs. BRE Information, Garston, (3), 1981.
3. BLANCETT, Robert S. et alii. A model for predicting residential attic space air temperatures. ASHRAE Transactions, New York, 85 (pt.1):656-63, 1979.
4. BREWSTER, D. & ARKFELD, T. Analysis of attic ventilation test. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.105-17.
5. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Standard U-values. Lancaster, The Construction Press, 1969. (BRE digest, 108).
6. BURCH, D.M. & TREADO, S.J. Ventilating residences and their attics for energy conservation; an experimental study. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.73-104.
7. COSTA, Ennio Cruz da. Arquitetura ecológica; condicionamento térmico natural. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
8. _____. Conforto térmico. 3.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1974.

9. _____. Conforto térmico nas edificações. São Paulo, Eternit, 1978. (Boletim Eternit, 100).
10. DUFFIE, J.A. & BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. New York, John Wiley, 1980.
11. DUTT, G.S. & HARRJE, D.T. Forced ventilation for cooling attics in summer. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.25-38.
12. FRANÇA. Centre Scientifique et Technique du Batiment. Règles Th-K77: règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Paris, 1977. (Cahiers du CSTB, 1478).
13. GIVONI, B. The effect of roof construction upon indoor temperatures. In: INTERNATIONAL BIOCLIMATOLOGICAL CONGRESS, 2., London, Sept. 1960. Proceedings. New York, Pergamon Press, 1962. p.237-45.
14. _____. Man, climate and architecture. 2.ed. London, Applied Science Pub., 1981.
15. GIVONI, B. & SHALON, R. Influence of type and construction of roof on indoor thermal conditions in Beer-Sheba. Haifa, Technion, Building Research Station, 1962.
16. GROT, R.A. & SIU, C.I. Effect of powered attic ventilation on ceiling heat transfer and cooling load in two townhouses. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.39-56.

17. HUMPHREYS, M.A. The optimum diameter for a globe thermometer for use indoors. Building Research Establishment. Current Paper, Garston, (9), 1978.
18. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, São Paulo. Conforto higrotérmico. In: _____. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. Rio de Janeiro, Banco Nacional da Habitação, 1981. v.4.
19. _____. Desempenho térmico de coberturas. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1979.
20. KREITH, F. Princípios da transmissão de calor. 3.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.
21. LAMBERTS, Roberto. Desempenho térmico de coberturas leves com ático: bancada de testes e modelo matemático. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1983. Diss. maestr. engenharia civil.
22. LAMBERTS, R. & AROZTEGUI, J.M. Instrumentação - técnicas correntes de medição de parâmetros relativos ao conforto térmico. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1983. (Cadernos Técnicos, 38).
23. LOUDON, A.G. Heat transmission through the roofs of buildings. Journal of the IHVE, 31:273-98, Nov. 1963.
24. MACKEY, C.O. & WRIGHT Jr., L.T. Periodic heat flow-composite wall and roofs. Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers. New York, 52:283-96, 1946.
25. _____. Periodic heat flow-homogeneous walls. Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers, New York, 50:293-319, 1944.

26. MARKUS, T.A. & MORRIS, E.N. Buildings, climate and energy. London, Pitman, 1980.
27. MUKTHAR, Y.A. Roofs in hot dry climates, with special reference to Northern Sudan. In: BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Overseas Division of the Building Research Establishment, United Kingdom. Building in hot climates; a selection of overseas building notes. London, 1980. p.1-15. (Overseas Building Notes, 182).
28. PEAVY, B.A. A model for predicting the thermal performance of ventilated attics. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.119-49.
29. PROBERT, S.D. & THIRST, T.J. Thermal insulation provided by triangular sectioned attic spaces. Applied Energy, 3(1): 41-50, Jan. 1977.
30. REAGAN, J.A. & ACKLAM, D.M. Solar reflectivity of common roofing materials and its influence on the roof heat gain of typical southwestern residences. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg, Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979. p.1-13.
31. RIVERO, R. Comportamiento higrotermico del sobretecho de chapas de fibrocemento. Montevideo, 1980.
32. SANTOS, Jorge Luiz P. dos. Análise de soluções técnicas de proteção contra insolação de coberturas. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1979. Diss. maestr. engenharia civil.

33. STRAATEN, J.F. van. Thermal performance of buildings. Amsterdam, Elsevier, 1967.
34. VALENTIN, J. de. Desempenho térmico: coberturas de fibrocimento. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, 25-28 out. 1981. Anais. São Paulo, IPT, 1981. p.615-32.
35. WETHERINGTON Jr., T.I. Measurement of attic temperatures in Florida. In: WORKSHOP ON SUMMER ATTIC AND WHOLE-HOUSE VENTILATION, Gaithersburg Md., July 13, 1978. Proceedings. Washington, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1979, p.15-24.
36. WHITELEY, P. & GARDINER, D. Solar reflective paints. BRE Information, Garston, (26), 1981.
37. WILKES, Kenneth E. Modelling of residential attics. In: ASHRAE/DOE-ORNL CONFERENCE ON THERMAL PERFORMANCE OF THE EXTERIOR ENVELOPES OF BUILDINGS, Kissimmee, Fla., Dec. 3-5, 1979. Proceedings. New York, ASHRAE, 1981. p.436-55.

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA